

Zahl autonomer Systeme wächst stetig

# Netz-Deutschland

**Stefan Dierichs, Norbert Pohlmann**

In der vernetzten Wissens- und Informationsgesellschaft spielen die zahlreichen Internet-Dienste eine wesentliche Rolle. Nach einer stürmischen Gründungsphase haben sich Aufbau und Struktur des Internet stabilisiert. Ein Blick auf die wichtigsten Player und deren Bedeutung für den deutschen Markt.

Das Internet besteht heute aus einer riesigen und kontinuierlich wachsenden Anzahl voneinander unabhängiger Netze (autonome Systeme, AS), die über diverse Router miteinander verbunden sind (Links). Als Verbund von Routern und Teilnetzen untersteht ein AS einer einzigen administrativen Instanz unter einer eindeutigen Nummer, der ASN.

Die Anzahl der autonomen Systeme nimmt unter anderem deswegen stetig zu, weil mehr und mehr Unternehmen die Verfügbarkeit des Internet als unternehmenskritisch ansehen. Für einen flexiblen und redundanten Anschluss ans Internet nutzen sie das „Multihoming“, eine redundante Anbindung an mehrere Provider, um die Zuverlässigkeit des Internet-Zugangs zu verbessern. Dafür müssen sie ein eigenes AS betreiben, damit sie eigene Routing-Regeln festlegen können – zum Beispiel, um im Sinne der „Quality of Service“ die Anzahl der Hops zwischen Quelle und Ziel möglichst klein zu halten.

Damit das Internet auch im Fehlerfall funktioniert, sind große autonome Systeme mehrfach miteinander verbunden; kleinere AS nutzen die Dienste größerer. Bei der Erfassung der Internet-Infrastruktur spielen genau diese Verbindungen eine wichtige Rolle. Ihre große Bedeutung hat kürzlich der „Nationale Plan zum Schutz der Informationsinfrastruktur (NPSI)“ des Bundesinnenministeriums verdeutlicht.

Die Verwaltung der AS und damit der eindeutigen ASNs deligiert die

zentrale Internet Assigned Numbers Authority (IANA) an die jeweiligen Regional Internet Registries (RIR). Im Juli 2005 befanden sich 25 600 ASN im Pool der noch zu vergebenen ASN der IANA, während 38 910 ASN bereits an die RIRs weitergegeben waren. Nur die Hälfte davon, 19 859 AS, waren jedoch zum selben Zeitpunkt in der Routing-Tabelle und damit überhaupt aktiv im Internet vorhanden. Da jeder BGP-Router (Border Gateway Protocol) über Routen-Informationen von anderen, insbesondere der benachbarten BGP-Routern verfügt, baut sich jeder BGP-Router eine Datenbank für die Routen zu allen erreichbaren AS auf. Derzeit umfasst die Tabelle mit den Routen-Informationen rund 185 000

Einträge [1]. Dies unterstreicht die Komplexität und Größe des Internet.

Das Réseau IP Européens (RIPE), die für Europa zuständige RIR, verwaltet momentan 10 114 ASN, von denen 6464 tatsächlich in der globalen Routing-Tabelle auftauchen. Von den übrigen ASN liegen 1200 noch im Reserve-Pool der RIPE, während die Provider 2450 intern nutzen oder für andere Zwecke reserviert haben.

Jede IP-Adresse und jeder Adressbereich (Präfix) ist immer einem autonomen System zugeordnet. Auch dazu gibt es Zahlen: Von den  $2^{32}$  theoretisch möglichen Adressen waren im August dieses Jahres 1 385 258 945 tatsächlich veröffentlicht, tauchten also in den Präfixen der AS in der globalen Routing-Tabelle auf. Ein Großteil der IP-Adressen ist zwar den einzelnen autonomen Systemen zugeordnet, davon dienen aber 796 180 987 Adressen nur dem internen Gebrauch oder als Reserve. Nur etwa ein Drittel der möglichen  $2^{32}$  IP-Adressen sind derzeit im Internet veröffentlicht, sie sind also keine so knappe Ressource wie häufig angeführt.

