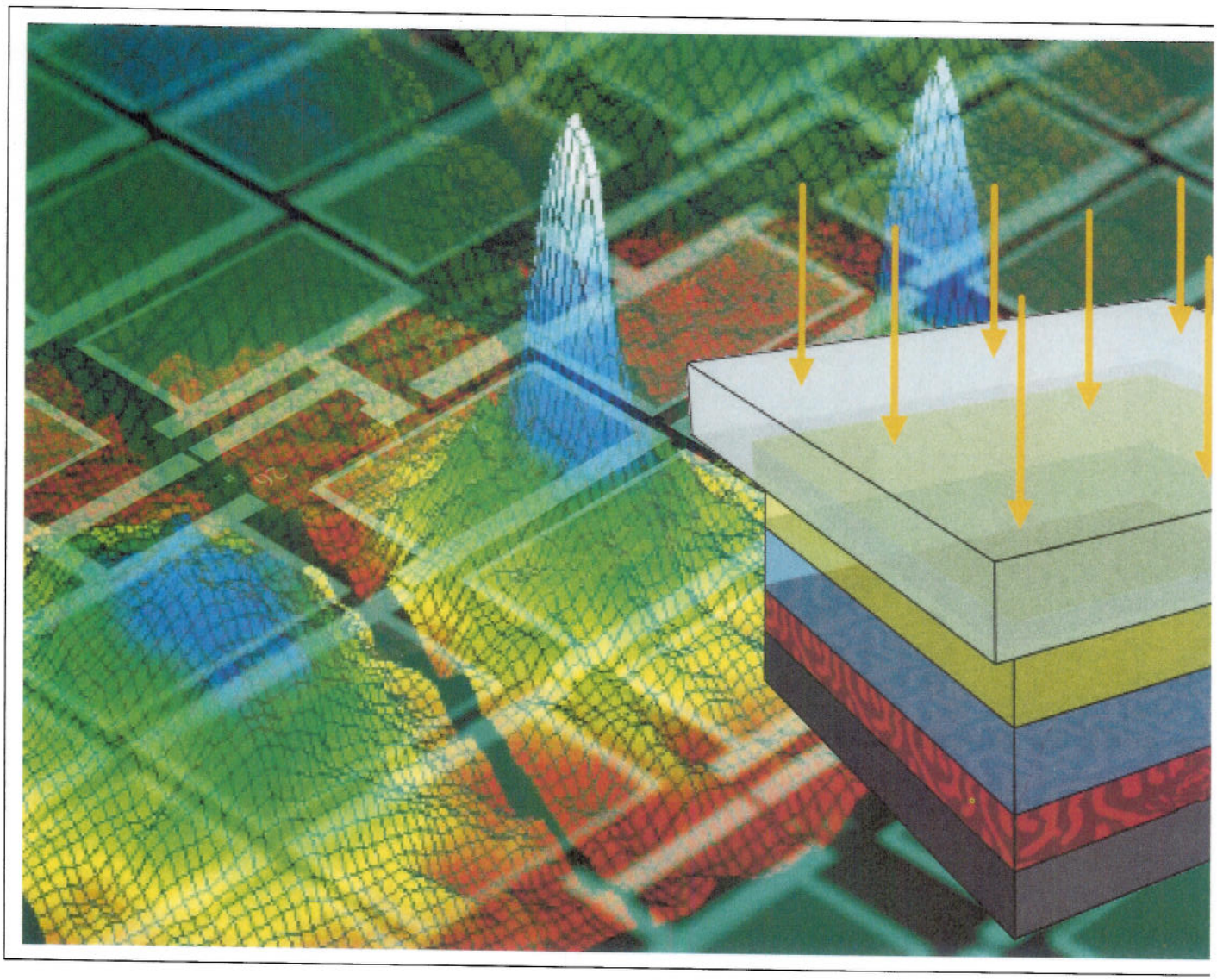
BULLETIN

electrosuisse

SEV Verband für Elektro-, Energie- und Informationstechnik – SEV Association pour l'électrotechnique, les technologies de l'énergie et de l'information

