

Peering und Interconnection

Slawomir Chodnicki

Seminar Innovative Internet-Technologien und Mobilkommunikation, WS 2008/2009

Institut für Informatik, Lehrstuhl Netzarchitekturen und Netzdienste

Technische Universität München

Slawomir.Chodnicki@web.de

KURZFASSUNG

In dieser Ausarbeitung wird Struktur und Funktionsweise des Kerns des Internets behandelt. Insbesondere werden Autonome Systeme erklärt und deren Beziehung zu Internet Service Providern erläutert. Es werden unterschiedliche Geschäftsmodelle von Internet Service Providern, sowie übliche Zusammenschaltungsstrategien aufgezeigt und die daraus resultierende Praxis beim Weiterleiten von Datenpaketen im Internet beleuchtet.

SCHLÜSSELWORTE

Interconnection, Peering, Routing, BGP, policy based routing, Autonomes System, ISP

1. EINLEITUNG

Das Internet besteht aus einer Reihe von IP-Netzen. Damit jeder Teilnehmer im Internet erreichbar ist, müssen die IP-Netze miteinander verschaltet werden. Man spricht dabei von Interconnection Routing. Da die IP-Netze i.d.R. von privat geführten Organisationen, meist Internet Service Providern verwaltet werden, entwickelt sich eine markt- und interessengesteuerte Auswahl von bevorzugten Partnern bei der Netzzusammenschaltung. Die dadurch erzeugten Effekte werden nun näher erörtert.

2. AUTONOME SYSTEME (AS)

Zunächst betrachten wir eine Menge von IP-Netzen, die an eine Organisation zur Verwaltung übergeben wird. Eine solche Menge wird Autonomes System (AS) genannt. Jedes AS ist durch eine global eindeutige Nummer identifiziert. Die Menge aller AS bildet das Internet. Im Normalfall handelt es sich bei den

Organisationen, welche ein oder mehrere AS verwalten, um Internet Service Provider (im folgenden kurz „ISPs“). Das Geschäftsmodell von ISPs besteht darin, Internetzugänge zur Verfügung zu stellen bzw. den im Internet aufkommenden Datenverkehr zu transportieren. Es kommt auch vor, dass ein AS-Betreiber gar kein ISP im herkömmlichen Sinne ist. Es kann für einen reinen Online-Content-Anbieter ebenfalls sinnvoll sein, ein eigenes AS zu unterhalten. Betreiber von Video-On-Demand Diensten, Internet- Suchmaschinen, kurz jede Organisation für die es sinnvoll sein kann, einen eigenen Internet-Serverpark zu unterhalten, kommt als AS-Betreiber in Frage. Im Folgenden wird jede dieser potentiellen Organisationen mit dem Begriff ISP synonym verwendet.

Da diese Ausarbeitung hauptsächlich wirtschaftliche und marktstrategische Faktoren beleuchtet, wird im Folgenden ebenfalls nicht scharf zwischen ISP und AS unterschieden. Wenn also von Routing zwischen ISPs die Rede ist, ist das Routing zwischen den entsprechenden AS gemeint.

2.1 Vergabe von AS

AS sind an IP-Netze gebunden, und IP-Netzadressen sind aufgrund der festen Adresslänge beschränkt. Folglich handelt es sich auch bei AS um eine beschränkte Ressource: Die Anzahl Autonomer Systeme hat eine obere Schranke in der Anzahl von IP-Netzen. AS werden weltweit gebraucht, und die für die globale Vergabe von AS zuständige Organisation ist die „Internet Assigned Numbers Authority“, kurz IANA [1]. IANA vergibt die AS jedoch nicht direkt an ISPs, sondern zunächst an subsidiär angesiedelte Organisationen. Für den europäischen Raum ist in zweiter Instanz RIPE zuständig, (Réseaux IP Européens) [2].

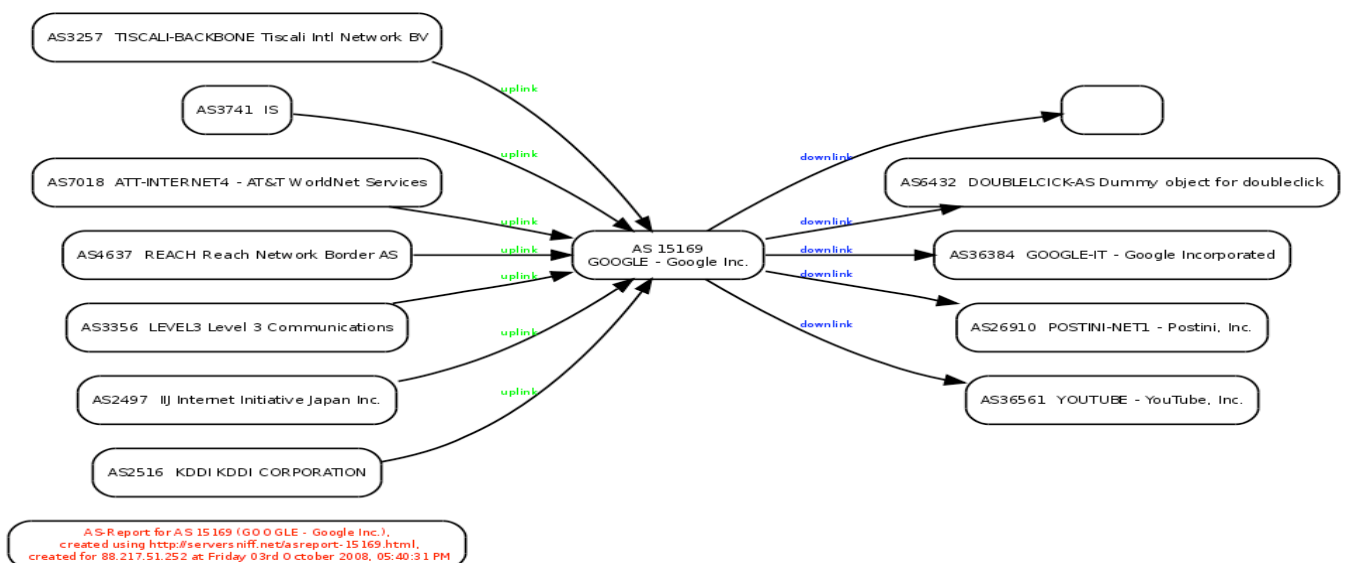


Abbildung 1. Interconnection des Google AS 15169 [6]