## IX-TRACT

- Das Internet hat die Phase stürmischer Entwicklung hinter sich, unterliegt aber nach wie vor raschen Änderungen.
- Insbesondere die Analyse der autonomen Systeme (AS) dient als wichtiges Mittel für die Darstellung der grundlegenden Datenströme.
- Eine schlüssige Darstellung der Internet-Struktur kann bei der Planung von Dienstleistungen und Infrastruktur-Investitionen von großer Bedeutung sein.

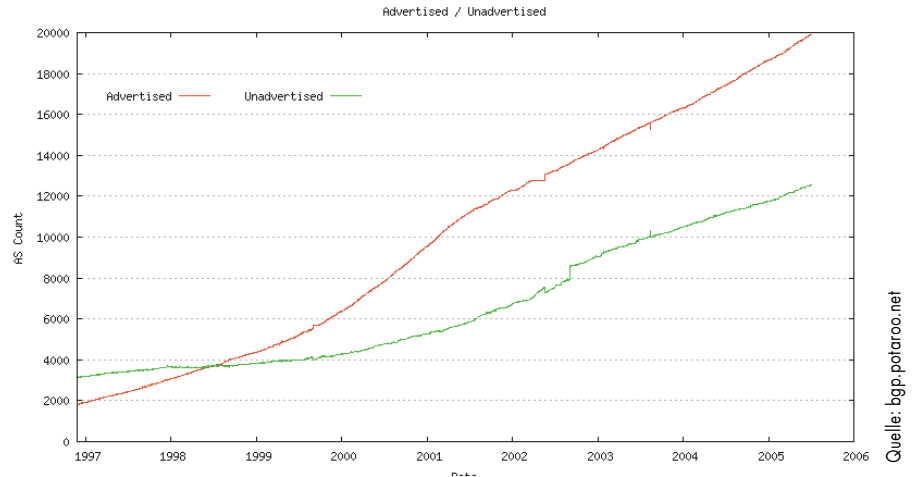


Ebenso häufig ist von IPv6 als Lösung der Adressknappheit zu lesen. Doch inwieweit der Umstieg auf IPv6 die Handhabung der ASN und das Routing zwischen den AS beeinflusst, lässt sich noch kaum abschätzen. Ganz erheblich dürfte sich die Tatsache auswirken, dass der Wegfall von PI-Adressen (Provider Independent) das Multihoming für Endkunden erschwert. Unklarheit herrscht außerdem darüber, ob Mechanismen wie die IPv6-Autokonfiguration, etwa beim Provider-Wechsel, den erhofften Erfolg bringen. Noch ist IPv4 äußerst erfolgreich: Ende August 2005 ging bei der DENIC (Deutsches Network Information Center) der Auftrag für die neunmillionste .de-Domain ein.

## Hierarchie der autonomen Systeme

Die Anordnung der autonomen Systeme im Gesamtverbund des Internet lässt erkennen, dass eine gewisse Rollenverteilung existiert und einigen AS eine größere Bedeutung zukommt als anderen. Die genaue Hierarchie ist allerdings wenig bekannt: Zum einen, da keine zentrale Stelle existiert, bei der alle AS ihre Beziehungen untereinander registrieren, zum anderen, da die Netzbetreiber Informationen über die Beziehungen eines AS oft aus geschäftstaktischen Gründen vertraulich behandeln.

Für die Hierarchie der AS sind die Beziehungen zwischen ihnen entscheidend. Daneben gibt es aber weitere Merkmale, die Auskunft über deren Bedeutung und Größe geben. Einen Ansatz, sie in einem Ranking anzuordnen, bietet das Projekt AS-Rank [2]. Es bewertet zu diesem Zweck die An-



Die Zahl der autonomen Systeme und Netze im Internet steigt (Abb. 1).

zahl der direkt miteinander verbundenen Nachbarn und die Anzahl der veröffentlichten Präfixe.