VSE AES

Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen
Association des entreprises électriques suisses



Informationstechnik
Techniques de l'information

5 · 2009
8. Mai/8 mai

Fr. 12.–
€ 8,50

table des matières

Impressum

Bulletin SEV/VSE – Bulletin SEV/AES
100. Jahrgang, ISSN 1660–6728

Herausgeber/Editeurs
Electrosuisse und Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen (VSE)/Electrosuisse et Association des entreprises électriques suisses (AES)

Verlag/Editions
Dr. *Christian Keller,* Leitung/Direction, Tel. 044 956 11 59; christian.keller@electrosuisse.ch;
Anita Serafini, Assistenz/Assistance, Tel. 044 956 11 57
Electrosuisse, Luppmenstrasse 1, 8320 Fehraltorf
www.bulletin-sev-vse.ch

Redaktion/rédaction Electrosuisse
Informations-, Kommunikations-, Energie- und Umwelttechnik/Techniques de l'information, de la communication, de l'énergie et de l'environnement
Christian Keller (CKe), Dr. phil., dipl. El.-Ing. ETH, Chefredaktor/rédacteur en chef, Tel. 044 956 11 59;
Guido Santner (gus), dipl. El.-Ing. ETH, Redaktor/rédacteur, Tel. 044 956 11 67;
Heinz Mostosi (hm), Produktion, Reportagen/Production, reportages, Tel. 044 956 11 58;
Petra Winterhalter (Wp), Korrektorat/Correction, Tel. 044 956 11 56.
Freie Mitarbeit: *June von Bonin (jvb),* dipl. Inform. (UZH), *Paul Batt (pb).*
Luppmenstrasse 1, 8320 Fehraltorf, bulletin@electrosuisse.ch

Redaktion/rédaction VSE/AES
Elektrizitätswirtschaft, Energiepolitik/Economie électrique, politique énergétique
Stephanie Berger (bs), Mag. phil. MA, Chefredaktorin/Rédactrice en chef, Tel. 062 825 25 28, stephanie.berger@strom.ch;
Nicolas Geinoz (ng), lic. rer. soc., Redaktor/Rédacteur, Tel. 021 310 30 30
Hintere Bahnhofstrasse 10, 5001 Aarau

Anzeigenverkauf/Vente des annonces
Bulletin SEV/VSE, Förrlibuckstrasse 70, Jiri Touzimsky, Postfach 3374, 8021 Zürich, Tel. 043 444 51 08, Fax 043 444 51 01, bulletin@fachmedien.ch
Auflage/Tirage (WEMF 2008/REMP 2008):
Postbestätigung/Confirmation des tirages à la poste 6631
davon Mitgliederabos/dont abonnements membres 5885
davon bezahlte Abos/dont abonnements payés 373
davon Gratisexemplare/dont exemplaires gratuits 373

Adressänderungen und Bestellungen/Changements d'adresse et commandes
Hilda Lutz, Electrosuisse, MD, Luppmenstrasse 1, 8320 Fehraltorf, Tel. 044 956 11 21, Fax 044 956 11 22, verband@electrosuisse.ch
Preise/Prix: Abonnement CHF 205.–/€ 147.– (Ausland: zuzüglich Porto/Etranger: plus frais de port); Einzelnummer CHF 12.–/€ 8,50 zuzüglich Porto/Prix au numéro CHF 12.–/€ 8,50 plus frais de port
Das Abonnement ist in den Mitgliedschaften von Electrosuisse und VSE enthalten./L'abonnement est compris à l'affiliation d'Electrosuisse et de l'AES.

