

# Multicast-Kommunikation

Teleseminar im WS 1999/2000

am Lehrstuhl für Praktische Informatik IV,  
der Universität Mannheim

unter Betreuung von Thomas Fuhrmann

vorgelegt von Oliver Jankowski

# Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis .....</b>	<b>2</b>
<b>1 Einleitung.....</b>	<b>3</b>
<b>2 OSPF .....</b>	<b>4</b>
2.1 Link-State-Routing-Protokolle.....	4
2.2 Link-State-Advertisements.....	5
2.2.1 Broadcast-Netze.....	5
2.2.2 Non-Broadcast-Netze.....	6
2.3 Hierarchisches Routing in OSPF.....	6
2.3.1 Grenzrouter .....	6
2.3.2 AS-Grenzrouter.....	7
2.3.3 Stub-Areas .....	7
2.4 Type of Service-Routing.....	8
2.5 Beispiel .....	8
<b>3 MOSPF .....</b>	<b>10</b>
3.1 Multicast-Erweiterungen.....	10
3.1.1 Group-Membership-LSAs.....	10
3.1.2 Source/Destination-Routing .....	11
3.2 Intra-Area Multicasting.....	11
3.3 Inter-Area Multicasting.....	12
3.4 Inter-AS Multicasting.....	13
3.5 MOSPF und OSPF in einem Bereich .....	13
3.6 TOS-Multicasting.....	14
3.7 Beispiel .....	14
<b>4 Literaturverzeichnis .....</b>	<b>15</b>

# 1 Einleitung

Durch die rasende Entwicklung in der Computerindustrie ist die Echtzeit-Verarbeitung von Video- und Audioströmen inzwischen auf herkömmlichen PCs möglich. Dadurch finden auch Multimedia-Anwendungen, wie zum Beispiel Teleteaching, Videokonferenzen oder near-Video-on-demand, eine immer weitere Verbreitung.

Viele dieser Anwendungen benötigen jedoch Multicast-Verbindungen, d.h. ein Sender überträgt die Daten gleichzeitig an mehrere Empfänger. Die klassischen Internet-Routing-Algorithmen (OSPF, DVRP) bieten jedoch nur Punkt-zu-Punkt-Verbindungen, so dass Multicast-Verbindungen mit einem Sender und  $N$  Empfängern über  $N$  einzelne Unicast-Verbindungen realisiert werden müssen. Zusätzlich benötigen Multimedia-Anwendungen meistens noch eine sehr hohe Bandbreite im Vergleich zu herkömmlichen Anwendungen, wie z.B. FTP oder Email und können daher schnell zu einer Überlastung des Netzes führen.

Um auch den vielen Millionen Internet-Surfern die Möglichkeit zur Nutzung solcher Multimedia-/Multicast-Anwendungen zu geben, wurden von der Internet Engineering Task Force (IETF) neue, multicast-fähige Routing-Algorithmen entwickelt.

Einer dieser Algorithmen ist MOSPF, eine Erweiterung des klassischen OSPF für Multicast. Um ihn verstehen zu können, wird zuerst im nächsten Kapitel seine Grundlage, der Unicast-Routing-Algorithmus OSPF, beschrieben. Im anschliessenden Kapitel wird dann MOSPF ausführlich vorgestellt.

## 2 OSPF

OSPF, eine Abkürzung für *Open Shortest Path First*, ist ein *internes Gateway-Protokoll*, d.h. es ist für das Routing innerhalb eines Autonomen Systems (AS) zuständig. Es gehört zur Klasse der *Link-State-Routing-Protokolle* und wurde von der Internet Engineering Task Force entworfen. Heute ist es das vom Internet Architecture Board empfohlene Unicast-Routing-Protokoll.

