

NZZ Online Sonderbeilagen

Neue Zürcher Zeitung

Frontpage
Finanzmärkte
Dossiers
English Window
News Ticker
Echo der Zeit
NZZ-Archiv
Service
Anzeigen
Mail/Leserdienst
Hilfe/Index
NZZ-Sites

Die aktuelle



[Hilfe](#)

Dienstag, 8. Februar 2000

[Kommentar](#) | [International](#) | [Schweiz](#) | [Vermischtes](#) | [Wirtschaft](#) | [Börsen/Märkte](#) | [Feuilleton](#) | [Zürich](#) | [Sport](#) | [Forschung/Technik](#) | [Mensch/Arbeit](#) | [Tourismus](#) | [Medien/Informatik](#) | [Literatur/Kunst](#) | [Sonderbeilagen](#) | [Internet](#) | [Bilder der Woche](#) | [Wetter](#) | [Frontpage](#)

[Diese Sonderbeilage](#) | [Alle Sonderbeilagen](#)

Informatik

[Kasten: Informationen zu IPv6](#)

Die nächste Generation der Internetprotokolle

Die Technik steht bereit - wer macht den ersten Schritt?

Von Silvia Hagen*

Die für die Netzsteuerung und Datenübermittlung verwendeten Kommunikationsprotokolle des Internets, die unter dem Namen TCP/IP Version 4 seit bald zwanzig Jahren im Einsatz sind, sollen abgelöst werden. Die Nachfolgeprotokolle unter der Bezeichnung IPv6 bieten einen erweiterten Adressbereich, neue Dienstelemente für Sicherheit und Übertragungsqualität, effizientere Protokollformate, optimierte Routenwahl sowie vereinfachte Konfiguration der Netzknoten. In Testnetzen befindet sich IPv6 bereits im Einsatz, es dürfte aber noch Jahre dauern, bis sich diese Protokolle vollständig durchsetzen.

Der Erfolg und die Ausbreitung des Internets basieren unter anderem auf der Robustheit und Effizienz der für die Netzsteuerung und Datenübermittlung verwendeten Kommunikationsprotokolle, die unter dem Namen TCP/IP Version 4 seit 1981 im Einsatz sind. Die Designer von TCP/IP konnten aber zu Beginn der achtziger Jahre das rasche Wachstum der Internetteilnehmer und die gestiegenen Anforderungen bezüglich Übertragungsqualität und Sicherheit nicht voraussehen. Seit vielen Jahren wird in Projektgruppen der Internet Engineering Task Force (IETF) die Arbeit an entsprechend verbesserten Nachfolgeprotokollen unter dem Arbeitstitel IP Next Generation (IPng) vorangetrieben. Diese Protokolle sind nun unter dem Sammelbegriff IPv6 bereit für den Einsatz.

Warum eine neue Version?

In einem TCP/IP-Netzwerk benötigt jeder Rechner eine eindeutige Identifikation, die als IP-Adresse bezeichnet wird. Die IP-Adresse ist vergleichbar mit einer Telefonnummer. Sie umfasst in der heute verwendeten Version 32 Bits und wird in 4 Gruppen zu je 8 Bits dezimal notiert, also zum Beispiel in der Form 192.168.0.15. Mit diesem Format sind rund 4,2 Billionen Rechneradressen möglich. Vor dem Internetbenutzer wird diese numerische Adressierung in der Regel durch die Verwendung logischer Namen verborgen (z. B. www.nzz.ch), die durch Leitwegrechner automatisch in der zugehörigen IP-Adresse abgebildet werden.

