

Provider-Szene durchleuchtet

Rollenverteilung

Stefan Dierichs, Norbert Pohlmann

Über die Nutzung beinahe jeder Infrastruktur gibt es exakte statistische Informationen, aber nicht über die des Internet. Dabei kann nur eine umfassende und klare Sicht auf die schnellen Veränderungen Planungssicherheit für das unverzichtbare Medium gewährleisten – sowohl für die Anwender als auch für die Anbieter.

Strategieaussagen großer Telekommunikationsanbieter enthalten zurzeit häufig das Schlagwort „Triple Play“. Zukünftig wollen sie die drei Dienste Fernsehen, Telefonie und Internet gleichzeitig über IP anbieten. Viele Provider rüsten ihre Netze für die zukünftigen Anwendungen. Die Deutsche Telekom betreibt bekanntlich mit Abstand das größte Netz in Deutschland. Daneben bestehen einige weitere nationale Provider und viele regionale Netzbetreiber, die derzeit kräftig investieren.

Auch international tätige Provider spielen im deutschen Markt mit. Das Internet befindet sich momentan in einer Phase, die beeinflusst ist von immer größeren Datenmengen, die die Leitungen transportieren, von Diskussionen über Regulierung und von Streitigkeiten über Investitionen in die zukünftige Infrastruktur.

Waren es vor Kurzem noch Musiktitel, die das Internet transportierte, sind es zunehmend ganze Filme mit mehreren GByte Umfang. Mit Internet-Telefonie (VoIP) und Internet-Fernsehen (IPTV) entstehen weitere Anwendungen, die die Verfügbarkeitsansprüche und den Durchsatz enorm erhöhen. Solche Veränderungen machen enorme Investitionen in die Infrastruktur der einzelnen Provider nötig. Doch die sind kaum bereit, die Investitionen allein zu stemmen, da anschließend die Content-Anbieter das große Geld verdienen wollen.

Weiteres Konfliktpotenzial liefert die Regulierung der neu geschaffenen Infrastrukturen. Sie betrifft meist die großen Provider eines Landes, darunter Ex-Monopolisten wie die Deutsche Telekom oder der Provider Telstra in Australien. Das Motto „Wenn schon investieren, dann ohne Regulierung“ bildet die Grundlage heftiger Diskussionen. Sie geben Anlass, näher auf die zugrunde liegenden Strukturen einzugehen sowie die derzeitigen Veränderungen zu analysieren und zu bewerten.

Autonome Systeme im Verbund

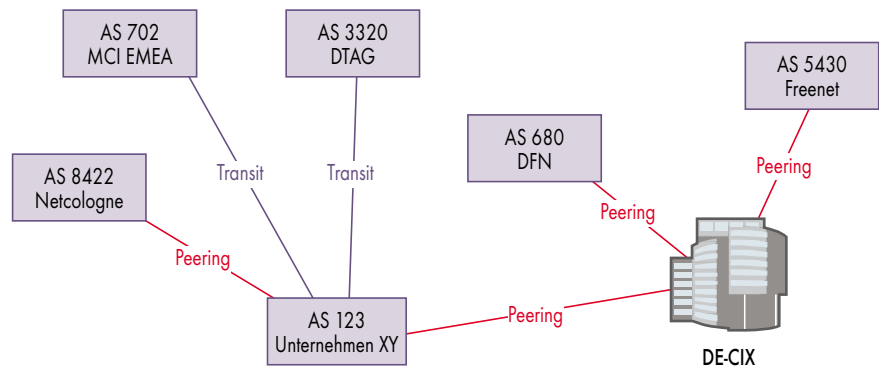
Weltweit existieren derzeit rund 22 000 eigenständige IP-Netze. Neben den ISPs betreiben auch große Unternehmen, Hochschulen oder öffentliche Internetknoten solche autonomen Systeme (AS), die eindeutige Nummern tragen (ASN). Der Zusammenschluss aller unabhängigen Netze bildet das weltumspannende Internet.