### 2.1 Link-State-Routing-Protokolle

Die Idee eines Link-State-Routing-Protokolls ist, dass jeder Router die gesamte Topologie des Netzes kennt und sie in einer sogenannten *Link-State-Database* gespeichert hält. Diese Datenbank beschreibt den aktuellen Zustand des Netzes in Form eines gerichteten Graphen. Mit ihrer Hilfe können die Router intern die besten Wege durchs Netz berechnen und das Paket dementsprechend weiterleiten. OSPF verwendet dazu den Dijkstra-Algorithmus, der auch *Shortest Path First* genannt wird. Die Berechnung kann auf modernen Computern in Bruchteilen von Sekunden erfolgen, wenn das Netz nicht zu gross ist. Ihre Ergebnisse werden in einer Routing-Tabelle gespeichert, und die eintreffenden Datagramme werden dann auf Grundlage der Ziel-IP-Adresse weitergeleitet. Soll es zu keinen Fehlern, wie z.B. „kreisenden Paketen“, kommen, muss sichergestellt werden, dass jeder Router die gleiche Datenbasis besitzt. Da aber Rechnernetze in der Regel nicht statisch sind, müssen die Änderungen in der Netz-Topologie allen Routern schnellsten bekannt gemacht werden. Dies geschieht bei OSPF mit Hilfe eines *Flooding-Algorithmus*, der für die Verbreitung der *Link-State-Updates* zu den „benachbarten“ Routern (siehe Abschnitt 2.2) verantwortlich ist.

Neben der besseren Anpassung an Veränderungen des Netzes, lassen sich noch folgende Vorteile von OSPF gegenüber RIP nennen:

1. OSPF unterstützt ab Version 2 die Zustandsbeschreibung einer Verbindung durch mehrere Metriken. Da nicht vorausgesetzt wird, dass alle OSPF-Router diese Funktion implementiert haben, werden nur solche IP-Pakete entsprechend ihres *Type of Service (TOS)* weitergeleitet, auf deren Weg zum Ziel sich nur TOS-fähige Router befinden.

2. Eine Aufteilung des Datenverkehrs auf mehrere gleichwertige Routen ist möglich. Die Pfade müssen dabei nicht unbedingt im mathematischen Sinne exakt gleichwertig sein, sondern es wird auch eine „ungefähre“ Gleichheit akzeptiert.

## 2.2 Link-State-Advertisements

Änderungen der Netzwerk-Topologie werden in OSPF durch Link-State-Updates, auch *Link-State-Advertisements (LSAs)* genannt, verbreitet. Sie werden nur mit „benachbarten“ Routern ausgetauscht. Aber nicht jeder direkt erreichbare Nachbar ist auch ein „benachbarter“ Router. So können Router neben Punkt-zu-Punkt-Verbindungen, auch Verbindungen zu einem Broadcast- bzw. Non-Broadcast-Netzwerk haben.

Grundsätzlich wird jeder andere Router, mit dem man eine Punkt-zu-Punkt-Verbindung unterhält, als „benachbarter“ Router gesehen. Für Broadcast- bzw. Non-Broadcast-Netze gelten spezielle Regeln.

### 2.2.1 Broadcast-Netze

Um die Link-State-Datenbanken nicht allzu gross werden zu lassen, werden in LANs *Designated Router* bestimmt. Diese sorgen dafür, dass das LAN auch als solches im Internet bekannt ist und nicht als vollständig vermaschtes Netz in den Datenbanken abgebildet werden muss. Die Festlegung des Designated Router und seines Backups erfolgt mittels des *Hello-Protokolls* dynamisch unter allen Routern des LANs. Nur der Designated Router eines angeschlossenen Netzwerks und sein Backup werden als „benachbarte“ Router angesehen.

Die Verbindung eines Routers zum LAN (unidirektional) wird durch dessen Router-Link-State-Updates im Internet verbreitet. Das Flooding der Netzwerk-LSAs, die die unidirektionalen Links des Netzes zu den Routern hin beschreiben, erfolgt durch den Designated Router. Diese Verbindungen werden übrigens grundsätzlich mit Null bewertet.

