

[K.Sc. WS'8] *Martin Karsten, Jens Schmitt, Lars Wolf, Palf Steinmetz*; **Abrechnungsverfahren für paketvermittelte, diensteintegrierende Kommunikationsnetze**; Praxis in der Informationsverarbeitung und Kommunikation (PIK), Band 21, Nr. 4, Dezember 1998.



# Abrechnungsverfahren für paketvermittelte, diensteintegrierende Kommunikationsnetze

Martin Karsten<sup>1</sup>, Jens Schmitt<sup>1</sup>, Lars Wolf<sup>1</sup>, Ralf Steinmetz<sup>1,2</sup> \*

<sup>1</sup>  
Technische Universität Darmstadt  
Merckstr. 25 • 64283 Darmstadt

<sup>2</sup>  
GMD IPSI  
Dolivostr. 15 • 64293 Darmstadt

Email: {Martin.Karsten,Jens.Schmitt,Lars.Wolf,Ralf.Steinmetz}@KOM.tu-darmstadt.de

**Kurzfassung** Um die Migration des heutigen Internets hin zu einem Kommunikationsnetz mit integrierten Diensten zu realisieren, ist es unabdingbar, daß Mechanismen und Verfahren entwickelt werden, um Übertragungsleistungen verursachergerecht abzurechnen. Dies wird insbesondere für geplante verbindungsorientierte Dienste, die auf der Reservierung von Kapazität (z.B. mittels RSVP) beruhen, nötig werden, als auch möglicherweise für verbindungslosen Datenverkehr. Durch entsprechende Abrechnungsverfahren können nicht-kooperative Benutzer vom verschwenderischen Umgang mit Netzwerkressourcen abgehalten, bzw. hierfür entsprechende Gebühren erhoben werden. Des weiteren wird durch möglichst genaue Abrechnung die Entstehung eines Wettbewerbsmechanismus ermöglicht, der für die bestmöglichen Dienste in den meistgefragtesten Teilbereichen im Netz die preiswertesten Bereitstellungsangebote erzeugt. In diesem Artikel werden Ansätze zur Abrechnung von Datenkommunikation in paketvermittelten Netzen vorgestellt, sowie neu auftretende Fragestellungen im Zusammenhang mit bestehenden und geplanten Netztechnologien erörtert.

**Schlüsselwörter** Datenkommunikation, Paketvermittlung, Internet, Dienstgüte, Abrechnung.

## 1 Einführung

### 1.1 Motivation

Das Internet hat sich in den letzten Jahren zu einem Medium entwickelt, welches nicht mehr nur von Forschungsinstitutionen, sondern von einem breiten Spektrum an privaten und kommerziellen Benutzern für Kommunikation, Marketing, Geschäftsabwicklung und andere Zwecke genutzt wird. Derzeit bietet das Internet lediglich eine einzige Dienstklasse, *Best-Effort Service*, an, d.h. alle Datenpakete werden gleichbehandelt und es gibt keinerlei Garantien bezüglich der Dauer und Zuverlässigkeit der Übertragung.

Basierend auf der Internet-Technologie wird jedoch derzeit versucht, ein diensteintegrierendes Kommunikationsnetz zu schaffen, welches die existierenden unter-

\* Diese Arbeit wurde teilweise unterstützt durch: Volkswagen-Stiftung, 30519 Hannover.

schiedlichen Netze (Telefon, Kabelfernsehen, etc.) fast vollständig durch eine einzige Netzwerktechnologie ersetzen kann. Die Übertragungskapazität eines solchen Netzes ist begrenzt und wir erwarten, daß diese Kapazität im Verhältnis zu den Dienstangeboten für lange Zeit eine knappe Ressource bleibt. Dies begründet sich unter anderem durch die Beobachtung, daß jeder technologische Fortschritt in der Netz- oder auch z.B. Hardwaretechnologie binnen kürzester Zeit durch gestiegene Anforderungen neuartiger Anwendungen verbraucht wird, so daß das Verhältnis zwischen Lastaufkommen und verfügbaren Ressourcen annähernd gleich bleibt.

In einem System mit begrenzten Ressourcen und ohne Zugangsbeschränkungen besteht die Gefahr, daß nicht-kooperative Benutzer verschwenderisch mit den Ressourcen umgehen, und somit die Gesamtkapazität nicht optimal genutzt wird. Dieses Phänomen ist in der Ökonomie als *Tragedy of the Commons* [Har68] bekannt und kann verhindert bzw. kompensiert werden, indem entsprechende Gebühren erhoben werden. Durch möglichst genaue Abrechnung wird außerdem die Entstehung eines Wettbewerbsmechanismus gefördert, der für die bestmöglichen Dienste in den meistgefragtesten Teilbereichen im Netz die preiswertesten Bereitstellungsangebote erzeugt.

Zur Realisierung von verschiedenen Diensten und Dienstklassen ist es notwendig, jeweils eine gewisse Dienstgüte garantieren zu können, insbesondere für die Übertragung von kontinuierlichen Datenströmen wie Audio und Video. Derzeit existieren hierzu verschiedene Ansätze, die sich in ihrer zeitlichen und datenbezogenen Granularität, sowie dem dazu notwendigen Aufwand unterscheiden. Zu nennen ist insbesondere das Reservierungsprotokoll *RSVP* (Resource reSerVation Protocol [BZB<sup>+</sup>97]) in Zusammenarbeit mit einem präzisen Durchsetzungsmechanismus wie z.B. *CBQ* (Class-Based Queueing [FJ95]). Als Alternative hierzu wird der *Differentiated Services* Ansatz [NB98] vorgeschlagen; bei dem Pakete grob anhand einer Dienstidentifizierung mit unterschiedlichen Prioritäten unterschiedlich schnell weitergeleitet oder verworfen werden. Beide Ansätze stellen jeweils unterschiedliche Herausforderungen an den Entwurf von Abrechnungsverfahren.

Nach unserer Meinung können vor dem Hintergrund einer Kommerzialisierung des Internets die technischen und die ökonomischen Aspekte von Dienstgütereinstellung nicht jeweils separat betrachtet werden, sondern es ist notwendig, die Anforderungen beider Seiten zu erfüllen. Aus diesem Grund betrachten wir im vorliegenden Artikel Dienstgütearchitekturen und Abrechnungsverfahren im wechselseitigen Kontext, wobei der Schwerpunkt auf dem Signalisierungsprotokoll *RSVP* liegt. Hintergrund hierfür ist die Annahme, daß statische Dienstgütevereinbarungen (wie im Zusammenhang von *Differentiated Services*) auf aggregierten Datenströmen zwar eine erste Lösung zur Verbesserung der Dienstqualität im Internet sind, daß schließlich jedoch irgendeine Form von Ende-zu-Ende Signalisierung pro Anwendungs-Datenstrom benötigt wird, um ein wirklich umfassendes diensteintegrierendes Kommunikationsnetz zu schaffen. *RSVP* ist durch seine Flexibilität hierfür ein geeig-

netter Kandidat, auch wenn vielleicht nicht in jedem Fall die volle Funktionalität benötigt wird.