Prinzipiell kann jede Organisation ein AS für sich beantragen. Es müssen jedoch gewisse Voraussetzungen erfüllt werden, bevor eine AS-Nummer zugeteilt wird. So muss z.B. gewährleistet sein, dass das AS an mindestens zwei weitere AS angebunden ist, um dem Bedürfnis nach Ausfallsicherheit ein Stückweit Rechnung zu tragen.

2.2 Interconnection

AS sind miteinander verbunden, tauschen ständig Daten an den jeweiligen Netzgrenzen aus und bilden so das Internet. Die Zusammenschaltung der AS nennt man Interconnection, oder kurz IC. Prinzipiell steht es allen AS-Betreibern frei, mit welchen anderen AS sie eine Direktverbindung unterhalten wollen. Viele Verbindungen zu anderen AS bedeuten eine zuverlässigere Anbindung, aber auch höhere Betriebskosten.

Beispielhaft wollen wir in Abbildung 1 die Interconnection des AS mit der Nummer 15169 betrachten, das von der Firma Google. Inc. betrieben wird. AS 15169 ist an 12 weitere AS angebunden. Einige der Partner-AS gehören zu großen ISPs, wie etwa AS 3356 zu „Level 3“, andere gehören zu Subunternehmen der Firma Google. Inc. wie etwa der zur Youtube Inc. gehörende AS 36561.

2.3 AS-Topologie

Gegenwärtig sind über 49.000 AS-Nummern vergeben [5]. Ein vollständiger Graph mit 49.000 Knoten besitzt 1.200.475.500 Kanten. Die potentielle Größe sowie die Komplexität der AS-Topologie sind also beträchtlich.

Die Topologie Autonomer Systeme wird nicht von einer regulierenden Organisation vorgegeben und ergibt sich aus den individuellen Interessenslagen der AS-Betreiber. Sie ist demnach auch nicht statisch, sondern ändert sich in dem Maße, in dem sich die Interessen der AS-Betreiber wandeln. Folglich ist eine Strukturierung oder Systematisierung der Topologie a priori nicht möglich.

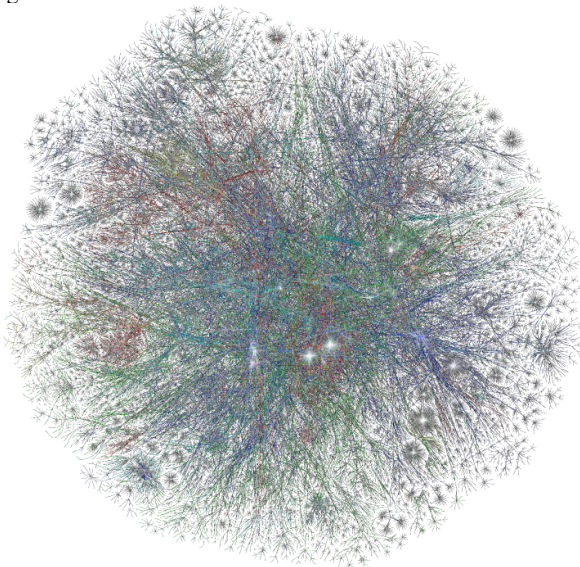


Abbildung 2. Ausschnitt der Routertopologie 01.2005 [7]

Zur etwas besseren Sichtbarkeit auf Papier wurde der ursprünglich schwarze Hintergrund ausgeblendet.

Einige Online-Projekte versuchen die Topologie des Internets auszumessen. Eine nähere Betrachtung der Meß- und Auswertungsmethoden wird an dieser Stelle nicht unternommen. Die vorliegenden Teilergebnisse des OPTE Projekts (<http://opte.org>) sollen hier schlicht dazu dienen, einen visuellen Eindruck zur Topologie der AS zu vermitteln. Abbildung 2 zeigt

dazu einen kleinen Ausschnitt der Vernetzungsstruktur von Internetroutern, basierend auf Daten von Januar 2005.

3. AS-BETREIBER IM TIER-MODELL

Um die Interconnection-Interessen verschiedener ISPs besser zu verstehen, ist es nützlich zunächst von einem hierarchischen Routing Modell auszugehen, und dieses anschließend zu verfeinern und zu verändern. Abbildung 3 zeigt ein solches Modell.

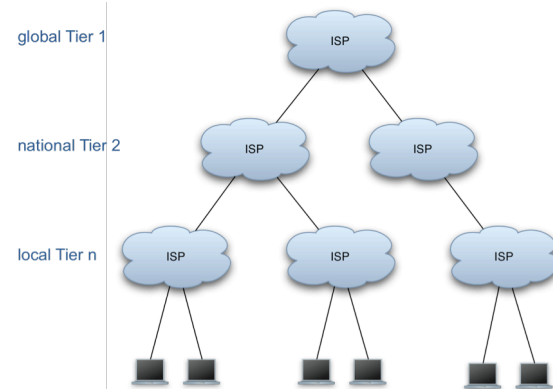


Abbildung 3. Tier Modell zur Klassifizierung von ISPs

Ganz oben in der Hierarchie, im sogenannten Tier 1 [13] befinden sich eine handvoll ISPs, die sich darauf konzentrieren, Technologie mit hohen Bandbreiten und hohen Geschwindigkeiten für den weltweiten Datenverkehr zur Verfügung zu stellen. Sie werden entsprechend auch häufig als Backbone-Betreiber bezeichnet. Als Beispiel für einen ISP des Tier 1 mag die Firma „Level 3“ dienen (<http://www.level3.com>).