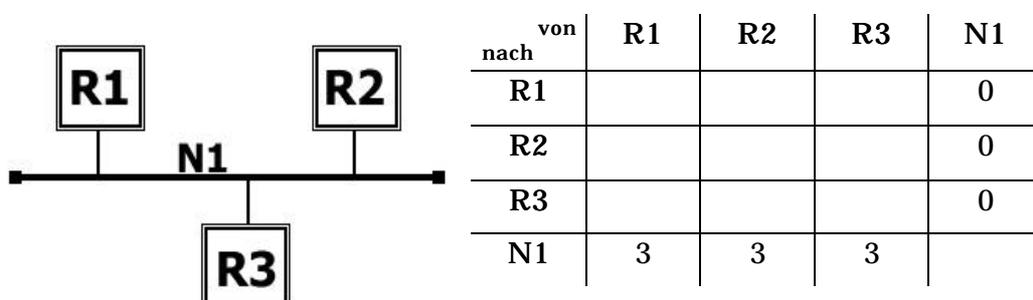


Abbildung 1: Broadcast-Netz und Link-State-Database

## 2.2.2 Non-Broadcast-Netze

Non-Broadcast-Netze bieten zwar wie Broadcast-Netze auch eine vollständige Verbindung zwischen ihren Mitgliedern, stellen aber keine Broadcast- oder Multicast-Dienste zur Verfügung. Beispiele hierfür sind IP-Netze, die auf X.25- oder ATM-Netzen betrieben werden. Es gibt zwei Modi, wie solche Netze unter OSPF betrieben werden können:

1. *Non Broadcast Multiple Access (NBMA)*: Es wird ein Broadcast-Netz simuliert. Auch hier wird ein Designated Router für die Verwaltung der Netzwerk-LSAs bestimmt.
2. *Point-to-Multipoint*: Das Netz wird statisch als ein Menge von virtuellen Verbindungen konfiguriert, die von OSPF als Punkt-zu-Punkt-Verbindungen betrachtet werden.

NBMA ist das effizientere Verfahren OSPF auf Non-Broadcast-Netzen zu betreiben, da es die wenigsten Datenbankeinträge erzeugt und auch den Datenverkehr im Netz niedrig hält. Jedoch erfordert es, dass jeder Router mit jedem anderen des Netzes direkt kommunizieren kann. Welche Router als „benachbart“ betrachtet werden hängt von der Wahl der Betriebsart ab.

## 2.3 Hierarchisches Routing in OSPF

Da die Grösse der Link-State-Datenbank und damit auch die Dauer der Routing-Berechnung, sowie das Volumen der zu übertragenen OSPF-Nachrichten von der Grösse des Autonomen Systems abhängt, wird hierarchisches Routing durch OSPF unterstützt. Es erlaubt die Aufteilung des Autonomen Systems in unabhängige Bereiche, die durch ein Backbone verbunden sind. Ein solcher Bereich ist eine Menge von physisch zusammenhängenden IP-Subnetzen (Punkt-zu-Punkt- oder auch Broadcast-Netze). Das Backbone, welches häufig als Bereich 0.0.0.0 bezeichnet wird, muss ebenfalls zusammenhängend sein, wobei hier auch *virtuelle Links* erlaubt sind.

Die Router kennen nur die genaue Netzstruktur ihrer zugehörigen Bereiche, die Topologie anderen Bereichen ist vor ihnen versteckt. Sollen IP-Pakete zu einem Ziel in einem anderen Bereich gesendet werden, muss hierzu das Backbone benutzt werden. Das Flooding der Link-State-Advertisements findet ausschliesslich innerhalb eines Bereiches statt und endet an den Bereichsgrenzen (Ausnahme: *AS-External-LSAs*, siehe 2.3.2).

### 2.3.1 Grenzrouter

Router, die mehrere Bereiche miteinander verbinden, werden *Grenzrouter* genannt und gehören immer auch zum Backbone. Sie besitzen für jeden zugehörigen Bereich eine separate Link-State-Datenbank. Ihre Aufgabe ist es *Summary-LSAs* für die angeschlossenen Non-Backbone-Bereiche zu berech-

nen, die sie dann im Backbone verteilen. In den Summary-LSAs geben die Grenzrouter an, zu welchen Kosten sie die Netze in ihrem Bereich erreichen können. Gleichzeitig müssen sie die Summary-LSAs von anderen Bereichen auf dem Backbone empfangen und um ihre Kosten zum „ anbietenden “ Grenzrouter ergänzt, in den ihnen zugehörigen Non-Backbone-Bereichen verbreiten.