Nach der Definition einiger Begriffe im Rest von Abschnitt 1 werden in Abschnitt 2 grundlegende Anforderungen im Zusammenhang von Abrechnung für Kommunikationsdienste formuliert und erläutert. Anschließend werden existierende Ansätze in Abschnitt 3 vorgestellt und mit den Anforderungen verglichen. Danach wird in Abschnitt 4 die Variante Differentiated Services in bezug auf Abrechenbarkeit untersucht und in Abschnitt 5 wird ein Abrechnungsverfahren für RSVP vorgestellt. Abschließend fassen wir in Abschnitt 6 unsere Erkenntnisse zusammen und geben einen Ausblick auf offene Fragen, die zur erfolgreichen Entwicklung eines kommerziellen, diensteintegrierenden Netzes auf Basis der Internet-Technologie gelöst werden müssen.

## 1.2 Terminologie

Bislang wurden in der Literatur einige Begriffe, die bei der ökonomischen Betrachtung von Kommunikationsnetzen auftreten, nicht deutlich und einheitlich abgegrenzt. Die folgende Aufstellung soll einer Verdeutlichung dienen und Mißverständnissen vorbeugen.

**Kosten** Ausgaben, die für einen Netzteilnehmer anfallen. Hierbei ist insbesondere im Falle von Netzbetreibern zwischen Fixkosten (Installations- und Wartungskosten), sowie variablen Kosten (benutzungsabhängige Kosten) zu unterscheiden. In diesem Zusammenhang ist festzustellen, daß die Kostenstruktur von Telekommunikationsnetzen durch einen extrem hohen Anteil an Fixkosten geprägt ist.

**Preis** Festgelegte Summe, die von einem Netzteilnehmer für die geplante Inanspruchnahme einer Übertragungsleistung entrichtet werden muß. Der Preis wird vom Netzbetreiber festgelegt und erhoben und richtet sich nicht notwendigerweise nach den Kosten des Netzbetreibers.

**Gebühr** Fälliger Preis. Die Fälligkeit ergibt sich aus der tatsächlichen Inanspruchnahme der Übertragungsleistung.

**Abrechnung** Ermittlung der Benutzung und der Preise einer Übertragungsleistung zur Berechnung der Gebühren.

**Abrechnungsmechanismus** Prozedurale Beschreibung, Dienst- oder Protokolldefinitionen, die innerhalb eines Übertragungsprotokolls integriert ist, um abrechnungsrelevante Information (Preise, Aufträge, etc.) zu übertragen und zu verarbeiten.

**Abrechnungsverfahren** Kohärentes System von Abrechnungsmechanismen.

**Rechnungsstellung** Aufforderung zur Entrichtung von Gebühren.

**Bezahlung** Transfer von Geld oder geldwerten Gütern zur Entrichtung von Gebühren.

## 2 Rahmenbedingungen

Wenn man das Internet als diensteintegrierendes Kommunikationsnetz betrachtet, für das nutzungsabhängige Gebühren anfallen, so müssen einige grundlegende Annahmen über das Verhältnis zwischen Netzbenutzern und -anbietern geändert werden. Im Gegensatz zu der bisherigen kooperativen Betrachtungsweise entstehen neue Problemfelder, wenn man Netzanbieter und Netzbenutzer als individuelle Marktteilnehmer betrachtet, die in erster Linie ihre eigenen Interessen verfolgen. Auf der anderen Seite sind Endbenutzer ein gewisses Maß an Kundenfreundlichkeit gewöhnt. Die Akzeptanz neuer Kommunikationsdienste wird in entscheidendem Maß davon abhängen, daß Endbenutzer deren Abrechnung als gerecht und kundenfreundlich empfinden sowie vor Mißbrauch geschützt sind.

### 2.1 Anforderungen an Netze und Abrechnungsverfahren

Aus dem oben erläuterten Grundverständnis heraus lassen sich Anforderungen an Abrechnungsverfahren sowie Anforderungen, die durch die Verwendung von Abrechnungsverfahren entstehen, zusammenstellen:

Aus dem oben erläuterten Grundverständnis haben wir die unten aufgeführten Anforderungen an Abrechnungsverfahren sowie Anforderungen, die durch die Verwendung von Abrechnungsverfahren entstehen, zusammengestellt. Ein ähnlicher Ansatz wird in [FD98] verfolgt.

**Vorhersehbarkeit der Gebühren** Für den täglichen Einsatz von Kommunikationsanwendungen ist es unabdingbar, daß Benutzer ihre hieraus resultierenden Kosten abschätzen können. Aus diesem Grund wäre eine exakte a-priori Bestimmung der Kommunikationsgebühren pro Übertragung wünschenswert. Sofern diese strenge Anforderung nicht erfüllt werden kann, sollten Benutzer zumindest in die Lage versetzt werden, die anfallenden Gebühren grob abschätzen zu können. Ein Beispiel aus der Telefonie verdeutlicht diese Forderung: Ein Telefonkunde kann sich üblicherweise sicher sein, daß ein kurzes Ortsgespräch nur einige Pfennige kostet, während ein mehrminütiges Gespräch nach Übersee in der Größenordnung von mehreren D-Mark liegt.

**Stabilität des Dienstes** Während Datenübertragung über das Internet heutzutage inhärent unzuverlässig ist, muß im Falle von detaillierter Abrechnung eine überprüfbare Definition über die Qualität der Übertragungsleistung gegeben sein. Weiterhin sollte sichergestellt werden, daß die vereinbarte Qualität während einer Kommunikationssitzung auch tatsächlich eingehalten wird. Andernfalls dürfen keine Gebühren anfallen bzw. die Benutzer müssen entschädigt werden.

**Transparenz der Abrechnung** Kunden müssen in der Lage sein, die Zusammensetzung von Gebühren nachvollziehen und einzelnen Diensten und Kommunikationssitzungen zuordnen zu können. Die Akzeptanz eines Abrechnungsverfahrens wird weitestgehend von dessen Transparenz und dem daraus resultierenden Vertrauen in dessen Korrektheit abhängen. Transparenz ermöglicht Benutzern außerdem, Preise und Leistungen von verschiedenen Anbietern zu vergleichen und sorgt somit für ein positives Wettbewerbsklima.

**Flexibilität** Bei der Abrechnung einer Übertragungsleistung ist ein wichtiger Aspekt, ob der Sender oder der Empfänger der Daten von der Übertragung profitieren. Hierbei ist jede beliebige Kombination denkbar, so daß ein Abrechnungsverfahren diesem Umstand Rechnung tragen sollte, indem die Übertragungsgebühren flexibel zwischen Sendern und Empfängern aufgeteilt werden können. Bei der Abrechnung von Multicast-Kommunikation hängt die erwünschte Verteilung weitgehend von den Vorstellungen der Teilnehmer ab, so daß auch hierfür ein Abrechnungsverfahren die nötige Flexibilität bieten muß.