Druck/Impression
Druckerei Flawil AG, Burgauerstrasse 50, 9230 Flawil
Erscheinungsweise/Parution: monatlich/mensuelle
Nachdruck/Reproduction: Nur mit Zustimmung der Redaktion/Interdite sans accord préalable
Gedruckt auf chlorfrei gebleichtem Papier/Impression sur papier blanchi sans chlore

TuneInNet könnte den Datentransfer im Internet vereinfachen

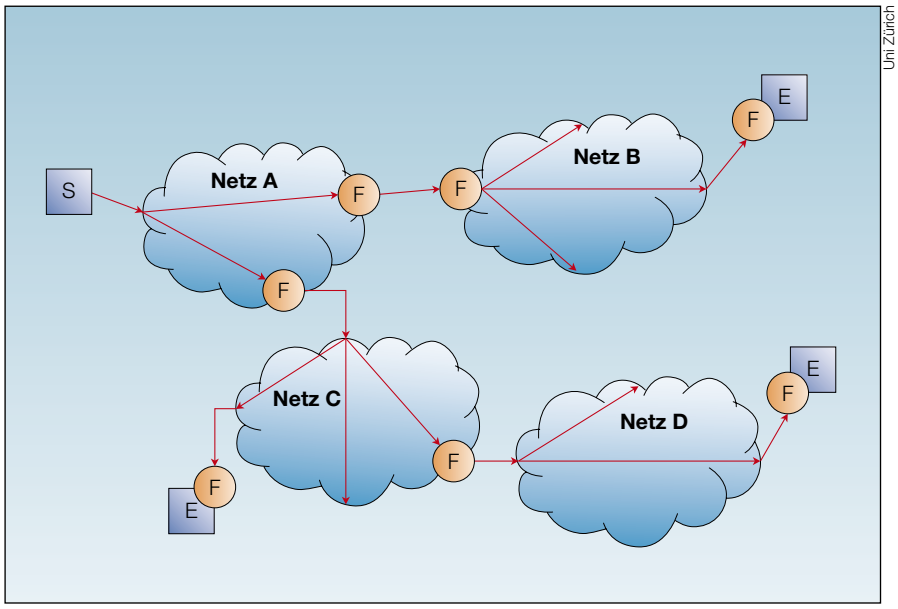
Gesendet werden die Daten an alle, der Empfänger selektiert

Die verschiedenen Dienste im Internet auf der Basis von IP (Internetprotokoll) erreichen heute eine Vielfalt, die den Aufwand für den Datentransfer stark anwachsen lässt. TuneInNet ist eine Idee, diesen Aufwand im Netzwerk drastisch zu vereinfachen. Sie basiert auf der Annahme, dass die verfügbaren Bandbreiten im Backbone deutlich stärker wachsen als der hypothetisch aggregierte Bedarf an allen Endpunkten eines Netzes zusammen.

Burkhard Stiller

Das ursprüngliche Internet auf der Basis von IP der 70er-Jahre war als wissenschaftliches Netzwerk von Universitäten geplant und gebaut worden. Erst die Kommerzialisierung zu Beginn der 90er-Jahre – unter anderem getrieben durch das World Wide Web (WWW) im Jahr 1990 – hat das Internet zu einem allumfassenden Medium für den Datentransport gemacht. Dieses muss im neuen Jahrtausend dann auch sehr verschiedenen Anforderungen diverser multimedialer Applikationen und anderer Geschäftsanwendungen standhalten.

Als technische Grundlage dieses Datenaustauschs ist es essenziell, dass die im Internet als Datengramme bezeichneten Daten – im Folgenden der Einfachheit halber «Pakete» genannt – den Weg vom Sender zum Empfänger finden. Wobei Sender wie auch Empfänger je ein Endpunkt im Netz darstellen. Da das Internet als robustes und ausfallsicheres Netzwerk konzipiert wurde, sind die einzelnen Router im Netz autonom darum besorgt, die den Paketen inhärenten Ziel- und Absenderadressen zu analysieren und anhand dieser Angaben den Weg vom Sender zum Empfänger zu finden. Dies geschieht heute typischerweise nur auf der Grundlage möglicher Wege, aber keiner weiterer Parameter, wie zum Beispiel der verfügbaren Bandbeite oder gar der erreichbaren Verzögerungszeiten. Damit sind die Aufgaben der Router im Kern des wissenschaftlichen Problems auf die Wegewahl (Routing) und die Weiterleitung (Forwarding) beschränkt – natürlich neben den im produktiven Betrieb notwendigen Überwachungs- und Kontrollaufgaben.