Um ein autonomes System, insbesondere das eines Internet Service Providers, vollständig und redundant ins Internet zu integrieren, schafft der Betreiber möglichst viele unterschiedliche Verbindungen zu anderen AS. Jeder Betreiber verfolgt seine eigene Strategie der Kommunikation mit anderen Systemen. So sind die Übertragungstrecken zu anderen autonomen Systemen ständig neu auszutarieren. Zu unterscheiden sind zwei grundlegende Verbindungstypen: Transit und Peering.

Regional begrenzte Systeme sind auf Verbindungen zu großen nationalen und globalen AS angewiesen. Wenn ein regionaler Provider ein Transit-Abkommen mit einem Provider nationaler, europäischer oder globaler Ausdehnung abschließt, zahlt er für das übertragene Datenvolumen. Anders beim Peering: Hier treffen die beteiligten Provider eine Vereinbarung, kostenneutral Daten zwischen ihren Netzen auszutauschen. Die eigentlichen physischen Übergänge zwischen zwei Netzen befinden sich meist an mehreren Standorten in öffentlichen Rechenzentren oder anderen exklusiven Einrichtungen der Provider.

Die Umsetzung von Peering- und Transit-Vereinbarungen zwischen autonomen Systemen erfolgt durch spezielle Routing-Regeln. Das derzeit verwendete Routing-Protokoll, das Border Gateway Protocol in der Version 4 (BGP4), arbeitet unabhängig davon, welche Routing-Protokolle innerhalb der AS zum Einsatz kommen. Die einzige Voraussetzung für die Teilnahme am globalen Routing ist – neben dem Besitz einer registrierten ASN – der Betrieb eines BGP-fähigen Routers, der eine Verbindung mit mindestens einem BGP-Router in einem AS unterhält.

Peering-Teilnehmer unterhalten allein ihre eigenen Routen und die von und zu ihren Kunden. Beim Transit (auch Upstream genannt) erhält man die komplette Internet-Routing-Tabelle (derzeit rund 180 000 Routen) von sei-



Internet-Provider können untereinander oder mit Kunden über Austauschabkommen (Peering) oder Upstream-Verträge (Transit) verbunden sein (Abb. 1).

nem Transit-Provider. Das gewährleistet die globale Konnektivität zu allen öffentlichen Netzen.

Strategien und Notwendigkeiten

Unternehmen, die ein eigenes autonomes System beantragen, müssen die Gründe dafür exakt darlegen, damit die regionale Vergabestelle zustimmt. Dazu gehört die zukünftige Routing-Strategie. Es gilt nicht nur mindestens zwei potenzielle autonome Systeme vorzuweisen, mit denen man sein AS verknüpfen kann, sondern auch, dass die Routen zu den beiden voneinander unabhängig sind [1]. Das anschließende Einrichten der Routing-Mechanismen ist mit dem entsprechend qualifizierten Personal der kleinere Aufwand.

Wer eines der begehrten autonomen Systeme sein Eigen nennen darf, kann Verbindungen zu anderen AS nach seinem eigenen Bedarf einrichten und verfügt über einen selbstverwalteten Bereich an IP-Adressen. Dass derzeit nicht noch mehr Unternehmen ein eigenes AS betreiben, hat unterschiedliche Gründe. Viele scheuen zum Beispiel die eigenverantwortliche Teilnahme am weltweiten Routing. Es erfordert qualifiziertes

Personal und rechnet sich erst ab einer gewissen Größe des Unternehmens und der Bedeutung des Internet für den Geschäftserfolg. Daher begeben sich viele kleine und mittelständische, aber auch große Unternehmen in die Obhut von ISPs und nutzen entsprechende Komplettangebote.