Im Tier 2 sind ISPs angesiedelt deren Augenmerk auf dem nationalen oder auch überregionalen Datenverkehr liegt. Tier 2 ISPs gehen eine Kundenbeziehung zu Tier 1 ISPs ein, um den internationalen und ggf. interkontinentalen Datenverkehr abzuwickeln. Als Beispiel mag hier die Firma COLT Telecom dienen (<http://www.colt.net/DE-de/index.htm>).

Im Tier 3 sind lokale ISPs zusammengefasst die keine größere Internet Infrastruktur unterhalten und eher den Charakter eines Resellers von Internetdiensten haben. Als Beispiel mag hier die Firma KielNET dienen (<http://kielnet.de/>).

Da eine Resellerkette prinzipiell beliebig lang sein kann, kann man allgemein auch von n Tieren sprechen. Gängig ist jedoch eine Unterteilung in die drei genannten Tier.

Die Unterscheidungsgrenzen sind dabei subjektiv. Es kann im Einzelfall durchaus strittig sein, ob ein bestimmter ISP eher Tier 1 oder 2 bzw. Tier 2 oder 3 zuzurechnen ist. Die betroffenen ISPs tendieren natürlich oft dazu sich in dem jeweils höheren Tier zu sehen. Das Tier Modell ist also tatsächlich nur ein Modell und hilft dabei ISPs zu klassifizieren, um spezielle Untersuchungen zu vereinfachen. Exakte Definitionen aus denen eine Zuordnung zu einem Tier hervorgeht sind nicht gebräuchlich.

3.1 ISP Interconnection

Ausgehend vom Tier Modell wird klar, dass die Interessen zur Interconnection je nach Tier unterschiedlich sein müssen. Die Betrachtung mag diesmal von unten nach oben verlaufen.

Für einen ISP im Tier 3 mag es durchaus reichen, die minimal vorgeschriebenen zwei Verbindungen zu ISPs im Tier 2 zu unterhalten. KielNET ist, wie Abbildung 4 deutlich macht, wieder als Beispiel geeignet.

Für einen ISP im Tier 2 ist es hingegen nicht mehr leicht zu entscheiden, wie eine sinnvolle Interconnection Strategie aussieht.

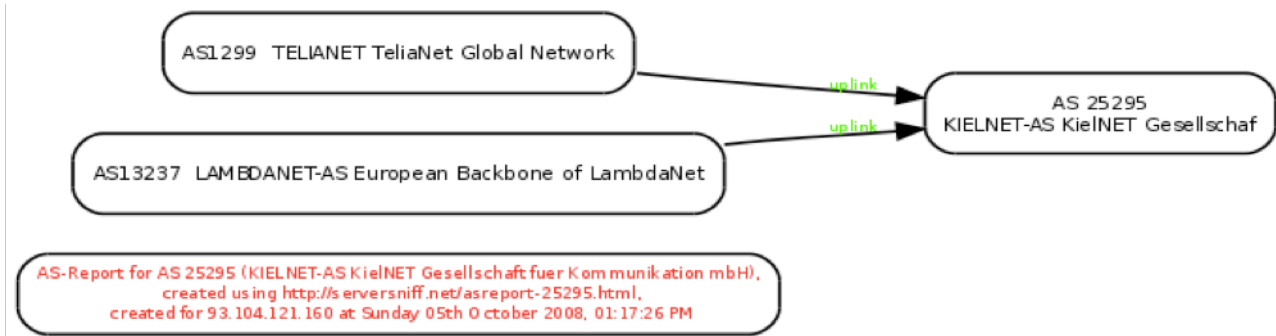


Abbildung 4. Interconnection des KielNET AS 25295 [8]

Natürlich sind direkte Verbindungen zu Tier 1 wünschenswert. Aber ob und inwieweit Verbindungen zu anderen ISPs im Tier 2 oder vielleicht Tier 3 sinnvoll sind, hängt von einer Menge von wirtschaftlichen und strategischen Faktoren ab, die von den Unternehmen, je nach strategischer Ausrichtung, durchaus verschieden bewertet werden.

Im Tier 1 ist das Kerngeschäft der Datenfernverkehr. Ein ISP im Tier 1 pflegt Verbindungen in möglichst vielen Teilen der Welt. Besonders interessant sind dabei Partnerschaften im Tier 1, um eine höhere Ausfallsicherheit zu erreichen, aber auch eine Vielzahl von vorteilhaften Anschlüssen zum Tier 2.

Bei den vorangegangenen Überlegungen wirft sich die Frage auf, wie der Netzzugang von den Vertragspartnern jeweils vergütet wird. Im Einzelfall kann die Bewertung der Nutzensituation sehr eindeutig oder aber eher strittig sein. Bei Vertragspartnern, die eindeutig unterschiedlichen Tieren angehören, ist die Bewertung im Allgemeinen einfach. Im Falle der Anbindung von KielNET dürfte klar sein, dass KielNET den höheren Nutzen aus den Verbindungen zu seinen Partnern im Tier 2 zieht als umgekehrt. Die Vertragsbeziehung ist also eindeutig eine Lieferanten- zu Kundenbeziehung bei der KielNET die Rolle des (sicher auch zahlenden) Kunden einnimmt.

Schwieriger wird es, will man die Bewertung einer Verbindung zwischen Partnern aus demselben Tier vornehmen. Wird der gegenseitige Nutzen einer gegenseitigen Verbindung als in etwa gleich angenommen, resultiert dies häufig in einer besonderen Vertragsvereinbarung, bei der jeweils keine Zugangs- oder Nutzungsgebühren erhoben werden. Die Vereinbarung gleicht also einem Tauschgeschäft zum Vorteil aller. Man spricht bei einer solchen Vertragsvereinbarung von „Peering“, da sich die beiden Vertragspartner als „Gleiche“ also als „Peers“ begegnen.