**Technische und rechtliche Sicherheit** Wenn Zahlungsströme vom Benutzerverhalten abhängig sind, ist es relevant, daß Benutzer eindeutig und sicher identifiziert werden können. Hierbei treten neue Anwendungsfelder von Authentifizierung auf, da verhindert werden muß, daß Benutzer Übertragungsleistungen auf Kosten anderer Benutzer in Anspruch nehmen. Zusätzlich muß innerhalb des Abrechnungsverfahrens selbst sichergestellt sein, daß die Zuordnung korrekt und eindeutig erfolgt. In Streitfällen müssen technische Voraussetzungen gegeben sein, die es den Parteien ermöglichen, ihre Positionen jeweils anhand von Daten zu belegen.

**Technische Realisierbarkeit** Abrechnungsverfahren für paketvermittelte Kommunikationsnetze müssen mit vertretbarem technischen Aufwand realisierbar sein. Dies gilt sowohl für zusätzlichen Protokollverkehr als auch für den Speicher- und Rechenaufwand in den Vermittlungsknoten.

**Benutzerfreundlichkeit** Durch die Einführung von verursachergerechter Abrechnung darf die Benutzung von bekannten und neuartigen Kommunikationsdiensten nicht komplizierter werden. Institutionen und Benutzer müssen leicht zu modifizierende Voreinstellungen setzen können, um die meisten alltäglichen Situationen abzudecken oder z.B. obere Gebührengrenzen festzulegen, so daß nur in Ausnahmefällen der Endbenutzer in die Preisverhandlung direkt eingreift. Benutzerfreundlichkeit ist im wesentlichen eine Aufgabe der Dienstanbieter und wird ebenfalls beeinflusst durch z.B. die Komplexität der Preisfestlegung, sowie die Art der Rechnungsstellung.

**Unabhängigkeit** Nach dem marktwirtschaftlichen Modell agiert jeder Benutzer und Betreiber eines Kommunikationsnetzes unabhängig und ist darauf bedacht, den eigenen Nutzen zu maximieren sowie die eigenen Kosten zu minimieren. Dies gilt insbesondere für die Gestaltung des Dienstangebots (inklusive Preisfestlegung) von seiten

der Netzbetreiber. Bis auf moderate Einschränkungen durch Telekommunikationsregulierungen werden weitergehende Eingriffe in die Unabhängigkeit der Teilnehmer, erst recht im weltweiten Verbund, vermutlich nicht durchsetzbar sein.

## 2.2 Edge Pricing

Ein grundlegendes Paradigma für die Abrechnung wird in [SCEH96] als *Edge Pricing* formuliert. Hierbei ist der zentrale Punkt, daß zur (unbedingt notwendigen) Vereinfachung der Geschäftsvorgänge jeder Nutzer und Betreiber lediglich mit benachbarten Netzbetreibern abrechnet. Für die Übertragung ergeben sich dann unterschiedliche Rollen der Teilnehmer, die anhand von Abbildung 1 erläutert werden können. Für ei-

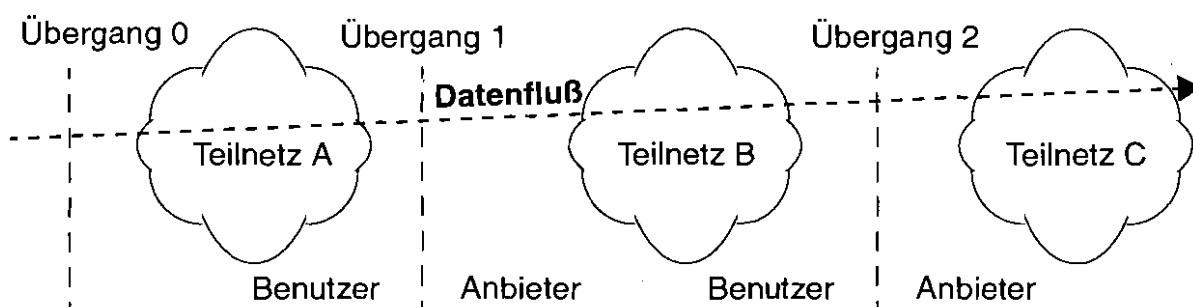


Abbildung 1: Die Rollen von Anbieter und Benutzer

nen Datenstrom, der die Teilnetze A, B und C durchquert, wird vom Betreiber des Teilnetzes A die komplette Gebühr für die Strecke Übergang 0 – Ziel mit dem vorherigen Nutzer abgerechnet. Betreiber A wiederum bezahlt die Übertragung für den Rest der Strecke (Übergang 1 – Ziel) an den Betreiber von Teilnetz B, usw. Edge Pricing reduziert die Komplexität eines multilateralen Vertrages auf eine Reihe von bilateralen Abrechnungsabkommen und vereinfacht so den gesamten Abrechnungsprozeß, insbesondere für Endbenutzer.

## 3 Existierende Arbeiten

Der überaus größte Teil der bisher veröffentlichten Arbeiten zur Abrechnung von Datenkommunikation beschäftigt sich mit dem Problem der Preisfindung. Hierbei kann man zwischen Ressourcen- und Überlast-basierten Ansätzen unterscheiden.

Ressourcen-basierte Ansätze wie [PF92,DF98] betrachten Ressourcennutzung (z.B. des Hauptspeichers) als Basis zur Ermittlung der anzusetzenden Kosten. Hieraus sollen dann entsprechende Preise abgeleitet werden. Derartige Kalkulationen können jedoch lediglich als Hilfestellung und Vergleichsmöglichkeit zur Preisfindung dienen. Der Grund hierfür liegt in der Kostenverteilung für den Aufbau von Kommunikationsnetzen. Der überwiegende Teil der Kosten von Netzbetreibern sind Fixkosten, d.h. Installations- und Wartungskosten, die unabhängig von der Auslastung der Netze anfallen. Diese Kosten sind somit auch unabhängig von der tatsächlichen Benutzung



von Ressourcen wie Leitungskapazität, Hauptspeicher oder Rechenleistung. Aus diesem Grund kann die Ressourcennutzung als eine Möglichkeit zur Kostenkalkulation dienen, aber nicht die alleinige Basis für die Ermittlung von Preisen bilden. Zu Kalkulationszwecken wird dann zusätzlich noch eine Abbildung der mehrdimensionalen Beschreibung einer Ressourcenanforderung in einen eindimensionalen Kostenparameter benötigt.

Als andere Alternative zur Aufteilung der Gesamtkosten eignen sich Opportunitätskosten, die entstehen, falls ein Netz ausgelastet ist und sich Datenströme wechselseitig beeinträchtigen [MMV97]. Derartige Ansätze aus dem Gebiet der Wohlfahrtsökonomie werden üblicherweise aufgestellt, um optimale Preisstrategien zu finden [MMV95, SFY95, WPS97, KVA98], wobei sich der Optimalitätsbegriff auf die durchschnittliche Differenz von Benutzerzufriedenheit und Benutzeraufwendungen (=Kommunikationsgebühren) bezieht. Hierbei existiert allerdings neben der mathematischen Komplexität und der Frage nach der technischen Realisierbarkeit einiger Ansätze ein fundamentales Problem: Eine global vorgegebene, optimale Preisfestlegung widerspricht dem Prinzip der Flexibilität und Unabhängigkeit der Marktteilnehmer und wird daher höchstens innerhalb jeweils eines Betreibernetzes möglich sein. Darüberhinaus gibt es kritische Überlegungen über die Auswirkungen einer Preisfestlegung basierend auf Überlastsituationen [SCEH96]. Die Tatsache, daß in einem solchen Fall ein Netzbetreiber lediglich in Überlastsituation nennenswerte Einnahmen erzielt, läßt es fraglich erscheinen, ob derartige Preise ausreichen, damit Netzbetreiber genügend Einnahmen erzielen, sowie ob hierbei Anreize für Netzbetreiber entstehen, ihre Netze *nicht* auszubauen. Insgesamt gilt, daß die bisher bekannten Ansätze keine umfassende Lösung zur Abrechnung von Datenverkehr bieten, sondern lediglich als Hilfsmittel für die Preiskalkulation dienen können.