Abbildung 1 zeigt ein typisches Beispiel für ein regional begrenztes autonomes System. Das Unternehmen XY unterhält zwei Transitabkommen mit globalen Providern, um die Abhängigkeit von einem einzelnen zu vermeiden. Hinzu kommt eine private Peering-Vereinbarung mit einem regional tätigen Provider. Außerdem ist es am größten deutschen Internetknoten, dem DE-CIX, vertreten und „peert“ dort mit weiteren Providern. Das Unternehmen unterhält also mehrfache Verbindungen mit anderen autonomen Systemen, kann Ausfälle von Verbindungen ausgleichen und einen Teil seines Datenverkehrs günstig über Peerings abwickeln.

Verhandlungen um Peering- oder Transit-Abkommen sind oft mit sehr viel Politik behaftet. Besonders wenn die vermeintlich großen Provider ins Spiel kommen und einfach Stärke demonstrieren wollen oder wenn es um Eitelkeiten geht. Während kleinere Anbieter die Angelegenheit meist mit ein paar E-Mails regeln, gibt es bei meist großen Anbietern mit restriktiven Peering-Policies gerne lange Verträge als Ergebnis zäher Verhandlungen.

In den Peering-Policies legt ein AS-Betreiber fest, mit welchen Grundvoraussetzungen er in die Verhandlung um ein gemeinsames Peering geht. Dabei spielen die eigene Position im Markt, die vermarkteten Produkte oder auch die Zielgruppe der Kunden eine Rolle.

Eine offene Peering-Policy verfolgen in der Regel kleine bis mittlere ISPs oder auch Inhalteanbieter. Solche



- Unternehmen verfügen zwar über lokale Informationen im Rahmen ihres eigenen Internetzugangs, kennen aber nicht die globalen Zusammenhänge.
- Eine erweiterte Sichtweise als Grundlage für die Planung der eigenen Infrastruktur können externe autonome Systemen bieten.
- Die University of Oregon bietet mit dem Routeviews-Projekt einen Blick auf die Gesamtstruktur des Internet, das dank etlicher Kooperationsverträge mit großen Providern entsteht.

Provider etablieren typischerweise mit jedem Partner ein Peering, erhalten dadurch kurze AS-Pfade zu vielen Partnern und minimieren ihre Transitkosten. Bei einer selektiven Peering-Policy beschreibt der Provider einige Mindestanforderungen an einen potenziellen Peering-Partner, etwa Angaben über die Netzabdeckung oder einen gewissen Mindestverkehr. Typische Vertreter einer selektiven Peering-Policy sind mittlere bis große Provider, die gerne Upstreams an andere Provider verkaufen. Die größten Provider betreiben zumeist eine restriktive Peering-Policy und stellen Mindestanforderungen, die 99 Prozent der Branche nicht erfüllen können. Diese sogenannten Tier-1-Provider bilden einen elitären Kreis und dienen für alle anderen als Upstream-Provider. Dazu gehören vor allem US-Unternehmen wie Verizon, Level3 und AT&T.

Verhandlungen über Verbindungen

Sollten Peering-Vereinbarungen nicht zustande kommen, gibt es verschiedene Möglichkeiten, ein Peering zu umgehen oder die Auswirkungen gescheiterter Peering-Verhandlungen zu minimieren. Dann versucht Provider A, nach einer gescheiterten Peering-Anfrage die großen Kunden von Provider B ausfindig zu machen, um ihnen direkt zu sehr günstigen Konditionen ein Transitabkommen oder gar eine Peering-Vereinbarung anzubieten. Nach dem Motto „Wenn zwei sich streiten, freut sich der Dritte“ ist der umworbene Kunde der eigentliche Gewinner, und die Transitpreise fallen in immer tiefere Kelleretagen. Können sich zwei Parteien nicht einigen oder wenn der vermeintlich kleinere die Forderungen nicht erfüllen kann

oder will, besteht immerhin die Möglichkeit, ein sogenanntes Paid-Peering einzugehen. Dabei erfolgt der Datenaustausch wie bei einer üblichen Peering-Vereinbarung, allerdings zahlt der als kleiner angesehenen „Peer“ für sein Datenvolumen.