3.2 ISP Peering

Kommt es zu einer Peering-Vereinbarung zwischen ISPs, so ist diese genau so lange stabil, wie der gegenseitige Nutzen der Verbindung als gleich angenommen wird. Gerät die Nutzensituation in eine Schieflage, oder entsteht zumindest bei einem der Vertragspartner dieser Eindruck, wird die Interconnection-Verbindung neu verhandelt. Im Einzelfall kann es durchaus auch dazu kommen, dass eine Verbindung einseitig unterbrochen wird, etwa dann, wenn sich ein Vertragspartner hintergangen fühlt.

Ein Hauptproblem bei Peering-Vereinbarungen liegt darin, dass der jeweils aus der Verbindung gezogene Nutzen für die potentiellen Partner nicht gut objektivierbar ist, und von einer Reihe von Faktoren abhängt, die in den einzelnen Unternehmen unterschiedlich gewichtet werden. Dabei sind rein technische Aspekte wie Bandbreite nur eine Kategorie unter vielen, die bei einer Peeringentscheidung eine Rolle spielen kann. Da die Verträge zwischen ISPs nicht offengelegt werden, ist es auch

schwer allgemeine Usancen in diesem Bereich zu benennen. Es gibt also keine einheitliche, sachliche Grundlage, auf der man Peering-Verträge stützen könnte. Es existiert keine Universalmetrik, die den Nutzen einer Peering-Verbindung für ein Unternehmen objektiviert. Infolgedessen werden Peering-Vereinbarungen häufig darauf überprüft, ob sie sich nicht in eine für den Akteur vorteilhaftere Vertragsbeziehung wandeln lassen.

Als Beispiel für gelegentliche Inkongruenz in der Nutzenwahrnehmung mag ein Vorfall im Oktober 2005 dienen, als die Peering-Verbindung zweier großer ISPs, „Level 3“ und „Cogent“, die jeweils dem Tier 1 zugerechnet werden können, einseitig unterbrochen wurde [9].

3.3 Stabilisierung / Regulierung des Peering

Der Zugang zum Internet ist ein wichtiger Stützpfiler moderner Gesellschaften und deren ökonomischer Infrastruktur geworden. Entsprechend hat jeder moderne Staat ein besonderes Interesse an einer schnellen, möglichst flächendeckend verfügbaren und vor allem zuverlässigen Internetanbindung.

Das Beispiel von „Level 3“ und „Cogent“ macht jedoch deutlich, dass eine unregulierte Wirtschaft gelegentlich Situationen hervorbringt, die einen stabilen Internetzugang durchaus gefährden können. Immerhin handelte es sich bei den Kontrahenten um ISPs aus dem ersten Tier. Um solche ungünstigen Situationen zu vermeiden, aber vor allem um Monopolstehung und systematische Benachteiligung Dritter zu verhindern, werden in der Regel Netz-Regulierungsstellen eingesetzt. Diese kann man, je nach Bereich, in Form von Selbstkontrollemechanismen der Wirtschaft oder amtlichen Aufsichtsbehörden vorfinden [10].

4. EXCHANGE-STRATEGIEN

Die technische Umsetzung der Interconnection muss den im vorangegangenen Abschnitt dargelegten, sich flexibel wandelnden Interessenslagen der ISPs Rechnung tragen. Den Datenaustausch an Netzwerkgrenzen nennt man auch schlicht „Exchange“. Im Folgenden werden vier technische Exchange-Konzepte vorgestellt, die neben technischen Unterschieden auch unterschiedliche Geschäftssituationen abbilden können.

Auf Protokollebene wird stets das Border Gateway Protocol verwendet (BGP), dessen kurze Charakterisierung den Beispielen vorangestellt ist.

4.1 Border Gateway Protocol

BGP ist ein Protokoll zur Verbreitung von Routingpfaden, dessen sich Router an AS-Grenzen bedienen, um mögliche Routingwege zu ermitteln und auszutauschen. Die technische Funktionsweise soll an dieser Stelle nicht näher beleuchtet werden. Von zentraler Bedeutung ist jedoch eine Eigenschaft des BGP, die andere Routingprotokolle nicht immer aufweisen und die dazu geführt

hat, dass BGP im Inter-AS Routing universell eingesetzt wird: Die Priorisierung der gewählten Routen wird vom Betreiber des Routers konfiguriert und nicht vom Protokoll vorgegeben. Diese Flexibilität eröffnet ein weites Spektrum an geschäftlichen Modellen und Vereinbarungen und wird gelegentlich auch „policy based routing“ genannt [3]. In den nachfolgend geschilderten Exchange-Strategien spielt es also durchaus eine Rolle, ob und in welchem Umfang „policy based routing“ umgesetzt werden kann.

4.2 Direct Connection Exchange

Das Konzept des Direct Connection Exchange sieht vor, dass jeder Interconnection-Teilnehmer mit jeweils allen seinen Partnern über eine feste Leitung verbunden ist. Fasst man die Router der an der Interconnection beteiligten ISPs als Knoten eines Graphen auf, so entsteht beim Direct Connection Exchange ein vollständiger Graph. Abbildung 5 zeigt eine Situation, bei der fünf ISPs über Direct Connection Exchange verbunden sind.