Uni Zürich

Bild 1 Funktionsweise des senderbasierten Flutens von Daten in Kommunikationsnetzen mit der Möglichkeit einer hierarchischen Filterung, basierend auf Download Clearing Codes (DCCs).

Die Idee: TuneInNet

An dieser Stelle setzt TuneInNet an und schlägt einen einfacheren Mechanismus zum Datenaustausch in einem zukünftigen Internet vor: Die Pakete werden nicht mehr anhand der Wegewahlfunktion der Router dezidiert durch das Netz geleitet, sondern im Netzwerk breit verteilt (Bild 1). Dies macht die direkte Wegewahl überflüssig. Der Ansatz ähnelt dem «Wasserfluss auf offenem Gelände» oder dem «Directed Diffusion»-Ansatz. In gewisser Weise kann diese Verteilung (eben die Weiterleitung) der Pakete als ein Fluten angesehen werden, da jeder Knoten im Netz die Pakete erhält.

Diese Pakete beinhalten nur wenige, verschlüsselte Zusatzinformationen (Etikette), die nur vom Empfänger korrekt interpretiert werden können – und nicht von anderen Knoten. Ferner werden Weiterleitungsentscheidungen in Netzknoten im Zusammenspiel mit Regeln (Policies) angewendet, um den Verkehr klein bzw. domänenspezifisch lokalisiert zu halten. Jedes Paket kann somit vom Empfänger an einem beliebigen Ort aus dem Netz herausgezogen werden, was ferner den Vorteil hat, dass der Mobilität der Benutzer keine Grenzen gesetzt sind und keine besonderen Protokolle für mobile Dienste notwendig sind. Um dies zu erreichen, können Pakete in Caches zwischengespeichert werden, wofür eine implizite Adressierung zwischen zwei vertrauenswürdigen Kommunikationspartnern notwendig ist. Daher verhindert dieser Ansatz auch traditionelle Denial-of-Service-(DoS)-Attacken, da der Empfänger aktiv auf ein

Paket zugreifen muss. Weitere Sicherheitsanforderungen, beispielsweise die Vertraulichkeit, können integral in TuneInNet erreicht werden, wenn die gesamten Paketinhalte – neben der obligatorischen Zusatzinformation – verschlüsselt werden. Dieses hat nur einen Zusatzaufwand zur Berechnung der Verschlüsselung in den beteiligten Endpunkten zur Folge.

Um grundsätzlich sicherzustellen, dass tatsächlich kein falscher Empfänger die Daten empfängt, müssen die Pakete in TuneInNet etikettiert werden. Diese Etiketten sind die verschlüsselten Zusatzinformationen (Download Clearing Code), die im Allgemeinen bei Kommunikationsprotokollen als Kontrollinformation bezeichnet werden und den Ziel- und Quelladressen zugeordnet sind. Als Grundlage dieser Verschlüsselungen und der sie ausführenden Algorithmen wird eine Schlüsselverwaltungsinfrastruktur (PKI, Public Key Infrastructure) [6] verwendet.