Bereichsübergreifendes Routing (*Inter-Area Routing*) funktioniert also genauso wie bereichsinternes Routing (*Intra-Area Routing*), da jeder Router weiss wie er ein bestimmtes IP-(Sub-)Netz am besten erreichen kann.

### 2.3.2 AS-Grenzrouter

Autonome Systeme sind über *AS-Grenzrouter* miteinander verbunden und tauschen Informationen über ihre Netze mittels des *Border Gateway Protokolls* aus. Aus diesen Informationen stellen AS-Grenzrouter sogenannte AS-External-LSAs zusammen, die im gesamten Autonomen System gefloodet werden. In ihnen stehen die Kosten, die der AS-Grenzrouter zum Erreichen des externen Netz benötigt. Hierbei werden zwei Arten „externer“ Metrik unterschieden:

- Typ 1: Die Metrik entspricht der intern verwendeten Metrik. Zu Berechnung der besten Routen können interne und externe Metrik addiert werden.
- Typ 2: Die externe Metrik ist signifikant grösser als die interne. Das IP-Paket wird auf dem besten Pfad zum AS-Grenzrouter mit der niedrigsten externen Metrik geroutet.

Das Routen von Datagrammen in ein anderes Autonomes System wird auch als *AS-External Routing* bezeichnet. Die AS-Grenzrouter werden im Autonomen System durch Summary-LSAs der (Bereichs-)Grenzrouter bekannt gemacht.

### 2.3.3 Stub-Areas

Bereiche, die nur mit einem Grenzrouter am Backbone angeschlossen sind, werden als *Stub-Areas* bezeichnet. Für sie sieht OSPF eine weitere Vereinfachung des Routings vor, mit der die Anzahl der Link-State-Datenbankeinträge nochmals drastisch verringert werden kann.

Für alle Datagramme, deren Ziel-IP-Adressen nicht im eigenen Bereich liegen, macht es wenig Sinn die externe Route detailliert zu bestimmen. Es reicht vollkommen für das gesamte Inter-Area- und AS-External-Routing eine *Default-Route* zum Grenzrouter zu definieren. Dadurch können die ganzen Datenbankeinträge, die bereichsexterne Routen betreffen, weggelassen werden.