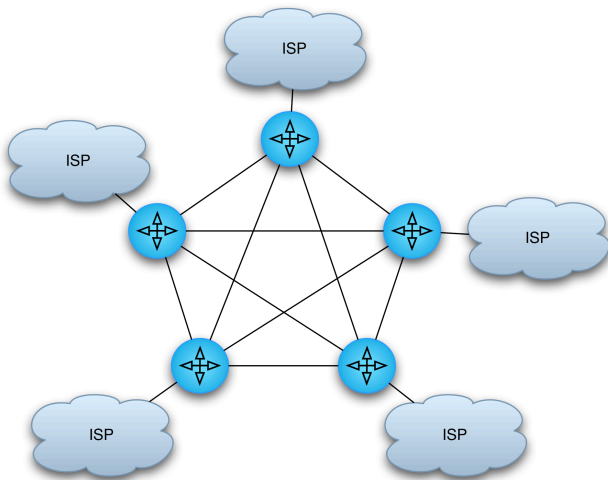


Abbildung 5. Direct Connection Exchange

Natürlich hat dieses Modell die Schwäche, dass relativ viele Leitungen unterhalten und gewartet werden müssen. Ein vollständiger Graph mit n Knoten hat $n(n-1)/2$ Kanten. Selbst bei einer Größe von nur 12 Knoten, eine Anzahl die laut Abbildung 1 für einen AS durchaus realistisch ist, erhält man 66 Leitungen. Folglich ist dieses Modell nicht für alle AS-Anbindungen sinnvoll. Bei strategischen und langfristigen Partnerschaften zwischen ISPs oder bei relativer örtlicher Nähe, kann es jedoch Vorteile bieten.

4.3 Exchange Router

Das Konzept des Exchange Router sieht vor, dass jeder Interconnection-Partner eine Leitung zu einem gemeinsam genutzten Router unterhält. Abbildung 6 zeigt die entstehende Konfiguration. Der Nachteil viele Leitungen unterhalten zu müssen liegt hier nicht mehr vor. Stattdessen ist aber ein anderer gravierender Nachteil entstanden: Die Einhaltung von Geschäftsvereinbarungen der beteiligten ISPs kann nicht mehr garantiert werden. Einen einzelnen Router wird man in der Regel nicht so konfigurieren können, dass die Interessen aller Beteiligten in neutraler Weise gewahrt werden. Was passiert z.B. wenn zwei der ISPs gleichwertige Routen zu einem bestimmten Ziel anbieten? Darüber hinaus entsteht ein Vertrauensproblem. Welcher der Interconnection-Partner ist für die Konfiguration des Routers verantwortlich und wie kann die Konfiguration von allen eingesehen und überprüft werden?

Das Modell des Exchange Routers ist aus den genannten Gründen für viele ISPs nicht akzeptabel, und deswegen in der Praxis kaum von Bedeutung. Die Fortentwicklung der Idee eines zentralen

Exchange Points, ohne die genannten Nachteile, existiert in Form der „Exchange Site“, auch „Internetknotenpunkt“ genannt.

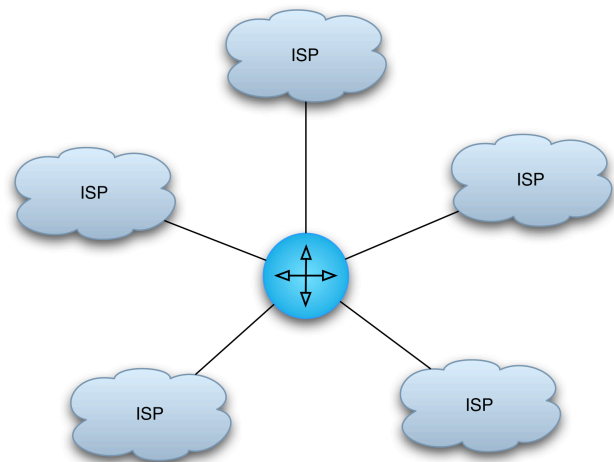


Abbildung 6. Exchange Router

4.4 Exchange Site

Das Konzept der Exchange Site sieht im Unterschied zum „Exchange Router“ nicht bloß einen Router im Zentrum, sondern ein LAN von Routern. Jeder Interconnection-Partner bringt seinen eigenen Router in das LAN der Exchange Site ein. Dieses Prinzip wird auch „colocation“ genannt. Die Anzahl der Leitungen ist reduziert, die Konfiguration der Router liegt in der Hand der jeweiligen ISPs und die Vorteile des BGP und policy based routing können voll genutzt werden.

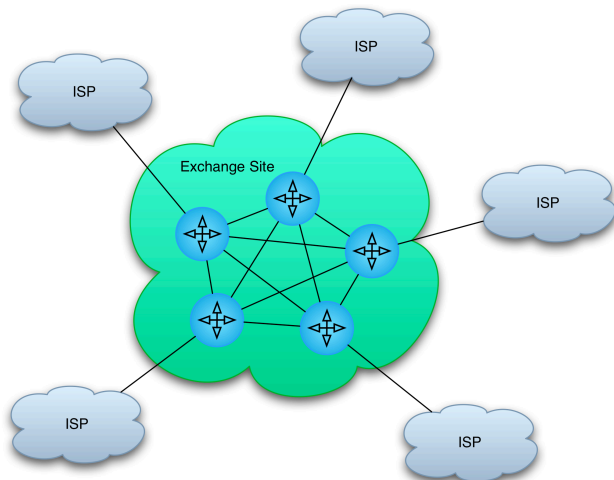


Abbildung 7. Exchange Site

Die Exchange Site wird in der Regel von einem Drittanbieter verwaltet, was einen interessensneutralen Betrieb gewährleistet.

Die Vorteile einer Exchange Site sind nicht von der Hand zu weisen. Aber auch hier entstehen neue Fragestellungen: Durch den Betrieb der Exchange Site entstehen z.B. Fremdkosten. Es muss sichergestellt werden, dass die Konfiguration aller Router im Sinne der Beteiligten ist.

In dieser mitunter etwas offeneren Umgebung gilt ein besonderes Augenmerk der korrekten Konfiguration des Routing, sowie gegebenenfalls technischen Defensivmaßnahmen gegen ungewollten Traffic.

Die dabei entstehenden routing policies werden immer länger und komplexer, je ausgefeilter die Geschäftsvereinbarungen und je mehr Partner miteinander verbunden sind, was sich in Folge negativ auf die Performance und die Zuverlässigkeit des Inter-AS-Routing auswirken kann.