Die dafür erforderlichen BGP-Daten stammen vom Router des Routeviews-Projekts der Universität in Oregon [3]. Sie bilden die Grundlage vieler anderer Routing-Analysen, garantieren aber keine vollständige Abdeckung aller existierenden Routen. Auf den Routing-Informationen des BGP-Protokolls basieren einige weitere Algorithmen, die die Vielzahl der autonomen Systeme hierarchisch ordnen.

Einen anderen Ansatz verwendet das Institut für Internet-Sicherheit (ifis): den Algorithmus nach Lixin Gao [4] zur Charakterisierung von Verbindungen zwischen autonomen Systemen. Er unterscheidet im Wesentlichen zwei Typen von Verbindungen: Provider-Kunde und Peer-Peer, das so genannte Peering.

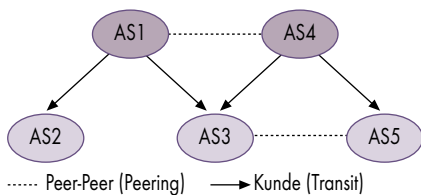
Ein Kunde besitzt meist ein relativ kleines AS und bezahlt den Provider für die Verbindung zum Rest des Internet (Upstream). Der Provider kann

wiederum Kunde eines größeren AS sein. Beim Peering vereinbaren die Besitzer mehrerer AS, den eigenen Datenverkehr und den ihrer jeweiligen Kunden untereinander „kostenneutral“ auszutauschen.

Anhand der Verbindungstypen lassen sich autonome Systeme hierarchisch einstufen. Solche, die keine Kunden mehr „unter“ sich haben, so genannte Edge-Networks, verkaufen keinen Transit an weitere AS. Damit sind sie Verbraucher-Netze (Business Customer) in der AS-Gesamtstruktur.

Ein weiterer Ansatz ist die einfache Unterteilung des Internet in Schichten (Tiers). Die Edge-Networks bilden die unterste Schicht (Tier 3), große AS, die keinen Upstream hinzukaufen müssen, bilden die oberste Schicht (Tier 1). Alle anderen AS bilden die mittlere Schicht (Tier 2).

Für eine richtige Einschätzung der Bedeutung einzelner AS des „Internet-Deutschland“ ist es wichtig zu untersuchen, welche Rolle das jeweilige autonome System im Verbund einnimmt.



**Autonome Systeme lassen sich nach der Art der gegenseitigen Anbindungen hierarchisch gliedern (Abb. 2).**

Das Institut für Internet-Sicherheit hat bei der Einstufung der AS einen erweiterten Ansatz gewählt und deren Aufgaben und Bedeutung speziell für den deutschen Raum genauer analysiert.

Informationen über Größe und Ausdehnung der Systeme stammten aus den schon genannten Quellen [1 bis 4]. Außerdem finden Kundenzahlen von Internet-Service-Providern (ISP), Anzahl von gehosteten Webseiten oder die Anzahl der Visits der Online-Portale Berücksichtigung. Des Weiteren spielen die Größe und wirtschaftliche Bedeutung des Unternehmens, zu dem das AS gehört, eine Rolle für deren Bedeutung. Die Bewertung all dieser Faktoren führte zur Definition von fünf AS-Typen – angeführt von den „Global-Tier-One-Providern“, den größten weltweiten IP-Carriern, die auch in Deutschland eine entscheidende Rolle spielen. Dazu gehören MCI, AT&T, Sprint, Level3, Qwest, Cogent, Global Crossing sowie C&W.

Es folgen „Transit-Provider“, die in Deutschland wenige oder keine privaten DSL-Kunden haben. Sie bieten Upstream für „Eyeball-ISP“ (siehe unten) und Geschäftskunden, betreiben zu meist Peerings mit anderen Transit-Providern und verfügen über einen Upstream zu den großen Global-Tier-One-Providern. Transit-Provider, die für Deutschland eine besondere Bedeutung haben, sind zum Beispiel T-Com (Tele-

kom), Lambdanet, KPN-Eurorings und Colt, Telia, TDC und Telefonica.