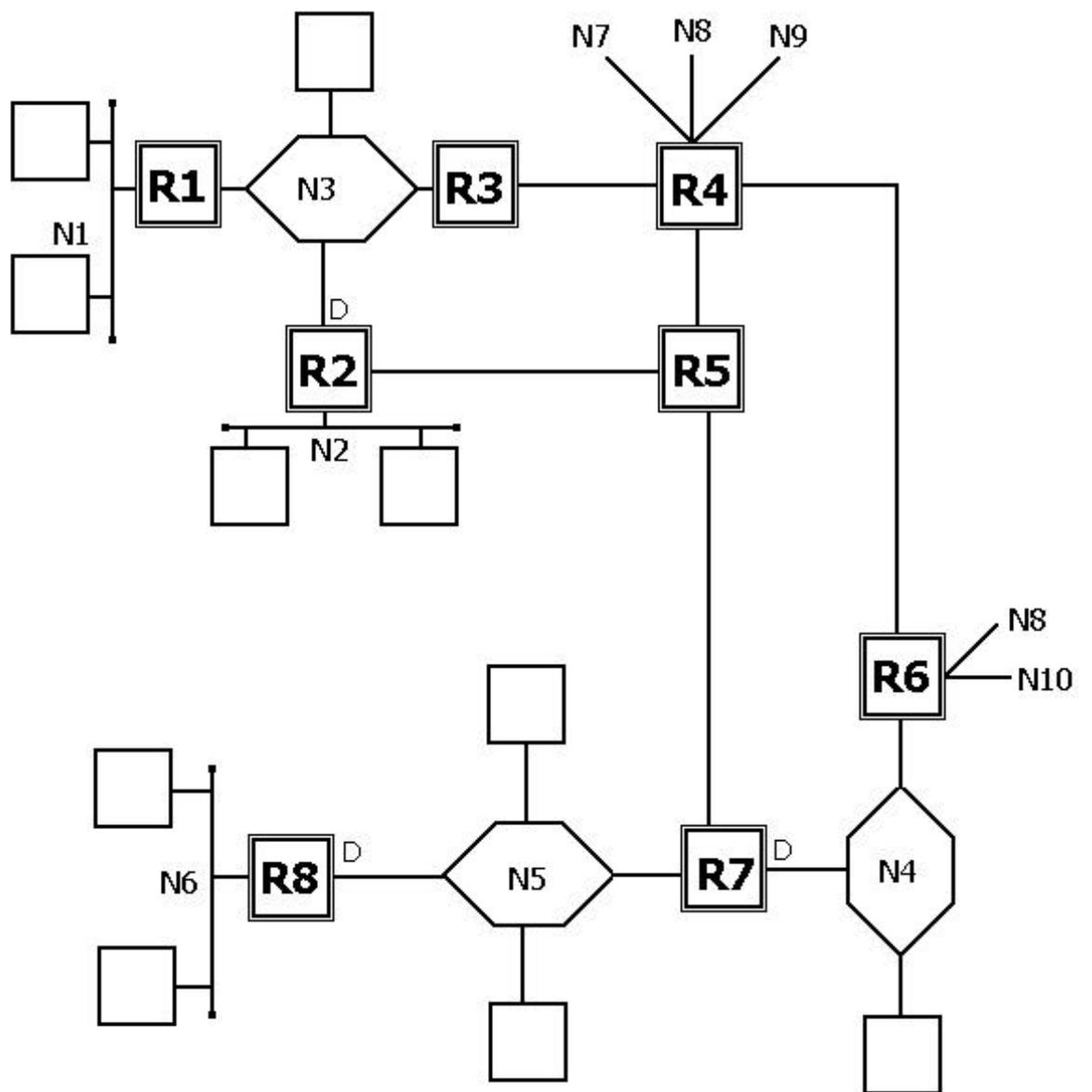
## 2.4 Type of Service-Routing

Wie bereits erwähnt unterstützt OSPF ab Version 2 die Bewertung von Links mit verschiedenen Metriken. Folgende Service-Arten werden hierbei von einem TOS-fähigen Router angeboten:

- 0 - normaler Service
- 2 - minimale Geldkosten
- 4 - maximale Zuverlässigkeit
- 8 - maximaler Durchsatz
- 16 - minimale Verzögerung

Da nicht jeder OSPF-Router im Netz TOS-Routing implementiert haben muss, geben die Router in ihren LSAs bekannt, ob sie TOS-fähig sind. Erreicht nun ein IP-Paket mit  $TOS \neq 0$  einen TOS-fähigen Router, versucht dieser zuerst einen, dem verlangtem Service entsprechenden, Weg zum Ziel zu finden, der nicht durch TOS-„unfähige“ Router führen darf. Sollte ein solcher Pfad nicht existieren, wird das Paket mit  $TOS = 0$  weitergeroutet.

## 2.5 Beispiel

## 3 MOSPF

In diesem Kapitel werden die Erweiterungen für OSPF zum Routing von IP-Multicast-Datagrammen beschrieben. Das aus diesen Erweiterungen resultierende Protokoll wird im allgemeinen *Multicast Open Shortest Path First (MOSPF)* genannt. Die Erweiterungen sind abwärtskompatibel zu OSPF (Version 2) und erlauben so eine stückweise Einführung von MOSPF-Routern im Netz. Dabei arbeiten die OSPF- und MOSPF-Router beim Routing von Unicast-Datagrammen zusammen, während Multicast-Datagramme nur von MOSPF-Routern verarbeitet werden können und auch nur diese erreichen sollten. Ihre Multicasting-Fähigkeit teilen Router ihren Nachbarn durch das Setzen des *M-Bits* in den Link-State-Advertisements mit. „Tunnels“ zur Überbrückung von nicht-multicastfähigen Routern werden nicht unterstützt.