Zusätzlich kommt hinzu, dass der Betreiber der Exchange Site, je nach strategischer Ausrichtung, durchaus auch eigene Interessen verfolgen kann. Die Exchange Site ist ein idealer Ort um Internet-Content zu hosten. High-Traffic-Sites, Suchmaschinenserver, DNS-Server, Usenet-Server, Video-onDemand, VoIP und IP-TV-Server würden vom Hosting an der Exchange Site profitieren. Die Rolle der Exchange Site als Knotenpunkt für das Routing kann also u.U. auch weiter gefasst werden. Abbildung 8 zeigt die erweiterte Rolle einer Exchange Site.

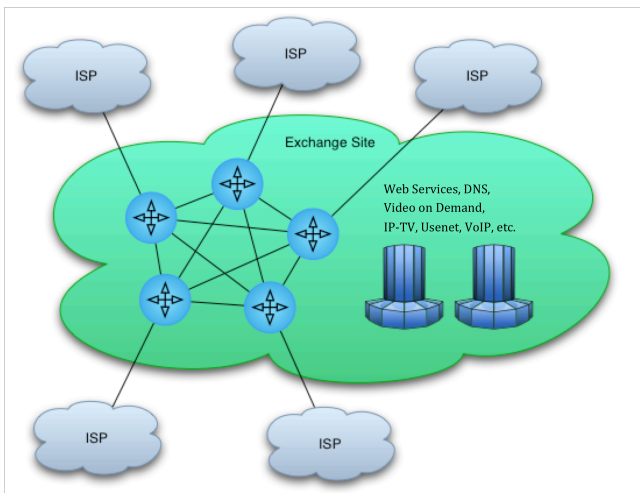


Abbildung 8. Erweiterte Exchange Site

Als Beispiel eines Betreibers von Exchange Sites mag die in Frankfurt ansässige Firma „DE-CIX“ dienen (<http://www.de-cix.de/>).

4.5 Distributed Exchange Network

Will man das prinzipielle Konzept einer Exchange Site beibehalten, aber die Notwendigkeit der „colocation“, also des Einbringens eines eigenen Routers in das LAN der Exchange Site eliminieren, so erhält man als Ergebnis die Idee des Distributed Exchange Network.

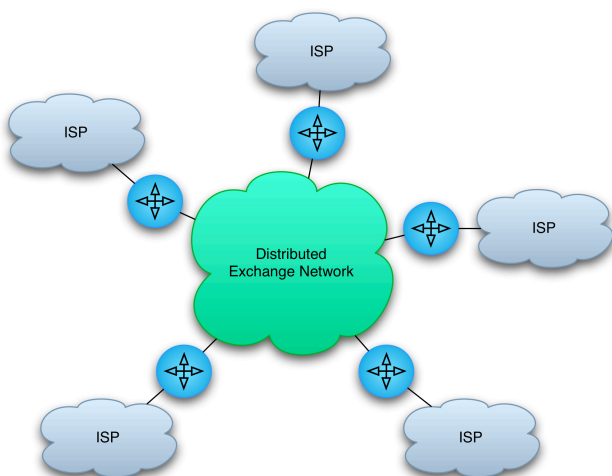


Abbildung 9. Distributed Exchange Network

In diesem Ansatz wird der Router eines jeden ISP über eine

Fernleitung angebunden. Der Router verbleibt beim betreibenden ISP.

Im Distributed Exchange Ansatz gibt der Betreiber des Distributed Exchange Network die Technologie, über die eine Anbindung möglich ist, vor. Für manche ISPs kann dies ein Nachteil sein, falls die geforderte Technologievariante nicht günstig anzubinden ist. Ein wichtiger Nachteil liegt zusätzlich darin, dass Router und Switches während des normalen Switching-Vorganges auch gegenseitig Informationen austauschen, und die Wege zwischen den am Distributed Exchange Network beteiligten Routern nun wesentlich weiter sind, als im LAN einer Exchange Site. Dadurch sinkt die Switching- und Routing-Performance. Im Allgemeinen überwiegen die Nachteile im Vergleich zum klassischen Exchange Site Konzept. Das Konzept des Distributed Exchange Network ist aber oft eine gute Möglichkeit Gebiete, die fernab von Ballungszentren gelegen sind, anzubinden. Abbildung 9 veranschaulicht das Konzept des Distributed Exchange.

Als Beispiel für einen Anbieter eines Distributed Exchange Network mag „Switch And Data“ dienen, mit dem Produkt „MetroPAIX“ (<http://www.switchanddata.com/subpage.asp?navid=3&id=62>)

5. DAS TRANSIT PROBLEM

Die Gründe, warum bestimmte Interconnection- bzw. Peering-Partnerschaften zustande kommen, entspringen, wie oben dargelegt, hauptsächlich unternehmerischem Kalkül. Ein grundsätzlicher Faktor, der entscheidend dazu beitragen kann Peering-Vereinbarungen zu destabilisieren, soll als Transit-Problem kurz dargelegt werden:

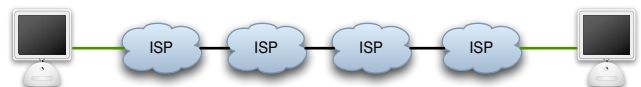


Abbildung 10. Transitverkehr im Internet

Die beiden ISPs an den Endpunkten einer IP Kommunikationsverbindung haben sicher ein ausgeprägtes Interesse daran, ein Datenpaket zuverlässig zuzustellen. Immerhin behandeln die ISPs dabei die Pakete ihrer direkten Kunden. Bei allen dazwischen liegenden und am Inter-AS-Routing beteiligten ISPs kann dieses Interesse stärker oder weniger stark vorhanden sein, je nach Interconnection-Vereinbarung mit den jeweils unmittelbaren Routing Partnern. Die ISPs an den Endpunkten der Kommunikation haben aber immer weniger Einfluss auf das Schicksal des Datenpakets, je weiter der Routingweg ist. Das Datenpaket wird so zum Spielball des unternehmerischen Kalküls, welches die Interconnection-Vereinbarungen steuert. So kann es durchaus passieren, dass Datenpakete im Transit nicht über die schnellste bzw. kürzeste Route geleitet werden, sondern über die für den jeweiligen ISP billigste.