Im Gegensatz zu den meist theoretischen Ansätzen zur Preisfindung ist die Fragestellung nach Abrechnungsmechanismen von hoher praktischer Relevanz. Protokolle und Algorithmen der Netzwerkschicht müssen erweitert, modifiziert und ergänzt werden, um Preis- und Abrechnungsinformationen zu sammeln, zu verarbeiten und zuverlässig bekanntzugeben. Es ist festzustellen, daß in der bisherigen Entwicklung des Internets die technisch einfachste und beste Lösung immer im Vordergrund stand, was dazu geführt hat, daß bestehende Protokolle nicht unter dem Gesichtspunkt einer exakten Abrechnung des Datenaufkommens entwickelt wurden. Dies geschah auch aus dem Selbstverständnis eines kooperierenden Anwenderkreises heraus. Wie in Abschnitt 2 dargelegt, ist dies jedoch eine Annahme, die sich für ein kommerzielles Datennetz nicht aufrechterhalten läßt. In den folgenden beiden Abschnitten erläutern wir die Problemstellung und Lösungsansätze bei der Entwicklung von Abrechnungsmechanismen für paketvermittelten Datenverkehr, insbesondere für aktuelle und zukünftige Netztechnologien aus dem Bereich des Internets.

## 4 Abrechnung von verbindungslosem Datenverkehr

Das heutige Internet beruht auf dem Prinzip der verbindungslosen Paketvermittlung. Zur Bereitstellung von Dienstgütegarantien existieren Ansätze, bei denen dies mit Verbindungssemantiken kombiniert wird (siehe Abschnitt 5), sowie Ansätze, die weitgehend auf die Speicherung von Datenstrom-spezifischen Zustandsinformationen verzichten. Der jüngste und zur Zeit viel diskutierte Vorschlag für die zweite Vorgehensweise findet sich in der von der IETF initiierten *Differentiated Services* Architektur [NB98] wieder.

### 4.1 Grundlagen

Grundsätzlich ist die Abrechnung von verbindungslosem Paketverkehr nicht trivial. Jedes Paket wird isoliert übertragen und es existiert kein globales Wissen über den Erfolg und insbesondere die Qualität der Übertragung. Pakete können beliebig verzögert, verfälscht und verloren werden und es ist vom Sender nicht zweifelsfrei feststellbar, welche Instanz im Netz einen Fehler verursacht hat. Falls beispielsweise in Abbildung 2 ein Paket in R3 verlorenggeht, so kann der Sender oder der Betreiber von R1 dies nicht von einem Verlust in R2 oder dem Rest des Netzes unterscheiden. Aufgrund der Tatsache, daß ein Paket auf seinem Weg zum Zielsystem typischerweise die Netze verschiedener Netzbetreiber durchläuft, ist es infolgedessen auch nicht möglich, von einem Netzbetreiber Gewährleistung für die Übertragung einzelner Pakete zu verlangen. Aus diesen genannten Gründen ist es praktisch nicht durchführbar, jedes einzelne Paket exakt abzurechnen. Diese fundamentale Restriktion ist ein inhärentes Problem für die Abrechnung von verbindungsloser Datenkommunikation und muß dementsprechend berücksichtigt werden.

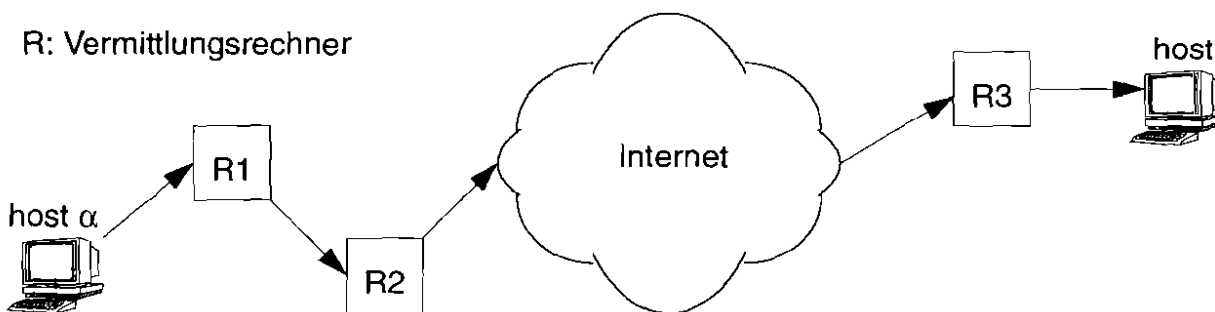


Abbildung 2: Datenpfad eines IP-Paketes

gert, verfälscht und verloren werden und es ist vom Sender nicht zweifelsfrei feststellbar, welche Instanz im Netz einen Fehler verursacht hat. Falls beispielsweise in Abbildung 2 ein Paket in R3 verlorenggeht, so kann der Sender oder der Betreiber von R1 dies nicht von einem Verlust in R2 oder dem Rest des Netzes unterscheiden. Aufgrund der Tatsache, daß ein Paket auf seinem Weg zum Zielsystem typischerweise die Netze verschiedener Netzbetreiber durchläuft, ist es infolgedessen auch nicht möglich, von einem Netzbetreiber Gewährleistung für die Übertragung einzelner Pakete zu verlangen. Aus diesen genannten Gründen ist es praktisch nicht durchführbar, jedes einzelne Paket exakt abzurechnen. Diese fundamentale Restriktion ist ein inhärentes Problem für die Abrechnung von verbindungsloser Datenkommunikation und muß dementsprechend berücksichtigt werden.

Eine Einschränkung der Flexibilität bei der Abrechnung von verbindungslosem Datenverkehr ist die prinzipielle Schwierigkeit, Gebühren einem Empfänger in Rechnung zu stellen [KS97]. Hierzu existieren gewisse Lösungsansätze [Cla96], die darauf basieren, daß Empfänger "Bezahlfilter" im Netz installieren, allerdings bleibt deren

Realisierbarkeit, z.B. unter Berücksichtigung der derzeit verwendeten Routingverfahren, fraglich.