Ähnlich der Vergabe von Telefonnummern im Telefonnetz werden im Internet Adressen in Blöcken vergeben. So erhält z. B. eine Firma in Zürich, die über eine

eigene Telefonzentrale verfügt, innerhalb der Vorwahl 01 die ersten drei Stellen der Telefonnummer vorgegeben, während sie die Verwendung der letzten 4 Stellen der vollständigen Telefonnummer selbst bestimmen kann, aber auch selbst verwalten muss. Ähnlich diesem Mechanismus werden im Internet Gruppen von numerisch zusammengehörenden Adressen als Block an Antragsteller (Firmen, Behörden, Internet Service Provider usw.) abgegeben. So hat z. B. die ETH Zürich im Internet die «Vorwahl» 129.132, d. h., alle Adressen der Form 129.132.x.y sind weltweit eindeutig als der ETH Zürich zugeordnet erkennbar. Schöpft nun die Organisation ihren Teil des Adressraums nicht vollständig aus, kann dieser nicht einfach durch andere Teilnehmer im Internet genutzt werden, da eben die eindeutige «Vorwahl» dazu führt, dass alle ankommenden Anrufe und Datenpakete an die ETH Zürich weitergeleitet werden. So kommt es, dass heute auf Grund der Unternutzung von Adressblöcken IP-Adressen knapp werden, ohne dass weltweit auch nur annähernd 4,2 Billionen Rechner am Internet angeschlossen sind.

Der Hauptgrund für den Bedarf einer Änderung an IP Version 4 lag also in einem voraussehbaren Mangel an verfügbaren IP-Adressen und Bedenken über das Anwachsen der nötigen Verwaltungsinformation in den Netzknoten (Routern), die für die Weiterleitung und Verteilung von Internetverbindungen und -daten zuständig sind. Es ist davon auszugehen, dass die Zunahme beim Bedarf an IP-Adressen durch die Entwicklung neuer Technologien wie zum Beispiel intelligenter Gebäudeleitsysteme, mobiler Kleinstrechner, TV-Settop-Boxen, Haushaltsgeräte mit Internetanschluss oder der Telefonie über IP beschleunigt wird.

Die wichtigste Anforderung an eine neue IP- Version war also, die Anzahl möglicher Adressen durch Erweiterung der Adressbits massiv zu erhöhen. Eine IPv6-Adresse hat nun 128 Bits (16 Bytes) und bietet damit Platz für Tausende von Adressen pro Erdbewohner. Neben der Vergrößerung des Adressraums wurden jedoch auch weitere funktionale Änderungen und Erweiterungen diskutiert und beschlossen, so dass ein eigentlicher Neuentwurf der meisten Protokolle des Internets vorgenommen wurde. Wesentliche Motive für diese Neuausrichtung der Internetprotokolle waren dabei die Sicherheits- und Qualitätsanforderungen, welche durch die geschäftliche wie private Nutzung des Internets entstehen und im ursprünglich für die Forschung und Lehre eingesetzten Netzverbund von geringem Interesse waren.

Was ist neu in IPv6?

Die wichtigsten neuen Eigenschaften von IPv6 sind neben dem erweiterten Adressbereich neue Dienstelemente für Sicherheit (Chiffrierung und Authentisierung) und Dienstgütegarantien (Flow Labeling), vereinfachte und damit von den Netzknoten schneller verarbeitbare Protokollformate, optimierte Routenwahl in Netzverbunden sowie verbesserte Unterstützung für spätere Erweiterungen und Optionen. Ein Schwerpunkt wurde ebenfalls auf eine stark vereinfachte und automatisierbare Konfiguration gesetzt. Insbesondere für den Netzwerk-Administrator ist diese Autokonfigurationsmöglichkeit von IPv6-Rechnern eine der wesentlichen Neuerungen. Bei IPv4 muss auf aufwendige Art und Weise dafür gesorgt werden, dass jeder Host eine eindeutige IP-Adresse besitzt. Oft wird dafür ein spezialisierter DHCP-Server (Dynamic Host Configuration Protocol) eingesetzt, der jedem Rechner nach dem Start automatisch aus einem vordefinierten Wertebereich eine IP-Adresse zuweist. Bei IPv6 erkennt ein startender Rechner das Netzwerk, in dem er sich befindet, automatisch und kann sich selbst konfigurieren. Ein manuelles Eingreifen des Administrators erübrigt sich damit. Nach wie vor kann aber z. B. aus Sicherheitsgründen ein DHCP-Server eingesetzt oder eine Kombination von statischer und dynamischer Adressierung gewählt werden.