Natürlich ist bei TuneInNet und den soeben skizzierten Vorzügen auch ein Nachteil zu finden, der je nach Situation einmal stärker und einmal schwächer gewichtet werden kann. Die Datenvolumina werden im Netz steigen – speziell in einer aggregierten Form über das gesamte Netz und die Endpunkte hinweg betrachtet. Dieser Nachteil stellt jedoch in Zukunft kein unlösbares Problem dar, da (a) eine begründete Annahme der ständig wachsenden Backbone-Kapazität zukünftiger Netzwerke im Internet besteht [5] und (b) TuneInNet Massnahmen vorsieht, die Pakete in einem Netzknoten zwischen gekoppelten Netzwerken zu filtern. Die Konfiguration dieser Filter erlaubt es, ein unnötiges Weiterleiten zwischen zwei Netzdomänen zu vermeiden, oder schränkt dieses explizit ein. In einem solchen Fall können beide Netzwerkanbieter angepasste Filterregeln lokal aus ihrer Sicht heraus etablieren, was dem möglicherweise fehlenden Vertrauen zwischen den Providern untereinander Rechnung trägt.

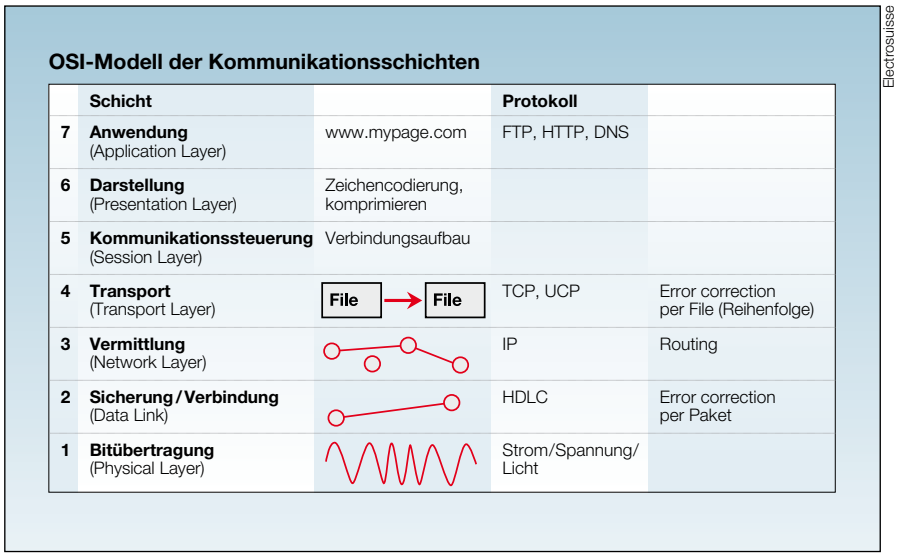


Bild 2 OSI-Schichtenmodell.

Architektur

TuneInNet verändert somit auch die zugrundeliegende Architektur der Netzwerke positiv – sei es das Department-of-Defence-Model des Internets oder das ISO/OSI-Basisreferenzmodell (Bild 2). Diese Veränderung ist als Vereinfachung erkennbar, da einige der bis anhin bekannten Schichten aufgelöst und fast ersatzlos gestrichen werden können. Während im heutigen Netzwerk ebenso wie in einem TuneInNet die Schicht 1 für die Übertragung über das physikalische Medium verantwortlich (drahtgebunden oder drahtlos) und die Schicht 2a für den Netzwerkzugang und deren Verteilung zuständig ist, braucht es für TuneInNet keine Schichten 2b bis 3 mehr. Die Netzwerktopologie besteht einzig aus Endpunkten und Netzknoten, wobei Letztere als Non-Forwarding Engines (NFE) bezeichnet werden, die die oben erwähnte Filterfunktion zwischen den traditionellen Subnetzen oder zwischen administrativen Domänen übernehmen.

Diese NFEs ersetzen die heutigen Router vollständig und fungieren damit als «brückenartige» Firewall, da neben dem Filterungsvorgang – basierend auf den Zusatzinformationen sowie den Adressen – nur noch bei Auswertung der vorliegenden Filterregeln eine einfache Paketweiterleitung oder eben keine Weiterleitung ermittelt wird. Diese Auswertungen erleichtern damit in der Folge die Aufgaben des Netzwerkmanagements [2], da einfachere Informationsmodelle, keine Routingtabellen und -protokolle sowie eine reduzierte Anzahl von Schichten erreicht werden.