## 4.2 Differentiated Services

Bei der Verwendung von Differentiated Services [NB98], um Datenströme mit einer gewissen Dienstgüte zu übertragen, werden Pakete mit einem Dienstidentifizierer (*Per Hop Behavior, PHB*) versehen und die Eigenschaften der Weiterleitung an Zwischenknoten richtet sich nach dieser Markierung. Hierbei sollen sowohl global gültige PHBs mit eindeutiger Semantik als auch lokal gültige Werte benutzt werden. Die Präzision der Zusicherung für Ende-zu-Ende Dienstgüte wird aller Voraussicht nach geringer sein als bei der Verwendung von detaillierten Weiterleitungsverfahren (wie z.B. CBQ), allerdings ist der Aufwand zur Realisierung von Differentiated Services wesentlich geringer. Durch Dienstvereinbarungen (*Service Level Agreement, SLA*) werden Profile für Datenströme vereinbart, die dann im Netz bevorzugt behandelt werden. Je nach Verwendung der PHBs und Ausprägung der SLAs lassen sich verschiedene Möglichkeiten zur Abrechnung vorstellen:

Falls SLAs statisch vereinbart werden, wird kein Abrechnungsverfahren im eigentlichen Sinne benötigt. Die Vereinbarung gilt für einen festgelegten Zeitraum zu einem bestimmten Preis und kann ohne integrierte Protokollunterstützung abgewickelt werden.

Es ist jedoch auch denkbar, daß SLAs dynamisch mit Hilfe eines Signalisierungsprotokolls zwischen den beteiligten Knoten ausgehandelt werden. Hiefür wären RSVP mit der Verwendung entsprechender Dienstklassen oder ähnliche Ansätze geeignet. Für die Abrechnung eines solchen Szenario verweisen wir auf Abschnitt 5.

Als Alternative zur Verwendung von SLAs könnte man Pakete direkt mit einer entsprechenden (möglicherweise globalen) PHB-Markierung übertragen. Hierfür geeignete Abrechnungsverfahren sind in [BBCW94] und [KS97] beschrieben. Sie beruhen darauf, daß jedes Paket am Eingangsknoten eines Betreiber-netzes nach seiner Zieladresse und dem voraussichtlichen Weg dorthin klassifiziert wird. Unter Berücksichtigung des Aufwands, den dieses Paket innerhalb des Teilnetzes verursacht und der Gebühren, die für die Weiterleitung in das Netz eines anderen Betreibers anfallen, gilt für dieses Paket ein vorher bekannter Preis. Eine der interessanten Eigenschaften dieses Verfahrens ist, daß Überlast zwar nicht verhindert wird, aber ein Anreiz für Endsysteme geschaffen wird, Überlast zu vermeiden, um Zahlungen für verlorene Pakete zu minimieren. Dies wirkt dem verschwenderischen Verbrauch von Ressourcen entgegen.

## 5 Abrechnung von RSVP-Reservierungen

In diesem Abschnitt stellen wir zusammengefaßt ein Verfahren für die Abrechnung von Datenströmen vor, für die Dienstgütegarantien mittels RSVP reserviert werden

[KWS98]. Die vorgestellten Mechanismen eignen sich zur Abrechnung von Multicast-Datenströmen und die Gebühren lassen sich flexibel zwischen Sender und Empfänger aufteilen. Mittels der in der Spezifikation von RSVP bereits vorgesehenen Platzhalter für administrative Daten fügt sich das hier dargestellte Abrechnungsverfahren nahtlos in den Entwurf von RSVP ein. Die Implementierung eines ähnlichen wenn auch wesentlich einfacheren Abrechnungsverfahrens für RSVP ist in [FSVP98] beschrieben. Die dort vorgestellten Ergebnisse sind äußerst ermutigend bezüglich der technischen Realisierbarkeit.

## 5.1 Überblick

Das Abrechnungsverfahren bezieht sich auf den generellen Begriff einer RSVP-Sitzung ohne Einschränkung der Netzwerktopologie, so daß mehrere Endbenutzer und mehrere Netzbetreiber involviert sein können, siehe z.B. Abbildung 3. Es werden zu-

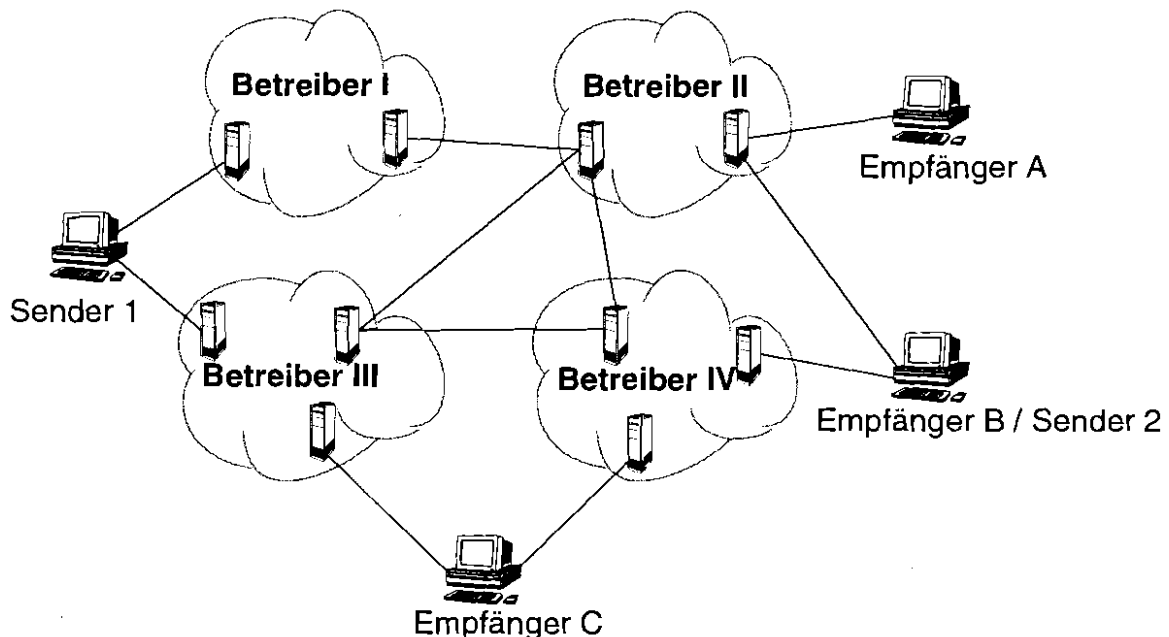


Abbildung 3: RSVP Session über Netzbetreibergrenzen hinweg

nächst keine Einschränkungen bezüglich der Komplexität der RSVP-Sitzung gemacht. Die Möglichkeit, Ressourcen zu reservieren, wird in RSVP durch die Versendung von PATH-Nachrichten entlang des Datenpfads bekanntgemacht. Empfänger initiieren Reservierungen, indem sie mit RESV-Nachrichten antworten. Daher besteht das einfachste Vorgehen darin, Gebühren für Reservierungen von Empfängern zu erheben. Das Eintreffen einer Reservierungsnachricht an einem Vermittlungsrechner löst jedoch das Versenden weiterer (möglicherweise anderer) Reservierungen an oberhalb gelegene Vermittlungsknoten aus. Für diese Reservierungen fallen dann ebenfalls Gebühren an. Im Sinne des Edge Pricing Paradigmas rechnet der Endbenutzer nur mit seinem unmittelbaren Netzbetreiber ab und jede Reservierung wird zwischen benachbarten Knoten abgerechnet. Der letztliche Reservie-

rungspreis für den Empfänger repräsentiert also quasi die Summe aller Preise auf dem Datenpfad.