Dies ist für alle im Internet kommunizierenden Parteien, die „Endverbraucher“, sicherlich kein wünschenswerter Zustand. Ein Hauptaspekt bei den Lösungsansätzen zum beschriebenen Transitproblem ist, dass ein mit vorhandener Technik realisierbares, einheitliches Kostenmodell, welches die Transitzkosten sinnvoll aufteilt, fehlt.

6. KOSTENMODELLE

Im Folgenden werden die aktuell gängigen Kostenmodelle aufgeführt und die potentiellen Interessenskonflikte benannt.

6.1 Trafficbasierendes Kostenmodell

Ein gängiges Kostenmodell besteht darin, volumenbasiert den von fremden ISPs angenommenen Traffic zu berechnen. Je mehr fremder Traffic angenommen wird, desto teurer wird der Transit.

Varianten des Modells berücksichtigen noch andere Parameter, wie etwa die zur Verfügung gestellte Bandbreite etc. Folgende Fragestellungen werfen sich auf:

- Wie geht man mit Datenpaketen um, die nicht zugestellt werden konnten oder verworfen wurden? In aller Regel wird der Sender die Zustellung mehrfach versuchen und der Transit ISP mehrfach abrechnen.
- Welchen Anreiz hat der Transit ISP Pakete nicht absichtlich zu verwerfen, um eine Neuzustellung zu provozieren, um erneut zu kassieren?
- Volumenbasierte Abrechnung provoziert u.U. die Priorisierung technisch schlechterer Routen, die aber ökonomisch günstiger sind.

Eine (theoretische) Alternative bestünde darin, nicht den angenommenen, sondern den weitergegebenen Traffic abzurechnen. Dieses Modell hätte den Vorteil, dass ein Anreiz vorhanden wäre, Pakete zuverlässig zuzustellen. Andererseits könnten von ISP illegitime Pakete künstlich generiert, weitergegeben und abgerechnet werden. Insofern wäre dieser Ansatz auch nicht sehr überzeugend.

6.2 Sessionbasierendes Kostenmodell

Ein weiteres eher theoretisches Kostenmodell entlehnt sich aus der Welt der Telefonie. Der Verursacher einer Verbindung (Initiator einer TCP Session, bzw. Sender von UDP Paketen) würde als Kostenträger der gesamten hin und her gehenden Kommunikation identifiziert.

Dieses Modell ist kaum praxistauglich, da im Unterschied zur Technik in der Telefonie keine feste Leitung durchgeschaltet wird. So ist nicht garantiert, dass alle zu einer TCP-Session gehörigen Pakete über denselben Weg gehen wie das sessionöffnende SYN Paket. Folglich könnten nicht alle Pakete zugeordnet werden. Darüber hinaus könnte das Öffnen der Session über diverse Workaround-Techniken kaschiert werden. Entsprechend ist dieses Modell nicht von praktischer Bedeutung.

6.3 Peering-Kostenmodell

Das Peering als gegenseitiger, meist kostenneutraler Netzzugang steht in Konkurrenz zum trafficbasierenden Kostenmodell. Stabil hat sich das Peering nur zwischen gleichen Partnern gezeigt, die längerfristige strategische Partnerschaften anstreben. Grundsätzlich werden aber die Partner einer Peering-Vereinbarung versuchen, die eigene Position zu stärken und ggf. eine Zugangsgebühr auszuhandeln. Entsprechend sind viele Peering-Vereinbarungen auf Dauer eher instabil. Sie fördern darüber hinaus den „Hot-Potato“-Effekt: Falls ein ISP entsprechende Peering-Vereinbarungen hat, gibt es einen Anreiz Datenpakete möglichst schnell aus dem eigenen Netz ins Netz eines Peers zu befördern, um die eigene Netzlast zu senken. Die Datenpakete werden behandelt wie eben heiße Kartoffeln, die man schnell weiter wirft. Der Weg zur am nächsten gelegenen, als Route in Frage kommenden, Netzgrenze ist allerdings nicht unbedingt der beste. Routen können so unnötig verlängert werden.

6.4 Folgen des Transit Problems

Durch den Mangel an einem einheitlichen Kostenmodell bleibt das Transit-Problem ungelöst. Datenpakete werden häufig nicht über die besten Routen, sondern die für die jeweiligen ISP günstigsten geleitet.

Um das Transit-Problem grundsätzlich zu lösen, müsste die bestehende Technik verändert werden. Um z.B. eine Lösung wie in der Telefoniewelt üblich zu erzielen, müsste der Weg eines jeden Datenpakets vollständig bestimmt werden können. Und zwar am besten bevor das Paket diesen Weg abläuft. Dieses Problem ist mit aktueller Technik (noch) nicht im nötigen

Maßstab lösbar. Es bleibt abzuwarten welche technischen Innovationen helfen können, das Problem einzudämmen.

Derweil sind die Effekte des ungelösten Problems zu beobachten. Routinginformationen und Routingtabellen werden immer länger und komplexer, um von allen möglichen Routen die ökonomisch optimale herauszusuchen zu können. Neben der Tatsache, dass der ökonomisch sinnvollste Weg selten der technisch beste ist, arbeiten die Router so langsamer, und überfluten sich gegenseitig mit überkomplexen, durch Geschäftsstrategie vorgegebenen Routen.

7. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

IP-Netze im Internet werden zu Autonomem System (AS) zusammengefasst. AS sind nummerierte technische Einheiten, die es erlauben eine ganze Gruppe von IP-Netzen als Einheit aufzufassen und das Routing zwischen diesen Netzen mittels des BGP Protokolls zu realisieren (Interconnection). Die Menge aller AS bildet das Internet. Üblicherweise werden AS Nummern an ISPs und andere große Netzbetreiber wie etwa Google Inc. vergeben.