Eyeball-ISP sind die größten deutschen DSL-Provider. Sie stehen im Blickpunkt zahlreicher Endanwender: Millionen von DSL-Usern bewegen riesige Datenmengen (siehe Tabelle). Zu den Eyeball-ISP gehören T-Online (Telekom), 1&1 (United Internet), AOL, Freenet (Mobilcom), Arcor, Hansenet (Telecom Italia) und regional operierende Unternehmen wie Netcologne und Gelsennet.

Content-Provider stellen vor allem Web-Inhalte bereit, sei es durch das Hosten privater Webseiten oder durch das Betreiben eines stark frequentierten Online-Portals. Content-Provider sind zum Beispiel Microsoft, Google, T-Online (Telekom), Ebay, United Internet, Host Europe, IP-Exchange und viele weitere.

Die fünfte Kategorie bilden schließlich die Geschäftskunden, große deutsche Unternehmen mit einem eigenen AS. Bei ihnen geht es mehr um die ökonomische Bedeutung der Verbindungen als um das Datenvolumen. Geschäftskunden sind etwa die Deutsche Bank, Lufthansa, Allianz, BASF, Siemens, DATEV, Volkswagen, Metro und RWE.

Nicht alle AS lassen sich strikt einer der fünf Kategorien zuordnen. So gehört das AS hinter dem Namen Schlund zum Unternehmen United Internet. Dieses autonome System ist sowohl als Content-Provider als auch als DSL-Provider aktiv, wobei der DSL-Datenverkehr größtenteils der Backbone der Deutschen Telekom abwickelt.

Eine weitere Rolle spielen so genannte Internet Exchange Points (IXP), die Austauschknotten für den Datenverkehr zwischen den AS. Sie dienen typischerweise dazu, die Abhängigkeit von Upstream-Providern zu reduzieren sowie den Durchsatz und die Fehlertoleranz zu steigern. Größter deutscher CIX (Commercial Internet Exchange) ist der DECIX (Deutscher CIX) in Frankfurt/M. Laut Statistiken fließen in Spitzenzeiten bis zu 40 GBit/s durch

DSL-Kunden in Deutschland	
Provider	Kunden (in Mio.)
T-Online	3,71
United Internet	1,34
AOL	0,9
Arcor	0,71
Freenet	0,52
Triscali	0,38
Hansenet	0,34
Versatel	0,17
Netcologne	0,14

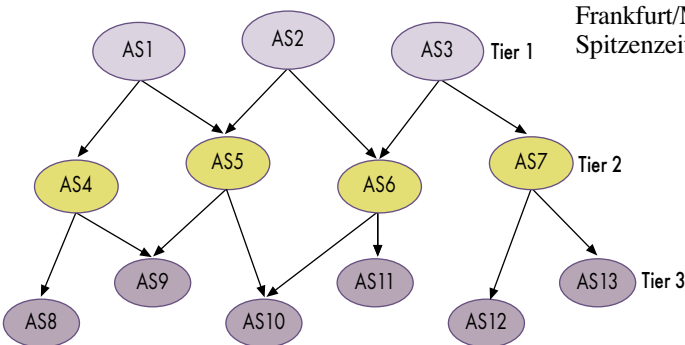
diesen Knoten. Daneben existieren einige regionale Internet-Knoten in Deutschland.