Ebenso wichtig ist die Optimierung und Integration des in IPv4 nur experimentell verfügbaren Multicasting als Basisdienst von IPv6. Mit Multicasting ist es einem Rechner möglich, gleichzeitig mit einer ganzen Gruppe anderer Rechner zu kommunizieren, die sich mittels einer gemeinsamen Multicast-Gruppenadresse als Gruppe eingetragen haben. Anwendungen, die davon Gebrauch machen können, sind zum Beispiel Audio- oder Video-Konferenzen.

Sind NAT, CIDR und RSIP Alternativen?

Da das Adressierungsproblem bereits vor der Fertigstellung von IPv6 und entsprechenden Produkten dringlich wurde, wurden als Zwischenlösungen NAT (Network Address Translation) und CIDR (Classless Interdomain Routing) geschaffen, die das Problem der zu knappen Adressräume partiell und temporär lösen.

NAT entschärft das Adressproblem mittels privater IP-Adressbereiche, die man in firmeninternen Netzwerken frei und ohne die Adressen offiziell registrieren zu müssen benutzen darf. Will man das Firmennetzwerk trotzdem mit dem Internet verbinden, kann der Router mit NAT die intern verwendeten in offiziell gültige Adressen umwandeln. Für das Problem der schnell wachsenden Verwaltungsinformation in den Netzknoten wurde CIDR eingeführt. Mit CIDR können verschiedene Netze, für die im Normalfall in einer Wegleitungstabelle (Routing table) je ein Eintrag benötigt würde, in einem einzigen Eintrag zusammengefasst werden. Damit werden die entsprechenden Tabellen kleiner und die Performance der Routers wird verbessert.

Beide Technologien haben jedoch auch Nachteile. Applikationen, die auf eine End-to-end-Verbindung zwischen den beiden kommunizierenden Rechnern mit Kenntnis der korrekten IP-Adresse des jeweiligen Kommunikationspartners angewiesen sind, funktionieren mit NAT nicht. Die Realisierung von Sicherheitsfunktionen, die Daten zwischen Sender und Empfänger inklusive der jeweils lokal verwendeten IP-Adressen verschlüsseln, ist mit NAT demnach nicht möglich. Zudem gibt es viele Applikationen, die die IP-Adresse eines Partner-Rechners im Datenbereich von TCP/IP-Paketen speichern. NAT setzt die IP-Adresse jedoch nur in der Verwaltungsinformation (IP-Header) um - wenn also der empfangende Rechner die IP-Adresse aus dem Datenbereich ausliest, so steht dort eine aus seiner Sicht falsche Adresse. Wenn zudem der NAT-Anschlusspunkt nicht mehr richtig funktioniert, sind alle Rechner, die über ihn kommunizieren, ebenfalls nicht mehr erreichbar. CIDR als zweiter Mechanismus wäre erst dann richtig effizient, wenn es möglich wäre, weltweit die IP-Adressen neu zu vergeben, so dass die ersten Bytes der Adresse (d. h. die «Vorwahl») nach geographischen Gesichtspunkten vergeben werden könnten. Bereits registrierte Adressen, die nun in anderen geographischen Zonen benötigt würden, können jedoch gemäss der heutigen Aufsichtsstruktur des Internets nicht zurückgefordert werden. Zudem würde dies die «Spender» zu aufwendigen Umnumerierungen zwingen. Für multinationale Netzwerke würde CIDR zusätzlich weitere Probleme mit der Gültigkeit von CIDR-Adressen bereiten, wenn solche Intranets in verschiedenen Ländern Anschlüsse an andere Netze oder an das weltweite Internet aufweisen. Der Adressaufbau bei IPv6 berücksichtigt diese Schwachstelle und vergibt bestimmte Adressen bereits von Anfang an nach geographischen Merkmalen.