Gerade Provider mit einer offenen Peering-Policy sind stets daran interessiert, neue Partner für den direkten Datenaustausch zu finden. So unterliegen die Verbindungen zwischen autonomen Systemen einer erheblichen Fluktuation. Auf der einen Seite wächst ihre Zahl: Nach Erfahrungsberichten von Providern gibt es täglich 10 bis 20 neue ASN. Auf der anderen Seite forcieren die Provider den Ausbau ihrer Verknüpfungen, sei es durch neue Peering-Vereinbarungen, den Neugewinn von Transit-Kunden oder einfach den Wechsel von Transit-Providern.

Generell lässt die Anzahl der Verbindungen zwischen autonomen Systemen eine Einschätzung über die Bedeutung der beteiligten AS zu. Der Schluss liegt nahe, dass die Größe eines autonomen Systems mit der Zahl seiner Verbindungen zu anderen AS wächst und dass ein Provider meist „größer“ ist als seine Kunden. Diese Annahme nutzt Lixin Gao bei der Beurteilung der Verbindungen zwischen autonomen Systemen [2]. Das Institut für Internet-Sicherheit stellt auf seinen Webseiten ein Werkzeug zur Verfügung, das Informationen über die Anzahl der Verbindungen der einzelnen autonomen Systeme analysiert und darstellt.

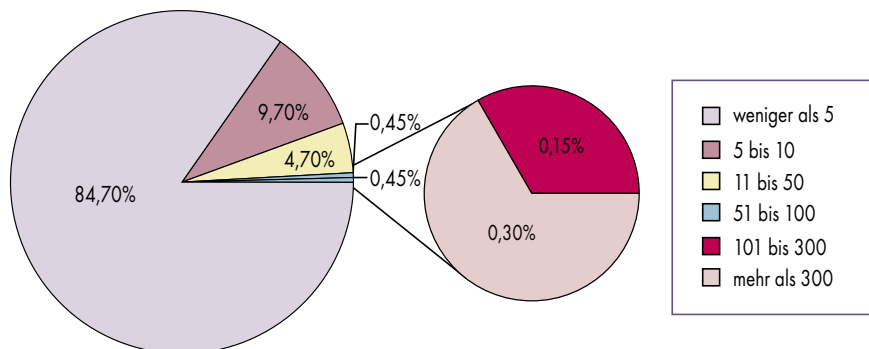
Autonome Systeme im Blick

Da die Anzahl der AS und die Komplexität der Verbindungen kontinuierlich wachsen, nehmen auch die Rou-

ting-Tabellen jedes BGP-Routers an Umfang zu. Das hier beschriebene Werkzeug soll helfen, die Anzahl der autonomen Systeme, die Verknüpfungen der autonomen Systeme untereinander sowie weitere Kennzahlen der Internet-Infrastruktur zu ermitteln. Neben dem Wachstum führen auch neu abgeschlossene oder gelöste Peering- und Transit-Beziehungen unter den Providern zu stetigen Veränderungen. Daher ist es sinnvoll, die Informationen und Kennzahlen langfristig und kontinuierlich zu beobachten.

Mit dem AiconViewer (AS Interconnection Viewer, [3]) steht auf den Webseiten des Instituts für Internet-Sicherheit eine Webanwendung zur Verfügung, die besonders zur Beobachtung der Verknüpfungen der autonomen Systeme untereinander dient. Der AiconViewer bietet zum einen die Möglichkeit, punktuell Verbindungen zu recherchieren. Zu welchen autonomen Systemen hat das autonome System A direkte Beziehungen? Welche sind neu? Welche sind nicht mehr gültig? Ferner ermittelt es Kennzahlen über das Gesamtgebilde der autonomen Systeme und deren Entwicklung. Dazu gehören die Anzahl der AS und weitere interessante Werte wie die Anzahl der Beziehungen unter den autonomen Systemen oder die Anzahl von „single-homed“ Systemen.