## Internet-Infrastruktur unter der Lupe

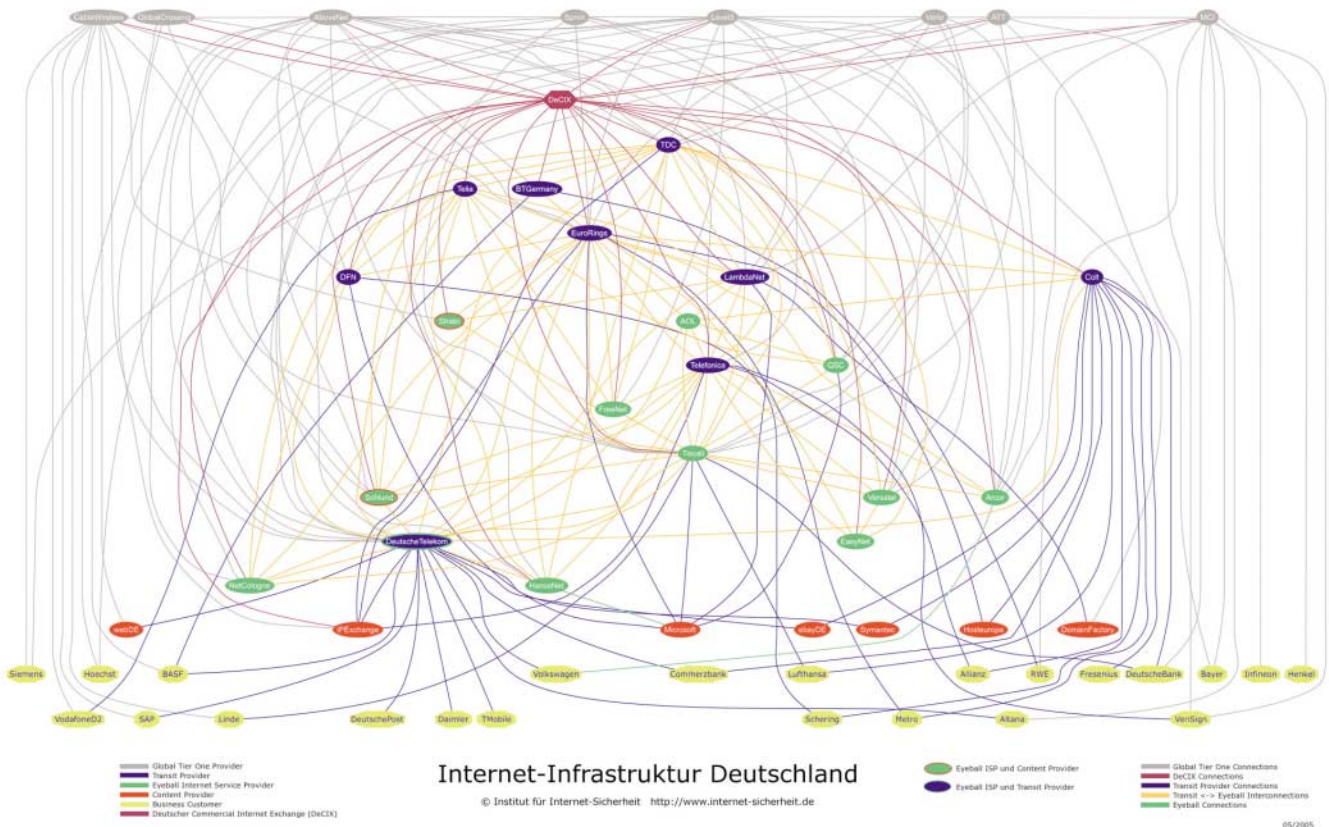
Das Ergebnis der Infrastruktur-Analyse ist eine Internet-Karte, die die wichtigsten „Datenautobahnen“ in Deutschland darstellt – vergleichbar mit einer Straßenkarte. Von entscheidender Bedeutung bei deren Erstellung sind die Auswahl der aus Sicht der Autoren wichtigsten AS und die Kategorisierung in die beschriebenen fünf Kategorien.

Die anschließende Recherche der Verbindungen erfolgte anhand der Routing-Informationen des Routeviews-Projekts und anderer Quellen wie der RIPE-Daten. Mit Hilfe der Looking-Glass-Services der Provider ließen sich Übertragungswege qualitativ darstellen. Mit welcher Leitungskapazität und an welchen Orten die jeweiligen Systeme verbunden sind, geht daraus nicht hervor. Das Institut für Internet-Sicherheit zieht die Karte zur Bewertung von Verbindungen und zur Abschätzung der Kommunikationsdaten (private Nutzer, Business-Nutzer etc.) im Rahmen des Projekts Internet-Analyse-System heran [9].