MOSPF gehört zur Klasse der *empfängerorientierten* Multicast-Protokollen, d.h. jeder Knoten im Netz kann selbst entscheiden, ob er Pakete einer bestimmten Gruppe empfangen möchte. Der Sender hat also keinen Einfluss darauf wer die Daten empfängt.

### 3.1 Multicast-Erweiterungen

Um das Routing von IP-Multicast-Paketen zu ermöglichen, musste OSPF um einige Erweiterungen ergänzt werden. Die beiden wesentlichen sind:

1. Die Gruppenzugehörigkeit eines Routers muss allen anderen Routern seines Bereiches bekannt sein.
2. Für jedes Paar aus Sender *S* und Gruppe *G* muss ein eigener Multicast-Baum berechnet werden.

#### 3.1.1 Group-Membership-LSAs

Jeder Router hat nun eine lokale „Gruppen-Datenbank“ zu führen, mit der er die Gruppenmitgliedschaft der angeschlossenen Netzwerke verwaltet. Um den Datenverkehr möglichst gering zu halten, wird diese Aufgabe vom Designated Router mit Hilfe des *Internet Group Managements Protocols (IGMP)* ausgeführt. Das IGMP erlaubt einzelnen TCP/IP-Hosts einer Multicast-Gruppe beizutreten bzw. diese zu verlassen.

Das Vorhandensein der lokalen Gruppenmitglieder wird den anderen Routern durch sogenannte *Group-Membership-LSAs* bekanntgegeben, die nur im zugehörigen Bereich gefloodet werden. Für jede Multicast-Gruppe wird eine eigene *Group-Membership-LSA* erzeugt. Ein Router trägt sich dabei als Gruppenmitglied in die LSA ein, wenn er selbst Mitglied der Gruppe ist oder wenn ein angeschlossenes *Stub-Netzwerk* ein Gruppenmitglied hat. Er trägt ein *Transit-Netzwerk* als Mitglied ein, wenn er Designated Router des Netzes ist und es mindestens ein Gruppenmitglied hat.

### 3.1.2 Source/Destination-Routing

Das Routing der Multicast-Datagramme erfolgt bei MOSPF auf Basis der Sender- und Gruppenadresse und wird daher i.d.R. als *Source/Destination-Routing* bezeichnet. Da die Gruppenmitglieder (eines Bereiches) allen Routern bekannt sind, kann für jedes (Sender,Gruppe)-Paar ein eigener Multicast-Baum berechnet werden, der den Sender als Wurzel und nur Gruppenmitglieder als Blätter hat (*pruned tree*). Die Pakete werden auf diesem Baum auf dem kürzesten Weg zum Ziel geroutet, wobei Gemeinsamkeiten der Pfade voll ausgenutzt werden, d.h. die Duplizierung der Pakete erfolgt so spät wie möglich im Multicast-Baum.

Man kann beim Source/Destination-Routing drei Fälle unterscheiden: Intra-Area-, Inter-Area- und Inter-AS Multicasting. Sie werden in den folgenden Abschnitten genauer betrachtet.

## 3.2 Intra-Area Multicasting

In diesem Abschnitt wird der grundlegenden Multicasting-Algorithmus von MOSPF beschrieben. Er behandelt den Fall, wo sich der Sender und alle Gruppenmitglieder in einem OSPF-Bereich befinden.

MOSPF-Router treffen ihre Routing-Entscheidungen auf Basis des *Forwarding Caches*. Er enthält für jedes (Sender,Gruppe)-Paar einen eigenen Eintrag, der neben der Sender- und Gruppenadresse auch die Leitung, auf der das Paket den Router erreichen muss, und die Interfaces, auf denen das Paket weitergeroutet werden soll, enthält. Die Einträge des *Forwarding Caches* werden auf Basis der lokalen „Gruppen-Datenbank“ und des in 3.1.2 beschriebenen Multicast-Baums nur bei Bedarf, d.h. wenn das erste Multicast-Datagramm mit dieser (Sender,Gruppe)-Kombination den Rechner erreicht, berechnet. Dazu muss der Router mit Hilfe des Multicast-Baums seine Position auf dem kürzesten Weg des IP-Pakets bestimmen und die eingehende Leitung und die Ausgabe-Interfaces herleiten. Trifft ein „verirrtes“ Multicast-Datagramm ein, in dessen Baum der Router nicht vorkommt, wird ein leerer Eintrag im *Forwarding Cache* mit der entsprechenden (Sender,Gruppe)-Kombination aufgenommen und das Paket verworfen.