Ein weiterer Versuch, das Adressproblem zu lösen, war die Entwicklung von RSIP (Realm Specific Internet Protocol). RSIP unterstützt ebenfalls End-to-end-Sicherheitselemente und Anwendungen wie Telekonferenzen, Instant Messaging, Streaming Media und IP-Telefonie. Allerdings ist die Implementation relativ aufwendig; RSIP muss sowohl in jedem teilnehmenden Rechner als auch in

der Software der Netzknoten (Routers) implementiert werden, und Anwendungen müssen gegebenenfalls auch angepasst werden. Die verbreitete Einführung von NAT und CIDR sowie die Aufwendungen für die Lösung des Jahr-2000-Problems (Y2K) liessen den noch 1997 drängenden Ruf nach IPv6 in jüngster Zeit verstummen. Die Standardisierung von IPv6 verschwand aus dem Blickfeld der Öffentlichkeit, man konzentrierte sich im Internet auf den Betrieb und die Optimierung von IPv4. Nachdem der Datumswechsel zum Jahresbeginn überstanden war, und die Probleme mit NAT und CIDR unübersehbar wurden, ist es an der Zeit, sich wieder langfristig auszurichten und IPv6 ins Auge zu fassen.

Wo steht die Einführung von IPv6?

Bereits heute sind für viele Betriebssysteme und Routers Prototypen der IPv6-Software verfügbar. Novell steht in den Startlöchern und ist bereit, IPv6 zu unterstützen, sobald der Markt es verlangt. Microsoft hat ebenfalls IPv6-Protokoll-Software publiziert. Netzwerk-Ingenieure, die damit schon gearbeitet haben, sagen aus, dass diese Software bereits recht gut läuft und parallel neben einer bestehenden IPv4-Software auf dem gleichen Rechner benützt werden kann.

Im vergangenen Sommer erhielt IPv6 den Status eines Draft Standard, das bedeutet, dass mindestens zwei unabhängige Implementationen entwickelt und praktisch getestet wurden. Seit kurzem können weltweit IPv6-Adressen beantragt werden. Kürzlich hat ein Internet Service Provider in Deutschland die ersten IPv6-Adressen registriert und plant, demnächst Pilotprojekte zu starten. Im Internet existiert mit dem 6Bone ein Testnetz, das bereits seit einigen Jahren mit IPv6 läuft und an das sich interessierte Organisationen anschliessen können, um IPv6-Erfahrungen zu sammeln. Auf der 6Bone-Startseite findet man viele interessante Informationen, u. a. eine Liste aller Organisationen, die am 6Bone angeschlossen sind. Dort sieht man, dass in der Schweiz bereits neun Organisationen mit IPv6 experimentieren, darunter die ETH, die Swisscom und die Stiftung Switch als Internetdienstanbieter der Hochschulen.

Die Internet Assigned Numbers Authority (IANA) verwaltet global den IP-Adressenbereich für beide IP-Versionen. Sie hat die Adressvergabe an regionale Internet Registry Services (IR) delegiert. Die Vergabe erfolgt hierarchisch. Regionale Internet Registries - im Fall von Europa eine Organisation namens Réseaux IP Européens (RIPE) - weisen die höchstwertigen Bits der IP- Adresse Organisationen zu, welche wiederum Adressen an Internet Service Providers und Endbenutzer vergeben. Ziel der formulierten Regeln ist es, den IPv6-Adressbereich so effizient wie möglich zu nutzen. Jede Vergabe von IPv6-Adressen muss in einer öffentlich zugänglichen Datenbank registriert werden, die von den regionalen IR unterhalten wird. Das ist notwendig, damit die Eindeutigkeit von Adressen weltweit gewährleistet ist.

Ausblick

Für Grossfirmen mit entsprechender Netzwerk- Infrastruktur ist es sinnvoll, sich bereits jetzt in einer Testumgebung mit IPv6 zu befassen, internes Fachwissen aufzubauen und sich allenfalls auch schon um die Zuteilung von IPv6-Adressen zu kümmern. Es gibt zurzeit keine echten, d. h. standardisierten, skalierbaren, erweiterbaren und herstellerunabhängigen Alternativen zur schrittweisen Einführung von IPv6. Einzelne Netzwerkbereiche können auf IPv6 umgestellt werden, und wenn die Pakete Strecken durchlaufen müssen, auf denen noch IPv4 im Einsatz ist, können die IPv6-Pakete in IPv4 eingepackt werden (Tunneling). Einzelne Rechner können als sogenannte Dual-stack-Rechner aufgesetzt werden, so dass sie beide Protokolle benutzen können. Neuerdings wird die Tunneling-Variante durch die Entwicklung

von 6to4 - einem neuen Protokoll, an dem die IETF zurzeit arbeitet - optimiert.