Weiterleitungs- und Filtermechanismus

Alle Endpunkte sind innerhalb einer Domäne angesiedelt, die selber über mindestens einen NFE an das weltweite Netz angeschlossen sind. Die Endpunkte generieren dann beispielsweise einen Paketstrom wie bis anhin auch. Zu jedem dieser Pakete wird die Empfängerindividualisierung mindestens in Form des Download Clearing Codes hinzugestellt, und dann wird beides in konkatenierter Form in das Netz versandt.[1)] Der erste NFE empfängt dieses Paket und entscheidet, ob das Paket an alle oder nur einige weitere interkonnektierte NFEs weitergeleitet wird, jeweils auf der Basis der vorab definierten Filterregeln (Policies) des Anbieters. Diese Entscheidungen werden an jedem weiteren NFE für jedes Paket in gleicher Form wiederholt, jeweils aufgrund der lokal vorliegenden Regeln.

Der Look-up-Mechanismus des Endpunktes erlaubt dann einem beliebigen Empfänger, die Pakete, die für ihn vorgesehen sind (anhand des im Paket enthaltenen Download Clearing Codes eindeutig erkennbar), aufzunehmen – entweder im laufenden Verkehr oder aber aus einem Cache, falls der Empfänger gerade beim Vorbeiziehen des Pakets nicht aktiv gewesen sein sollte. Dieser Look-up-Mechanismus ist somit als eine am Empfänger angewendete Filterregel anzusehen.

Nach dem gleichen Prinzip können NFEs diverse weitere Filterregeln anwenden, um das vollständige Fluten von Domänen oder von deren Teilbereichen einzuschränken bzw. gänzlich zu unterbinden. Dieses wird technologisch auf Basis von heute bekannten Policy-basierten Netzwerk-Management-Methoden und -Systemen geschehen. Hierbei können ferner die Filterregeln für alle NFEs einer Domäne identisch, topologiespezifisch oder gemäss vorliegender Interkonnektionsvereinbarungen und benötigter Anbietervorgaben individuell konfiguriert werden.

In Bezug auf eine Anwendung von TuneInNet und seinen Mechanismen ist anzuführen, dass es in einer Migration eingesetzt werden kann, da es Teildomänen geben wird, die voneinander unabhängig, aber parallel laufend traditionell oder TuneInNet-basiert arbeiten können. NFE-zu-Router-Gateways sorgen dann für ein ein-

faches Ab- oder Überstreifen der Etiketten, welches im Kern einem MPLS-Border-Router (Multi-Protocol Label Switching) ähnelt, der MPLS-Label für den Transport von IP-Daten hinzufügt bzw. abstreift.