Wie man leicht sieht, werden alle Mitglieder einer IP-Multicastgruppe aufgrund dieser Vorgehensweise erreicht, da sich ihre zugehörigen Router stets im Baum befinden und deshalb alle Gruppen-Datagramme erhalten.

Um Inkonsistenzen beim Multicasting zu vermeiden, muss nach einer Änderung in der Netz-Topologie der gesamte Forwarding Cache gelöscht und anschliessend, beim erneuten Eintreffen der Pakete, neu berechnet werden. Ändert sich die Mitgliedschaft in einer Gruppe, d.h. treten neue Hosts einer Multicast-Gruppe bei oder verlassen diese, müssen alle Forwarding Cache-Einträge bezüglich dieser Gruppe ebenfalls gelöscht werden. Ausserdem muss im Falle von mehreren gleichwertigen Routen festgelegt werden, dass alle Router den gleichen Multicast-Baum aufbauen. Dazu wurden Regeln definiert, die eine eindeutige Wegewahlentscheidung ermöglichen.

### 3.3 Inter-Area Multicasting

Die grundlegenden Protokollmechanismen des Inter-Area Multicastings entsprechen denen des Intra-Area Multicastings. Die Routing-Entscheidung wird immer noch auf Basis des Forwarding Caches getroffen und dessen Einträge werden wie bisher auf Grundlage der lokalen „Gruppen-Datenbank“ und des Multicast-Baums berechnet.

Die Group-Membership-LSAs werden wie in 3.1.1 beschrieben nur im zum Router gehörenden Bereich verbreitet. Um aber Gruppenmitgliedschaftsinformationen und Multicast-Datagramme zwischen den Bereichen austauschen zu können, muss ein Teilmenge der MOSPF-Grenzrouter als *Inter-Area Multicast Forwarders* eingerichtet werden. Ihre Aufgabe ist es, die in ihrem Bereich vorkommenden Gruppen (nur Empfänger) zusammenzufassen und ihr Vorhandensein im Backbone bekannt zu geben. Dazu senden sie für jede Gruppe eine separate Group-Membership-LSA ins Backbone, die dort gefloodet wird. Group-Membership-LSAs des Backbones oder anderer Bereiche werden aber nicht von ihnen in den Non-Backbone-Bereich zurückgesendet, wie dies z.B. bei Summary-LSAs geschieht. Es reicht jedoch nicht, nur die Gruppen-Infos im Backbone bekannt zu geben, sondern es müssen, im Falle eines Empfängers ausserhalb des Sender-Bereiches, auch die Multicast-Datagramme ins Backbone zur Weiterverteilung gelangen. Hierfür definieren sich alle Inter-Area Multicast Forwarder in den Nicht-Backbone-Bereichen auch als *Wild-Card Multicast Receiver*, d.h. sie verlangen Empfänger aller Multicast-Datagramme, unabhängig von deren Multicast-IP-Adresse, zu werden. So ist sichergestellt, dass sie als Blattknoten in jeden zu berechnenden Multicast-Baum (eines Bereiches) erscheinen. Innerhalb des Backbones brauchen Inter-Area Multicast Forwarder nicht als Wild-Card Multicast Receiver definiert zu werden.

Nun muss noch die Frage geklärt werden, wie Datagramme mit einem Sender ausserhalb des Bereiches geroutet werden, da die benötigten Informatio-

nen zur Netz-Topologie ja nicht bekannt sind und daher kein kompletter Multicast-Baum erstellt werden kann. Dies geschieht durch Approximation der Netz-Topologie mittels der Summary-LSAs (siehe 2.3.1) von Multicast Forwardern. Die Berechnung beginnt damit, den Sender mit allen Multicast-Forwardern des Bereiches zu verbinden. Anschliessend wird der Multicast-Baum für den zugehörigen Bereich aufgebaut. Da die Verbindungen vom Sender zu den Grenzroutern aber in die dem Datenfluss entgegengesetzte Richtung zeigen, wird, im Unterschied zum Intra-Area Multicasting, auch der bereichsinterne Baum mit den **entgegengesetzten** Kosten berechnet. Dies kann bei asymmetrischen Kosten zu nicht-optimalen Routen führen.