Die bei einem solchen Abrechnungsverfahren auszutauschenden Protokollinformationen werden im Einklang mit bereits bestehenden Vorschlägen für den generellen Entwurf einer RSVP-Erweiterung für administrative Daten (*Policy Extension* [Her96,Her97]) definiert. Analog zur dort verwendeten Terminologie wird die Abrechnung anhand von Protokollelementen (*Policy Elements*) und deren Verarbeitung (*Policy Handlers*) beschrieben.

Die grundlegende Idee ist die Konstruktion eines *Downstream Charging Policy Element (DCPE)* Objekts, daß in Senderichtung (*downstream*) als Teil des *POLICY\_DATA*-Objekts der *PATH*-Nachricht versendet wird. Die Felder dieser Datenstruktur werden benutzt, um die Preisankündigungen und andere abrechnungsrelevante Daten zu übertragen (und an den Knoten zu aktualisieren). Vermittlungsrechner auf dem Datenpfad erzeugen flüchtigen Zustand (*soft state*) aus diesen Informationen. Wenn eine solche *PATH*-Nachricht einen Empfänger erreicht, enthält sie einen Gesamtpreis und der Empfänger kann entscheiden, ob er bereit ist, diesen Preis für eine Reservierung zu akzeptieren. Falls ja, versendet er eine *RESV*-Nachricht, die in ihrem *POLICY\_DATA*-Objekt ein Objekt vom Typ *Upstream Charging Policy Element (UCPE)* mit den entsprechenden Informationen enthält. Derselbe Mechanismus wird von Vermittlungsrechnern benutzt, um Reservierungsanforderungen weiterzuleiten; grundsätzlich bedeutet also das Versenden einer *PATH*-Nachricht das Angebot, eine Reservierung für eine gewisse Gebühr zu installieren und die Ankunft einer *RESV*-Nachricht die Bestätigung, daß die Reservierung entsprechend durchgeführt werden soll. Das in *RSVP* vorgesehene Verschmelzen von Reservierungen wird hierdurch zunächst nicht beeinträchtigt. Das Verschmelzen von mehreren Reservierungen ändert die Kostensituation an dem entsprechenden Vermittlungsrechner, aber dies muß sich nicht notwendigerweise auf die Preise auswirken. Details zur kalkulatorischen Aufteilung der Kosten finden sich in [KSW98]. Eine allgemeine theoretische Betrachtung zur Gebührenaufteilung bei Multicast-Kommunikation wird in [HSE97] gegeben.

An dieser Stelle ist anzumerken, daß ein Netzbetreiber normalerweise an dem Zustandekommen des Geschäfts, d.h. der Durchführung der Reservierung, interessiert ist. Darauf beruht die Annahme, daß ein Vermittlungsrechner in einem *DCPE*-Objekt den kleinstmöglichen, ökonomisch vertretbaren Preis festlegt, um Kunden zu gewinnen. Es ist sogar auch denkbar, daß Endbenutzer die Möglichkeit haben, kurzfristig zwischen verschiedenen Anbietern zu wählen, wie z.B. Empfänger B und C in Abbildung 3. Insgesamt kann also davon ausgegangen werden, daß dieses Abrechnungsverfahren die Schaffung eines Marktes mit hohem Wettbewerbspotential unterstützt. Andererseits, falls für Teilbereiche des Netzes eine wesentlich höhere Nachfrage besteht als Kapazitäten vorhanden sind, wird der Marktmechanismus (d.h.

die dort vorhandenen Verdienstmöglichkeiten) die Wettbewerber ermuntern, die angebotenen Kapazitäten zu vergrößern, bzw. neu in den Markt einzutreten.

## 5.2 Ausgewählte Merkmale

In [KSWS98] wird ein formales Modell als Basis der Abrechnungsmechanismen aufgestellt und verifiziert, mit dem die Übermittlung und Bearbeitung von Preisen und Gebühren modelliert werden kann. Auf diese Weise ist es möglich, Analyse und Simulation von Preisstrategien mit Hilfe des formalen Modells durchzuführen. Einige interessante Merkmale des Abrechnungsverfahrens werden im folgenden vorgestellt.

Das DCPE-Objekt enthält Felder, mit denen ein Sender festlegen kann, welchen relativen Anteil der Gebühren zu übernehmen er bereit ist. Weiterhin kann der Sender eine absolute Obergrenze für sein Gebührenaufkommen festlegen, sowie grob die Verteilung seiner Zahlung an die einzelnen Zwischenknoten. Diese Möglichkeit wird daraus abgeleitet, daß in RSVP ein Sender beim erstmaligen Festlegen der Zahlungsbereitschaft keinerlei Informationen über die Anzahl der potentiellen Empfänger sowie die jeweiligen Pfade dorthin hat. Daher ist es wichtig, daß auch zu Beginn einer RSVP-Sitzung der Sender die Möglichkeit hat, seine Präferenzen möglichst präzise zu spezifizieren. Die Zuweisung von Gebühren wird schematisch in Abbildung 4 gezeigt. Zum Beispiel werden die Gebühren für die Reservierung zwischen den Vermitt-

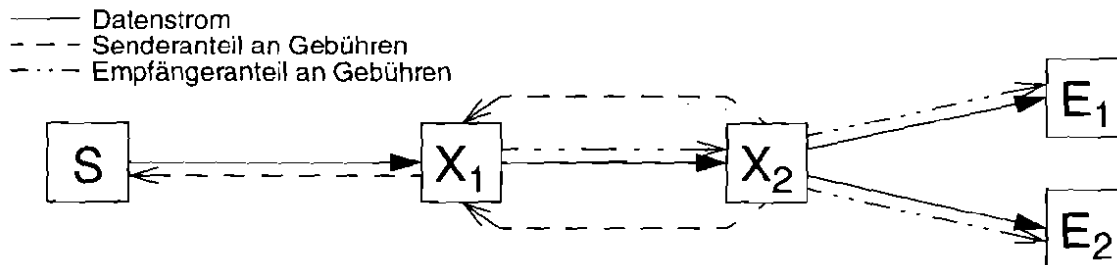


Abbildung 4: Zuweisung von Gebühren

lungsrechnern  $X_1$  und  $X_2$  dem Sender und  $X_2$  zugewiesen. Der Empfängeranteil wird im weiteren Verlauf von  $X_2$  auf die Empfänger aufgeteilt und weitergegeben. Die Gebühren für die Reservierung zwischen  $X_2$  und  $E_1$  wird zwischen  $X_1$  und  $E_1$  aufgeteilt. Hier wird der Senderanteil von  $X_1$  an den Sender weitergegeben.

Das Abrechnungsverfahren arbeitet weitestgehend dezentral. Um den Endbenutzern (Sender bzw. Empfänger) dennoch einen möglichst vollständigen Überblick zu geben, werden neben den lokal anfallenden Gebühren auch die vollständigen Gebühreninformationen Ende-zu-Ende übermittelt, d.h. ein Sender erfährt, welche Gebühren die Empfänger tragen und umgekehrt. In entsprechenden Feldern der UCPE- und DCPE-Objekte werden die Gesamtgebühren akkumuliert und übertragen. Hintergrund hierfür ist, daß kooperierende Kommunikationspartner diese Information auswerten können und somit in der Lage sind, ihre Gebühren miteinander zu vergleichen.