Der AiconViewer dient dem Institut für seine Datenerhebungen als Webfrontend. Die Hauptaufgabe liegt darin, die gewünschten Informationen aus der Masse an Daten zu extrahieren. Bei rund 65 000 möglichen autonomen Systemen und einer Anzahl von rund 8 000 000 Pfaden im Snapshot der Routingtabelle sind viele Redundanzen zu filtern und unter der richtigen ASN zusammenzuführen. Der Snapshot stammt vom Route Views Project der University of Oregon [4]. Ursprünglich sollte es Netzbetreibern die Möglichkeit bieten, ihre autonomen Systeme von einer neutralen Stelle aus zu betrachten. Die Oregon-Universität betreibt dazu mehrere BGP-Router in ihrem eigenen autonomen System (AS 6447). Die derzeit acht Router sind über öffentliche Internet-Knoten hauptsächlich in den USA, aber auch am Londoner LINX, mit vielen anderen autonomen Systemen verknüpft. Die Partner haben sich bereit erklärt, ein Peering-Abkommen mit dem Route Views Project einzugehen und dessen Arbeit so zu unterstützen. Eine Liste der Pee-



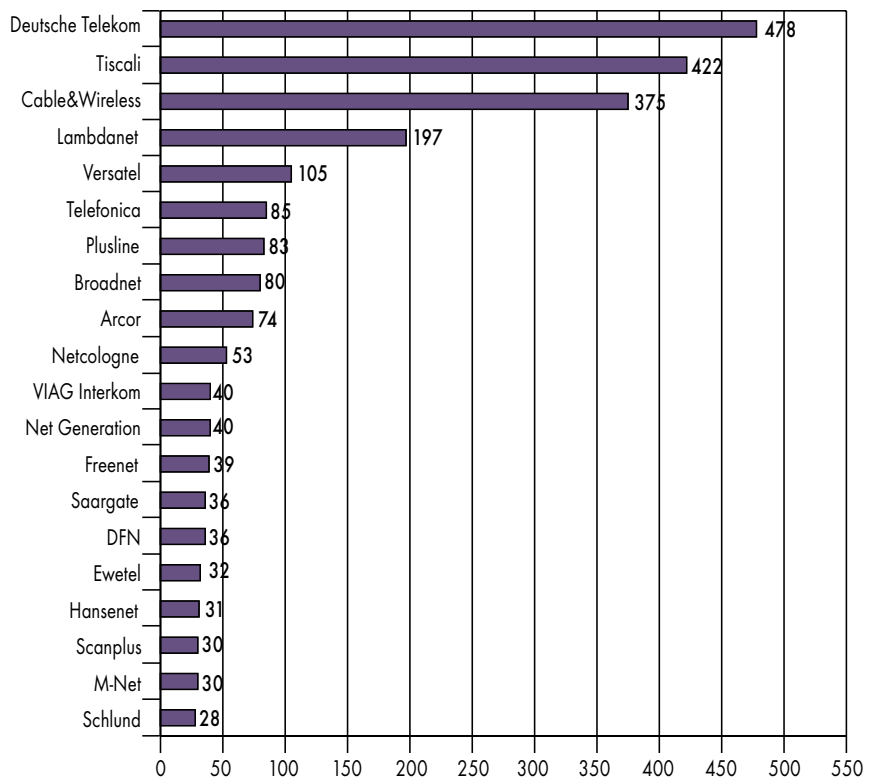
Eine prozentuale Verteilung der Anzahl der Verbindungen gibt die Bedeutung von autonomen Systemen aus Deutschland für das Internet wieder (Stand: August 2006, Abb. 2).

ring-Partner veröffentlicht das Projekt auf seinen Webseiten. Die öffentlichen Routing-Informationen stehen in unterschiedlichen Formen zur Verfügung. Der AiconViewer nutzt einen täglich generierten, ungefilterten Snapshot der Routing Information Base der BGP-Router.