Technisch erfolgt die Zusammenschaltung von AS in der Regel mithilfe von Exchange Sites. Dies sind dedizierte LANs, in denen Router aller beteiligten Routingpartner zusammenkommen (Colocation). Das Betreiben eines einzigen Exchange Routers für alle Beteiligten lässt i.d.R. keine für alle Partner gleichermaßen passende und faire Konfiguration zu. Eine Exchange Site betreut daher mehrere Router und wird von einer unabhängigen Organisation betrieben, was eine faire Behandlung aller Interconnection-Partner gewährleisten soll. Aufgrund der günstigen Lage an solchen Austauschnoten, wird innerhalb des LANs von Exchange Sites gelegentlich auch Content Hosting betrieben. Man spricht in solchen Fällen von einer Extended Exchange Site.

ISPs sind weitgehend frei darüber zu entscheiden mit welchen Partner-ISPs sie ihr Netz zusammenschalten wollen. Es gibt nur minimale Vorgaben seitens der IANA wie ein AS vernetzt sein muss. Die ISPs schließen nach eigenem Ermessen Interconnection-Verträge mit ihren Partnern. Die Verträge sehen, je nach Größe des beiden ISPs, eine ein- oder beidseitig zu entrichtende Gebühr für die Netznutzung des jeweils anderen vor. Sehen sich die beiden ISPs als gleichwertige Partner, kommt oft stattdessen ein „Peering“ zustande: der jeweils gebührenfreie Zugang zum Netz des anderen. Peering-Verträge unterliegen regelmäßiger Überprüfung, ob der gegenseitige Nutzen der Vereinbarung noch als gleichwertig eingeschätzt wird. Nachverhandlungen infolge einer Überprüfung von Peeringvereinbarungen münden gelegentlich in einem Streit, der zu Zugangssperren führt und der den Internetverkehr aufgrund von blockierten Routingpfaden beeinträchtigen kann.

Da die Netzzusammenschaltung mit wirtschaftlichen Überlegungen zusammenhängt, und die bilateralen Verträge zwischen ISPs unterschiedliche und komplexe Interessenslagen erzeugen können, kann es passieren, dass Datenpakete im Internet nicht anhand der optimalen Route weitergeleitet werden. Das Routing erfolgt stattdessen anhand der für den jeweiligen ISP billigsten Route. Dieses Phänomen wird als Transit-Problem bezeichnet.

Es gibt den Ansatz das Transit-Problem anzugehen, indem neue Kostenmodelle für die Netzzusammenschaltung vorgeschlagen werden. Jedoch ist keiner der Vorschläge mit aktuell eingesetzter Technik realisierbar. Die Eigenschaften des IP-Protokolls, sowie der eingesetzten Hardware lassen eine Einführung der neuen Kostenmodelle nicht zu.

Es zeichnet sich also für die nahe Zukunft keine Lösung des Transit Problems ab. So bleibt Internetnutzern momentan nichts

anderes übrig, als sich mit der Lage abzufinden, oder im Falle von ungünstig geleiteten Paketen an ihre Provider zu appellieren. Das Transit Problem ist leider so beschaffen, dass der Provider nicht unbedingt Einfluss auf die ungünstige Abweichung von der optimalen Route hat. Insbesondere dann nicht, wenn die Routingentscheidung von einem ISP getroffen wird, mit dem keine direkte Vertragsvereinbarung existiert.

8. Literatur

- [1] IANA, <http://www.iana.org>, 05.10.2008
- [2] RIPE, <http://www.ripe.net>, 05.10.2008
- [3] „Border Gateway Protocol“, Wikipedia Foundation, <http://de.wikipedia.org/wiki/BGP>, 05.10.2008
- [4] „Autonomes System“, Wikipedia Foundation, http://de.wikipedia.org/wiki/Autonomie_Systeme, 05.10.2008
- [5] „Autonomous System (AS) Numbers“ IANA, <http://www.iana.org/assignments/as-numbers/>, 05.10.2008
- [6] „ServerSniff.net AS-Report Google.de“, ServerSniff.net <http://serversniff.net/asreport-google.de.html>, 03.10.2008
- [7] „The Opte Project Maps“, The Opte Project <http://www.opte.org/maps/>,
Bildurl: <http://bitcast-a.bitgravity.com/blyon/opte/maps/static/1105841711.LGL.2D.4000x4000.png>, 04.10.2008
- [8] „ServerSniff.net AS-Report KielNET.de“, ServerSniff.net, <http://serversniff.net/asreport-kielnet.de.html>, 05.10.2008
- [9] „Internet-Backbone: Betreiber zerstritten, Kunden in Gefahr“, Silicon.de, http://www.silicon.de/hardware/netzwerk-storage/0,39039015,39177119,00/internet_backbone+betreiber+zerstritten+_kunden+in+gefahr.htm, 05.10.2008
- [10] „EU diskutiert Zukunft der Netz Regulierung“, heise.de, <http://www.heise.de/newsticker/EU-diskutiert-Zukunft-der-Netz-Regulierung--/meldung/40898>, 05.10.2008
- [11] Geoff Huston, „Interconnection, Peering and Settlements-Part I“, The Internet Protocol Journal - Volume 2, No. 1 http://www.cisco.com/web/about/ac123/ac147/archived_issuess/ipj_2-1/peering_and_settlements.html, 04.10.2008
- [12] Geoff Huston, „Interconnection, Peering and Settlements-Part II“, The Internet Protocol Journal - Volume 2, No. 2 http://www.cisco.com/web/about/ac123/ac147/ac174/ac200/about_cisco_ipj_archive_article09186a00800c8900.html, 04.10.2008
- [13] „tier 1, tier 2, tier 3 ISP (Internet service provider)“, Smart Computing®Encyclopedia, <http://www.smartcomputing.com/editorial/dictionary/detail.asp?guid=&searchtype=&DicID=19260&RefType=Encyclopedia>, 05.10.2008