Die Preise für die Datenübertragung in einem Kommunikationsnetz ändern sich im Zeitablauf. Aus diesem Grund gibt es ein Feld im DCPE-Objekt, welches die zeitliche Gültigkeit des Preises angibt, allerdings führt dies zu gewissen Problemen, die sich inhärent durch den Entwurf von RSVP ergeben. Ein Netzbetreiber kann letztendlich nicht verpflichtet werden, den bekanntgegebenen Preis auch tatsächlich beim Eintreffen einer Reservierung anzusetzen. Falls sich die Kostenaufteilung des Netzknotens z.B. durch Veränderungen in der Multicast-Gruppe, verändert hat, und der Netzbetreiber eigentlich zu diesem Zeitpunkt einen höheren Preis verlangen müßte, so könnte er jederzeit ein technisches Fehlschlagen der Ressourcenreservierung simulieren, um einer für ihn ungünstigen Situation zu entgehen. Aus diesem Grund wird sowohl im DCPE-Objekt eine Obergrenze für den Preis angegeben, als auch im UCPE-Objekt vom Empfänger der Preis, den er zu akzeptieren bereit ist, nochmals explizit angegeben. Beim Installieren einer Reservierung wird dann die Summe abgerechnet, die zum Reservierungszeitpunkt gültig ist, sofern sie durch das Einverständnis des Empfängers abgedeckt ist. Im allgemeinen ist der bekanntgegebene Preis und dessen Gültigkeitsdauer also nur eine als Schätzung der augenblicklichen Gebührenverhältnisse zu verstehen, wobei man durch die zu erwartende Wettbewerbssituation davon ausgehen kann, daß jeder Betreiber versucht, hier möglichst kundenfreundlich vorzugehen. Ein weiterer Aspekt hierbei ist die Zeitdauer, die benötigt wird, um eine Reservierung entlang des gesamten Datenpfads zu installieren. Hierbei ist im Moment nicht klar, welche Partei hierfür die Gebühren übernimmt, bzw. was passiert, wenn eine Reservierung bereits teilweise wirksam ist und dann wieder aufgehoben werden muß, weil auf einer Teilstrecke nicht genügend Ressourcen vorhanden sind.

Sowohl im DCPE- als auch im UCPE-Objekt werden Abrechnungsinformationen wie z.B. die Identifizierung oder Kontoinformationen von Sender bzw. Empfänger übertragen. Zur Authentisierung und Absicherung dieser Information kann man den vorgeschlagenen Integritätsmechanismus für RSVP-Nachrichten [Bak97] oder weitergehende Mechanismen, wie in [Her97] beschrieben, verwenden.

Innerhalb des Abrechnungsmodells werden keine Vorgaben für die Gestaltung der Preisrepräsentation gemacht, da dies ausschließlich von den verwendeten Dienstklassen abhängt. Bei den beiden bisher im Rahmen der *Internet Integrated Services* [Wro97a] standardisierten Dienstklassen, *Guaranteed Service* [SPG97] und *Controlled Load* [Wro97b], können Reservierungen aus einem Raum von Dienstgüteparametern und ihren Werten gewählt werden, so daß der Preis vermutlich als eine Funktion der Dienstgüteparameter dargestellt sein wird.

### 5.3 Bewertung

Jedes Abrechnungsverfahren muß in Hinsicht auf seine Eignung an Hand von Kriterien wie der in Abschnitt 2 beschriebenen bewertet werden. Diese Bewertung wird im folgenden für das vorgeschlagene Verfahren beschrieben.

Die Vorhersehbarkeit der Gebühren ist beim vorliegenden Verfahren in großen Teilen gegeben. Je nach Dynamik von Multicast-Gruppen existiert eine gewisse Unsicherheit bezüglich der aktuellen Preise, allerdings kann diese durch längerfristige Erfahrungswerte eventuell ausgeglichen werden. Die Restriktion bezüglich der exakten Preise ist jedoch RSVP-inhärent, was sich darin zeigt, daß auch an anderer Stelle bei der Aushandlung von Dienstgüte mit RSVP ähnliche Probleme existieren (*One Pass With Advertising*, [SB95]). Um die Folgen abzuschwächen, werden dem Endbenutzer Obergrenzen für seine Gebühren mitgeteilt und er kann explizit seine Zahlungsbereitschaft spezifizieren. Zum anderen wird es im Zusammenhang mit vielen Anwendungsszenarien (z.B. geschlossene Videokonferenz) keine hohe Dynamik der Multicast-Gruppen geben, so daß die Preise sich während einer RSVP-Sitzung relativ kontinuierlich entwickeln werden. Alles in allem ist der augenblickliche Preis bei Durchlauf der PATH-Nachricht die beste Näherung an die tatsächlich anfallende Gebühr. Unabhängig von den technischen Gegebenheiten ist es die Entscheidung eines Netzbetreibers, feste oder variable Preise anzubieten. Hierbei wird die Akzeptanz verschiedener Preismodelle durch Benutzer ein wichtiges Entscheidungskriterium.

Transparenz und Flexibilität werden durch die verschiedenen Protokollelemente unterstützt. Bei der Aufteilung von Gebühren zwischen Sendern und Empfängern sowie zwischen mehreren Empfängern in einer Multicast-Gruppe werden keinerlei Restriktionen durch das Abrechnungsverfahren vorgegeben. Jeder Netzbetreiber ist in seiner Preispolitik frei und unabhängig. Um die Transparenz noch weiter zu erhöhen ist es denkbar, daß Mechanismen zur Überwachung und Analyse von RSVP-Datenpfaden [ZT97] hierfür verwendet und angepaßt werden.

Die Forderungen nach Stabilität des Dienstes und technischer wie auch rechtlicher Sicherheit sind Anforderungen, die eher **durch** die Anwendung nutzungsabhängiger Abrechnung aufkommen, als Anforderungen **an** die Abrechnung zu sein. Das vorgestellte Verfahren unterstützt deren Erfüllung indirekt, indem die Rechnungsstellung von der Diensterbringung entkoppelt ist. Somit ist es möglich, die Gebühren nicht in Rechnung zu stellen, falls der Dienst nicht vereinbarungsgemäß erbracht werden konnte. Sicherheitsaspekte werden durch die Transparenz der Gesamtgebühren und die Benutzung von bereits bekannten Sicherheitsmechanismen unterstützt.

Die technische Realisierbarkeit von RSVP wird zur Zeit durchaus kontrovers diskutiert. Die vorgestellten Abrechnungsmechanismen haben die gleiche Komplexität wie RSVP selbst, dadurch daß DCPE- und UCPE-Objekte jeweils mit RSVP PATH- und RESV-Nachrichten versendet werden und die entsprechenden Zustandstabellen



für die Abrechnung mit den normalen RSVP-Zustandstabellen zusammengefaßt werden können.