Ein Snapshot enthält nicht alle existierenden Routen, sondern – daher der Name – lediglich eine Momentaufnahme des globalen Routing-Prozesses. Daher gilt es in regelmäßigen Abständen aktuelle Snapshots zu analysieren. Einige Verbindungen, besonders zwischen kleinen, regional begrenzten autonomen Systemen, tauchen eventuell nie im Snapshot auf. Daher bietet auch eine kontinuierliche Analyse des Route Views Snapshot keine Garantie für eine vollständige Abdeckung aller Routen. Doch auch ohne eine 100-prozentige Abdeckung aller weltweiten Verbindungen ermöglichen solche Datenerhebungen eine Vielzahl unterschiedlicher Analysen zur Bedeutung einzelner autonomer Systeme, zum Zustand des Gesamtgebildes und seiner laufenden Veränderungen.

Um auf die anfangs erwähnten Fragen einzugehen, wurde im ersten Schritt ein Ranking der deutschen Internet Service Provider erstellt. Dabei dient die Anzahl an Verbindungen als Merkmal dafür, die Größe und Bedeutung des zugehörigen autonomen Systems zu beurteilen.

Abbildung 3 zeigt die 20 größten deutschen autonomen Systeme, wie sie die Daten des Route-Views-Projekts widerspiegeln. Mit Abstand den ersten Platz belegt, wie zu erwarten, die Deutsche Telekom mit derzeit 478 Verbindungen zu anderen autonomen Systemen. Es folgen die Provider Tiscali und Lambdanet. Autonome Systeme wie die von Telefonica oder Tiscali gehören zu Tochterunternehmen ausländischer Provider. In der unteren Hälfte der Liste tauchen größere regionale ISPs auf, beispielsweise die Netcologne im Kölner Raum, die Hansenet mit Schwerpunkt Hamburg oder auch die M-Net für den Münchener Raum. Auch der größte deutsche Content-Provider United Internet mit seinem autonomen System Schlund findet sich in der Liste. Platzierungen in einer solchen Rangliste hängen natürlich immer vom Kerngeschäft des Providers ab. So bietet zum Beispiel der Provider Lambdanet Produkte und Lösungen hauptsächlich für Unternehmen an, darunter auch ISPs.

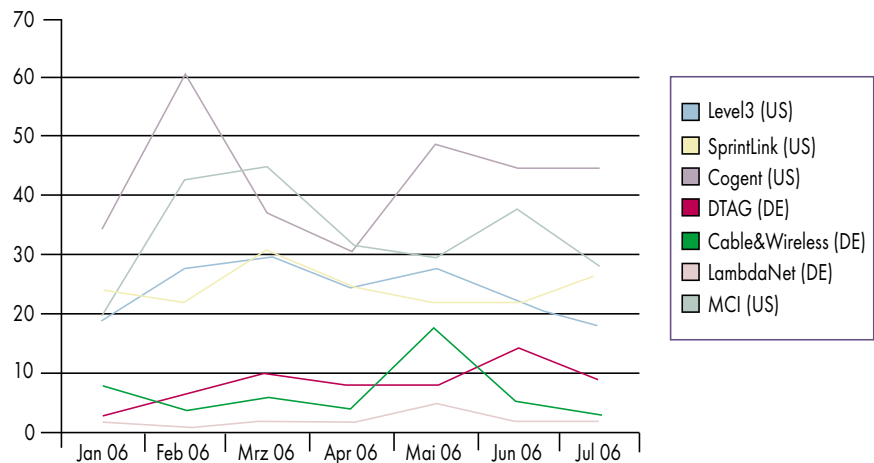


Die 20 größten autonomen Systeme in Deutschland, basierend auf Daten aus dem Open Route Views Project der Universität von Oregon (Abb. 3)

Die Reihenfolge unterstreicht die Vormachtstellung der Deutschen Telekom – zumindest in Deutschland, im weltweiten Ranking der autonomen Systeme liegt sie lediglich auf Platz 25. Hier dominieren US-Provider.