## 3.4 Inter-AS Multicasting

Soll Multicasting nicht nur auf das Autonome System beschränkt werden, muss ein Teil der AS-Grenzrouter auch als *Inter-AS Multicast Forwarder* konfiguriert werden, auf denen ein *Inter-AS Multicast Routing-Protokoll* läuft. Folgendes Verhalten wird dabei vorausgesetzt:

1. MOSPF stellt sicher, dass jeder Inter-AS Multicast Forwarder alle Multicast-Datagramme erhält. Aus diesem Grund werden die multicastfähigen AS-Grenzrouter als Wild-Card Multicast Receiver definiert.
2. Das Inter-AS Routing-Protokoll routet die Multicast-Datagramme in einer *Reverse Path Forwarding*-Weise, d.h. die Pakete betreten das Autonome System an den Punkten, die die besten Pfade zum Sender aufweisen.

Im Fall eines Senders ausserhalb des Autonomen Systems kann auch hier nicht der gesamte Multicast-Baum berechnet werden. Es ist ebenfalls eine Approximation des Netz-Topologie notwendig, die mittels der AS-External-LSAs und der Summary-LSAs vorgenommen wird. Wie beim Inter-Area Multicasting zeigen die Kosten für die berechneten Verbindungen in die entgegengesetzte Richtung und können zu nicht-optimalen Routen oder sogar bei asymmetrischer Erreichbarkeit zur unvollständigen Verteilung der Multicast-Datagramme führen.

## 3.5 MOSPF und OSPF in einem Bereich

Wie bereits erwähnt, lassen sich OSPF- und MOSPF-Router in einem Bereich oder auch Autonomen System zusammen einsetzen. Dabei arbeiten die beide Router-Arten bei der Verarbeitung von Unicast-Datagrammen zusammen. Multicast-Pakete können jedoch nicht von OSPF- Routern geroutet werden und dürfen sie deshalb nicht erreichen. Deshalb werden beim Aufbau eines Multicast-Baumes keine OSPF-Router miteinbezogen und nehmen auch nicht am Flooding der Group-Membership-LSAs teil.

Der gleichzeitige Einsatz von MOSPF- und OSPF-Routern in einem System kann zu sub-optimalem Routing oder gar zur Nicht-Erreichbarkeit einiger Gruppenmitglieder führen.

## 3.6 TOS-Multicasting

MOSPF unterstützt (optionales) TOS-basiertes Routing und erlaubt unterschiedliche Multicast-Bäume für jeden IP-Servicetyp, d.h. der Pfad eines Datagrammes hängt nicht nur von der Sender- und Gruppenadresse, sondern auch von TOS-Klassifizierung des Paketes ab. Folgender Algorithmus wird dabei von den TOS-fähigen Routern durchlaufen:

Zuerst wird ein Multicast-Baum für  $TOS = 0$  berechnet. Wenn dieser Baum nur TOS-fähige Multicast-Router enthält, wird anschliessend für jede Einzelne TOS-Art ein separater Multicast-Baum erstellt. Andernfalls wird das Datagramm mit  $TOS = 0$  geroutet.

## 3.7 Beispiel

## 4 Literaturverzeichnis

- [1] J. Moy: Multicast Extensions to OSPF, RFC-1584
- [2] J. Moy: MOSPF: Analysis and Experience, RFC-1585
- [3] J. Moy: OSPF Version 2, RFC-2328
- [4] C. Huitema: Routing in the Internet, Prentice Hall 1995, S.99-135 u.  
S. 252-254
- [5] Wittmann, Zitterbart: Multicast - Protokolle und Anwendungen,  
dpunkt.Verlag 1999
- [6] A. Tannenbaum: Computernetzwerke, Prentice Hall 1997, 3. Auflage,  
S.442-450