Eine Visualisierung des komplexen Gebildes autonomer Systeme und deren Verbindungen erfolgt in Anlehnung an andere Visualisierungsprojekte, etwa das opte-Projekt [5] oder die Maps der Caida [6]. In diesem Fall kam die Grafik-Engine Graphviz [7] zum Einsatz; sie ermöglicht eine automatisierte Erzeugung von gerichteten und ungerichteten Graphen anhand einer Konfigurationsdatei, die alle Systeme und deren Verbindungen enthält, und kann Grafiken mit unterschiedlichen Parametern in unterschiedlicher Form generieren (Abb. 4). Die Inter-



**Logische Strukturierung des Internet nach Schichten (Tiers, Abb. 3)**



**Wichtige Bestandteile der deutschen Internet-Infrastruktur in einer qualitativen Darstellung (Abb. 4)**

net-Karte für Deutschland ist im Institut für Internet-Sicherheit als DIN-A1-Plakat erhältlich.

## Fazit und Ausblick

Auch wenn das Internet den Kinderschuhen entwachsen ist, unterliegt die Infrastruktur nach wie vor einer hohen, von vielen Faktoren beeinflussten Fluktuation. Die Anzahl der autonomen Systeme und die Komplexität der Verbindungen steigt, und die deutschen DSL-Provider streben für das Jahresende die 10-Millionen-Grenze bei den DSL-Kunden an. Somit ist die Analyse der Internet-Infrastruktur in Deutschland ein kontinuierlicher Prozess, der selbst eine laufende Weiterentwicklung erfordert.

Zudem kann der Informationsgehalt der Internet-Karte gesteigert wer-

den, indem mehr und mehr Informationen über die Art der Verbindungen (Peering/Transit) und über die Bandbreiten mit aufgenommen werden. Ein weiterer interessanter Punkt ist auch der physische Verlauf der Verbindungen innerhalb und zwischen den AS. Viele Glasfaserleitungen verlaufen gemeinsam in ehemaligen Gasleitungs-Trassen [8], sodass auch geografisch Datenautobahnen existieren. Das Projekt bietet viele Sichtweisen auf das Internet und damit ein gutes Instrument für strategische Entscheidungen wie Investitionen in die Infrastruktur. (un)

### 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] Geoff Huston; Exploring Autonomous System Numbers; [www.potaroo.net/ispcol/2005-08/as.html](http://www.potaroo.net/ispcol/2005-08/as.html)
- [2] AS-Ranking; <http://as-rank.caida.org>
- [3] University of Oregon Route Views Project; [www.routeviews.org](http://www.routeviews.org)
- [4] Lixin Gao; On Inferring Autonomous System Relationships in the Internet; [www-unix.ecs.umass.edu/~lgao/](http://www-unix.ecs.umass.edu/~lgao/)
- [5] The Opte Project; <http://opte.org>
- [6] The Caida Web Site; AS internet graph; <http://caida.org>
- [7] Graphviz – Graph Visualization software; <http://graphviz.org>
- [8] Holger Bleich; Bosse der Fasern; c't 7/05, S. 88
- [9] Norbert Pohlmann; Internetstatistik; Proceedings of CIP Europe 2005, Hrsg.: B. M. Hämmerli, S. D. Wolthusen; Gesellschaft für Informatik, Bonn 2005; [www.internet-sicherheit.de/fileadmin/npo/artikel\\_berichte/internetstatistik\\_19\\_09\\_05.pdf](http://www.internet-sicherheit.de/fileadmin/npo/artikel_berichte/internetstatistik_19_09_05.pdf)

## Web-Ressourcen zur Internet-Infrastruktur

NPSI Nationaler Plan zum Schutz der Informationsinfrastruktur	<a href="http://www.bmi.bund.de">www.bmi.bund.de</a>
DENIC Deutsches Network Information Center	<a href="http://www.denic.de">www.denic.de</a>
IANA Internet Assigned Numbers Authority	<a href="http://www.iana.org">www.iana.org</a>
RIPE Reseaux IP Européens	<a href="http://www.ripe.org">www.ripe.org</a>
Institut für Internet-Sicherheit	<a href="http://www.internet-sicherheit.de">www.internet-sicherheit.de</a>