Benutzerfreundlichkeit ist ein Wettbewerbselement, welches nur teilweise durch die technischen Aspekte des Abrechnungsverfahrens determiniert wird. Die Verwendung des Edge Pricing Paradigmas vereinfacht das Zustandekommen von multilateralen Abkommen. Außerdem werden Netzbetreiber sich bemühen müssen, die Komplexität der Abrechnung von den Benutzern fernzuhalten, sofern diese es so wünschen. Dies bezieht sich insbesondere auf die Preisgestaltung.

## 6 Zusammenfassung und Ausblick

Wir haben im vorliegenden Artikel die wichtigsten Aspekte zur Abrechnung von paketvermittelter Datenkommunikation erläutert. Hierzu wurden zunächst Rahmenbedingungen für eine solche Abrechnung aufgestellt, welche unserer Meinung nach stark von den Erfahrungen der Endbenutzer mit bisherigen Telekommunikationsdiensten wie der Telefonie beeinflusst werden. Danach haben wir Ansätze zur Abrechnung von Datenkommunikation mit und ohne Verbindungssemantiken vorgestellt und diskutiert, wobei wir den Schwerpunkt auf Mechanismen zur Abrechnung gelegt haben, im Gegensatz zu Arbeiten über Strategien zur Preisfestlegung.

Die Betrachtung von abrechnungsrelevanten Aspekten wird in der Zukunft sicherlich stärker in das Betrachtungsfeld rücken, da ein zukünftiges kommerzielles Internet, welches verschiedenste Kommunikationsdienste integriert, nur dann machbar erscheint, wenn grundlegende Zusammenhänge der marktwirtschaftlichen Ökonomie beachtet werden. Aus diesem Grund erscheint es uns wichtig, daß nutzungsabhängige Abrechnung, die damit verbundene Komplexität, sowie ihre Auswirkungen zu zentralen Kriterien bei der Entwicklung von zukünftigen Netztechnologien werden.

## 7 Literatur

- [Bak97] Fred Baker. RSVP Cryptographic Authentication. Internet Draft, August 1997.
- [BBCW94] Roger Bohn, Hans-Werner Braun, Kimberly C. Claffy, und Stephen Wolff. Mitigating the Coming Internet Crunch: Multiple Service Levels via Precedence. Technical report, University of California, März 1994.
- [BZB<sup>+</sup>97] Bob Braden, Lixia Zhang, Steve Berson, Shai Herzog, und Sugih Jamin. RFC 2205 - Resource ReSerVation Protocol (RSVP) – Version 1 Functional Specification. Proposed Standard, September 1997.
- [Cla96] David D. Clark. Combining Sender and Receiver Payments in the Internet. In *Telecommunications Research Policy Conference*, Oktober 1996.
- [DF98] Luca Delgrossi und Domenico Ferrari. Charging Schemes for Reservation-based Networks, 1998. eingereicht zur .

- [FD98] Domenico Ferrari and Luca Delgrossi. Charging for QoS. In *Proceedings of 6th IEEE/IFIP International Workshop on Quality of Service*. IEEE, Mai 1998.
- [FJ95] Sally Floyd und Van Jacobson. Link-sharing and Resource Management Models for Packet Networks. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 3(4):365–386, August 1995.
- [FSVP98] George Fankhauser, Burkhard Stiller, Christoph Vögtli, und Bernhard Plattner. Reservation-based Charging in an Integrated Services Network. In *Proceedings of 4th INFORMS Telecommunications Conference, Boca Raton, Florida, U.S.A.*, März 1998.
- [Har68] Garret Hardin. The Tragedy of the Commons. *Science* Nummer 162:1243–1247, 1968.
- [Her96] Shai Herzog. Local Policy Modules (LPM): Policy Control for RSVP. Internet Draft, November 1996.
- [Her97] Shai Herzog. RSVP Extensions for Policy Control. Internet Draft, März 1997.
- [HSE97] Shai Herzog, Scott Shenker, and Deborah Estrin. Sharing the "Cost" of Multicast Trees: An Axiomatic Analysis. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 5(6):847–860, Dezember 1997.
- [KS97] Martin Karsten und Ralf Steinmetz. An approach to pricing of connectionless network services. In *Proceedings of MMNS'97*. Chapman & Hall, Juli 1997.
- [KSWS98] Martin Karsten, Jens Schmitt, Lars Wolf, und Ralf Steinmetz. An Embedded Charging Approach for RSVP. In *Proceedings of 6th IEEE/IFIP International Workshop on Quality of Service*. IEEE, Mai 1998.
- [KVA98] Yannis A. Korillis, Theodora A. Varvarigou, und Sudhir R. Ahuja. Incentive-Compatible Pricing Strategies in Noncooperative Networks. In *Proceedings of the 17th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies (INFOCOM'98)*, März 1998.
- [MMV95] Jeffrey K. MacKie-Mason und Hal R. Varian. Pricing Congestible Resources. *IEEE Journal of Selected Areas in Communications*, 13(7):1141–1149, September 1995.
- [MMV97] Jeffrey K. MacKie-Mason and Hal R. Varian. Economic FAQs About the Internet. In Joseph Bailey und Lee McKnight, Herausgeber, *Internet Economics*. MIT Press, Cambridge, 1997.
- [NB98] Kathleen Nichols und Steven Blake. Definition of the Differentiated Services Field (DS Byte) in the IPv4 and IPv6 Headers. Internet Draft, Mai 1998.

- [PF92] Colin Parris und Domenico Ferrari. A Resource-based Pricing Policy for Real-Time Channels in a Packet-Switching Network. Technical Report 92-016, International Computer Science Institute, Berkeley, 1992.
- [SB95] Scott Shenker und Lee Breslau. Two Issues in Reservation Establishment. In *Proceedings of ACM SIGCOMM '95*, August 1995.
- [SCEH96] Scott Shenker, David Clark, Deborah Estrin, und Shai Herzog. Pricing in Computer Networks: Reshaping the Research Agenda. *ACM Computer Communication Review*, 26(2):19–43, April 1996.
- [SFY95] Jakka Sairamesh, Donald F. Ferguson, und Yechiam Yemini. An Approach to Pricing, Optimal Allocation and Quality of Service Provisioning in High-Speed Packet Networks. In *Proceedings of the 14th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies (INFOCOM'95)*, Los Alamitos, CA, Juni 1995. IEEE Computer Society Press.
- [SPG97] Scott Shenker, Craig Partridge, and Roch Guerin. RFC 2212 - Specification of Guaranteed Service, September 1997.
- [WPS97] Qiong Wang, Jon M. Peha, and Marvin A. Sirbu. Optimal Pricing for Integrated-Services Networks with Guaranteed Quality of Service. In Joseph Bailey und Lee McKnight, Herausgeber, *Internet Economics*. MIT Press, 1997.
- [Wro97a] John Wroclawski. RFC 2210 - The Use of RSVP with IETF Integrated Services, September 1997.
- [Wro97b] John Wroclawski. RFC 2211 - Specification of the Controlled-Load Network Element Service, September 1997.
- [ZT97] Lixia Zhang und Andreas Terzis. RSVP Diagnostic Messages. Internet Draft, December 1997.