Alle Provider sind darauf bedacht, ihre Konnektivität ständig auszubauen, auch im Hinblick auf die neuen Anforderungen an die Netze und wachsende Datenmengen. Das zeigt sich in der steigenden Anzahl der Verbindungen. Die Analysen ergeben ei-

ne monatliche Aktivitätsliste für die neu gewonnenen Verbindungen der Provider. Abbildung 4 zeigt die Entwicklung der Verbindungen einiger Provider für das Jahr 2006. Mit dem stärksten Zuwachs fällt der durch aggressive Preispolitik expandierende Provider Cogent auf, der kontinuierlich Spitzenplätze in der Rangliste einnimmt. Wer diese Zahlen mit dem Zuwachs großer deutscher Provider wie der Deutschen Telekom oder Lambdanet vergleicht, erkennt auch bei denen



Die Anzahl neu eingerichteter Verbindungen für einige Provider in Deutschland im Jahr 2006 (Abb. 4)

kontinuierliches Wachstum, allerdings deutlich langsamer.

Solche Analysen geben Aufschluss über die derzeitigen Tätigkeiten der Provider und zeigen deren eventuelle Strategien hinsichtlich der Verknüpfung ihres autonomen Systems mit Transitkunden oder weiteren Peering-Partnern. Große Provider gewinnen offenbar immer mehr an Einfluss, da mehr und mehr Unternehmen auf ihre Dienste setzen.

Eine ganz andere Sichtweise bieten die Verbindungen der autonomen Systeme untereinander. Fast 95 Prozent der AS unterhalten weniger als zehn Verbindungen zu anderen Systemen. Lediglich rund 5 Prozent betreiben mehr als zehn Verbindungen, weltweit nur rund 30 Provider mehr als 300 Verbindungen (siehe Abb. 2).

Auswertungen wie die genannten lassen erahnen, dass es zahlreiche Möglichkeiten gibt, Aussagen über den Zustand und die Entwicklung des komplexen Gebildes Internet zu treffen. Auf welche Provider fokussieren sich deutsche Unternehmen? Wie sind die deutschen Provider miteinander verknüpft? Solche spannenden Fragen lassen sich mit gezielten Analysen der AS beantworten. Auch im Hinblick auf die anfangs beschriebenen Investitionen kann es von Nutzen sein, mehr über die Verknüpfungen zwischen Content-Anbietern und Netzbetreibern zu erfahren.

Investitionen in die Zukunft

Zurzeit bewegt sich der Markt rund um Inhalte und Infrastrukturen heftig. Angetrieben durch neue Technologien und Anwendungen richten viele Provider ihre Geschäftsstrategien neu aus. Einige bündeln ihre Tätigkeiten oder fokussieren sich auf bestimmte Geschäftsgebiete, etwa das alleinige Anbieten von Webinhalten. Ohne eigene Infrastruktur wird es für viele Provider schwer. Momentan sehen sich die Provider mit immer größeren Datenmengen konfrontiert, die wachsende Übertragungskapazitäten seitens der Endkunden und neue Anwendungen wie IP-Telefonie und -Fernsehen mit sich bringen. So investieren die Netzbetreiber viel Geld in ihre Infrastruktur. Die Content-Anbieter nutzen die verbesserten Transportwege dankbar für immer mehr Datenverkehr und lassen sich dafür gut bezahlen. Daher gehen viele Netzbetrei-

ber dazu über, sämtliche Inhalte in ihren eigenen Netzen anzubieten – oder sie suchen nach potenten Partnern.

Ein aktuelles Beispiel gibt die Deutsche Telekom, die nach der Senderfamilie ProSiebenSat1 und den öffentlich-rechtlichen Sendern nun auch RTL ins Boot geholt hat und mehr als 100 Programme über ihr neues VDSL-Netz liefert. Andere Provider wollen, zum Teil miteinander kooperierend, unabhängig von der Telekom ebenfalls hohe Übertragungsraten mittels ADSL2+ erreichen. So vereinbarten die QSC AG und die deutsche Tochterfirma des schwedischen Konzerns Tele2 kürzlich eine enge Zusammenarbeit für den Ausbau des DSL-Netzes von QSC. Provider wie Freenet und Hansenet nutzen bereits die Technik von QSC und planen, darüber Dienste wie IPTV und Video on demand anzubieten.