Zu beachten ist jedoch, dass beim Übergang zu IPv6 eine ganze Reihe anderer Protokolle, die im weitesten Sinn zur TCP/IP-Protokoll-Familie gehören, ebenfalls angepasst werden müssen. Dazu gehören Routing-Protokolle wie z. B. OSPF (Open Shortest Path First), EIGRP (Enhanced Interior Gateway Protocol) und DNS (Domain Name System), welches mit IPv6 in der Lage sein muss, sowohl 32-Bit- als auch 128-Bit-IP-Adressen zu verwalten.

IPv6 wird IPv4 nicht schon morgen ablösen; es werden einige Jahre auf uns zukommen, in denen beide Protokolle nebeneinander existieren.

Informationen zu IPv6

Konferenzen. Im Dezember 99 fand in Berlin die deutsche IPv6 Conference statt. Die Präsentationen können von der Homepage¹ heruntergeladen werden.

Kurse. Das Institut für Technische Informatik und Kommunikationsnetze der ETH Zürich offeriert zum Thema IPv6 einen zweitägigen «Kompaktkurs für die Praxis».² Die Referenten sind Prof. Dr. B. Plattner und H. P. Lubich. Nächster Kurstermin ist der 23. März.

Websites. Switch³; Sun Microsystems⁴; the 6bone⁵ (experimentelles IPv6-Testnetz); the 6ren Network⁶ (experimentelles IPv6-Testnetz); IPv6-Forum⁷; eine Liste⁸ von Sites, die via IPv6 erreicht werden können; eine Liste⁹ von aktuellen IPv6-Implementationen nach Betriebssystem; «How to install IPv6 on various systems»¹⁰.

Literatur. Christian Huitema: IPv6 - The New Internet Protocol. Prentice Hall, New Jersey 1998. 230 S.

¹ <http://www.t-nova.de/berkom/ipv6>

² <http://www.tik.ee.ethz.ch/kurse/ipng>

³ <http://www.switch.ch/lan/ipv6>

⁴ <http://playground.sun.com/pub/ipng/html>

⁵ <http://www.6bone.net>

⁶ <http://www.6ren.net>

⁷ <http://www.ipv6forum.com>

⁸ <http://www.ipv6.org/v6-www.html>

⁹ <http://www.ipv6.org/impl/index.html>

¹⁰ <http://www.ipv6.org/howtos.html>

[Zurück zum Artikel](#)

* Silvia Hagen ist Inhaberin der Beratungsfirma Sunny Connection, Maur (<http://www.sunny.ch>). Sie offeriert Beratungen und Schulungen im Bereich Netzwerk-Betriebssysteme und Netzwerkanalyse. Zusammen mit Stephanie Lewis verfasste sie das Buch «Novell's Guide to Troubleshooting TCP/IP», IDG Books, Foster City (CA) 1999. 900 S.

Neue Zürcher Zeitung, 8. Februar 2000

[Diese Sonderbeilage](#) | [Alle Sonderbeilagen](#)

[Kommentar](#) | [International](#) | [Schweiz](#) | [Vermischtes](#) | [Wirtschaft](#) | [Börsen/Märkte](#) | [Feuilleton](#) | [Zürich](#) | [Sport](#) | [Forschung/Technik](#) | [Mensch/Arbeit](#) | [Tourismus](#) | [Medien/Informatik](#) | [Literatur/Kunst](#) | [Sonderbeilagen](#) | [Internet](#) | [Bilder der Woche](#) | [Wetter](#) | [Frontpage](#)

[Seitenanfang](#)

[Frontpage](#)

[Impressum](#) | [Webmaster](#) | [Werbung](#)

© AG für die Neue Zürcher Zeitung NZZ 2000