Eine Unabhängigkeit von der Deutschen Telekom verbessert die Margen und das Erfolgspotenzial im Vergleich zum Resale-DSL-Geschäft. So investieren auch viele regionale Provider in eigene Infrastrukturen, um in ihrer Region konkurrenzfähig zu sein. Beim Aufbau seines eigenen schnellen Glasfasernetzes verlegt Netcologne die Leitungen direkt bis in die Gebäude, was eine Anmietung der „letzten Meile“ von der Telekom unnötig und eigenständige Angebote datenintensiver Dienste wie IPTV möglich macht. Eine gänzlich andere Strategie verfolgt AOL Deutschland. Das Unternehmen will sich aus dem DSL-Markt zurückziehen und stattdessen auf das Portal- und Content-Geschäft konzentrieren. Der betroffene Geschäftsbereich soll an die Telecom Italia gehen, wie im September bekannt wurde.

Fazit und Ausblick

Viele ISPs dürften in naher Zukunft an Kapazitätsgrenzen stoßen, die erhebliche Investitionen in den Ausbau der Internet-Infrastruktur erfordern. Verantwortlich für die großen Datenmengen sind zumeist die Content-Anbieter. Daher wollen große Netzbetreiber – gegen großen Widerstand aus der Internetgemeinde – Content-Anbieter für den Aufbau ihrer Hochgeschwindigkeitsnetze zur Kasse zu bitten. Inwieweit unterschiedliche Interessen, Geschäftsmodelle und Ertragsmöglichkeiten miteinander verträglich sind, muss sich noch herausstellen. Für die weitere Entwicklung und Stabilität des Internet hat

dieser Aspekt eine große Bedeutung, insbesondere im Businessbereich.

Die zunehmenden Datenmengen gehen derzeit jedoch hauptsächlich auf das Konto privater Anwender. Triple Play wird das noch deutlich verstärken. Anhaltende Preiskämpfe sind absehbar, da die Konsumenten nicht bereit sein werden, sehr viel mehr Geld als bisher für Telefon, Fernsehen und Internet auszugeben. Das könnte sich negativ auf die Qualität und Verfügbarkeit von Geschäftsanwendungen auswirken, zumal die Entwicklung auch dort derzeit von elastischen und robusten Anwendungen wie E-Mail und Web zu zeitkritischen wie VoIP oder Business-IPTV führt. (un)

DIPL.-INF. STEFAN DIERICHS

ist Mitarbeiter im Bereich Internet-Erforschung des Instituts für Internet-Sicherheit an der FH Gelsenkirchen sowie bei der T-Systems International GmbH.

PROF. DR. NORBERT POHLMANN

ist Informatikprofessor für verteilte Systeme und Informationssicherheit sowie Leiter des Instituts für Internet-Sicherheit an der FH Gelsenkirchen.

Literatur

- [1] J. Hawkinson, T. Bates; RFC 1930; Guidelines for creation, selection, and registration of an autonomous system (AS); www.ietf.org/rfc/rfc1930.txt
- [2] Lixin Gao; On Inferring Autonomous System Relationships in the Internet; IEEE/ACM Transactions on Networking; Volume 9, Issue 6 (2001)
- [3] www.internet-sicherheit.de/aiconviewer/
- [4] University of Oregon Route Views Project; routeviews.org
- [5] Stefan Dierichs; Eine strukturelle Analyse des Internet – Zusammenhänge der Internetkommunikation mit der besonderen Betrachtung des Standortes Deutschland, Diplomarbeit 2006
- [6] Stefan Dierichs, Norbert Pohlmann; Internet-Struktur in Deutschland; *iX* 12/2005, S. 124
- [7] Stefan Dierichs, Norbert Pohlmann; Geordnetes Chaos, wie Routing dem Internet seine Selbstheilungskräfte verleiht; *c't* 3/2006, S. 160 