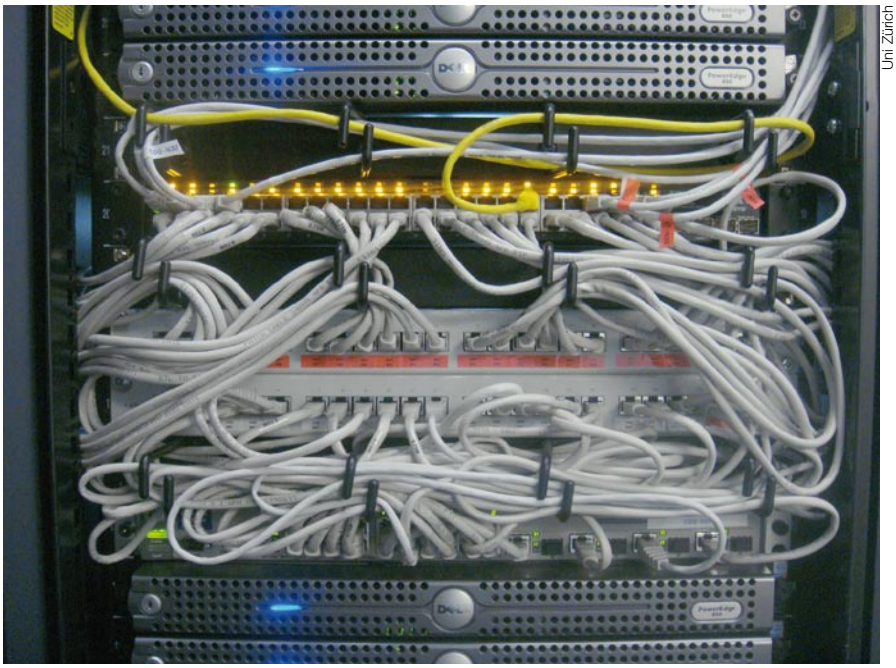
Annahmen

TuneInNet ist aufgrund der obigen Beschreibung algorithmisch und protokolltechnisch realisierbar, da die notwendige Architektur, die angepassten Protokolle und die Paketformate bekannt sind. Damit ist TuneInNet auch praktisch anwendbar, wenn vier Annahmen zutreffen, die im Folgenden diskutiert werden. Diese Diskussion zeigt im Besonderen auch, dass die Annahmen in einem überschaubaren Zeithorizont erreicht werden können.

Erste Annahme: Grosse Bandbreiten sind verfügbar, weiter wachsende Bandbreiten sind angekündigt und technologisch praktikabel. Die Bandbreiten in den Backbone-Netzen der Anbieter übersteigen um ein Vielfaches die aggregierten Kapazitäten der Endpunkte. Durch die optischen Übertragungsmedien auf Schicht 1 stehen Broadcaster und Repeater im Tbit/s-Bereich vor der Einführung. Generell unterliegen die Bandbreitenentwicklungen einer ungefähren Verdoppelung alle 9 Monate [5]. Basierend auf diesen Technologien sind ferner die Kosten für die Kanäle auf der Schicht 1 sehr günstig, während die Kosten von Routern auf Schicht 3 stetig aufgrund deren Komplexität steigen und zusätzliche, bei günstigeren Modellen potenzielle Flaschenhälse für die Paketweiterleitung darstellen können.

Zweite Annahme: In wenigen Zwischenknoten sind grosse Caches ebenso wie höhere Verarbeitungsleistungen möglich. Zwischenpuffer für Kontroll- und Steuerdaten sind im Bereich von mindestens einigen Gigabit pro Knoten verfügbar, noch wachsend und kostengünstig [4]. D.h., verbunden mit wenigen NFEs in einer Topologie gekoppelter Teilnetze, sind die Aufgaben dieser NFEs selber auch auf einfache Berechnungsaufgaben (Filter) reduziert. Weiterhin sind damit auch ausreichend hohe Verarbeitungsleistungen (CPU) – im Speziellen für die Verschlüsselungen, mindestens jedoch der Etikette – zu erreichen.

Dritte Annahme: Schlüsselverwaltungen auf der Basis einer PKI sind realisiert. Diese Art der Infrastruktur einer Sicherheitsunterstützung hat deutlich an Bedeutung und in der Anzahl existierender Installationen und deren Anwendung zugenommen [6]. Auch ist der Einsatz in anderen kommerziellen Bereichen stark, d.h., ein Synergieeffekt aus dem Einsatz mittels TuneInNet im Netzwerkbereich ist zu erwarten. Allerdings



Uni Zürich

Bild 3 Ethernet-basierte Netzwerkinfrastruktur.

müssen in dieser Situation Gruppenschlüssel ebenso verwaltbar sein, und das Vorhandensein von Gruppenadressen muss sichergestellt werden können.

Vierte Annahme: Extensive Applikationsanzahlen und Overlay-Netzwerke sind für die nahe Zukunft sicher zu erwarten. Wenn davon ausgegangen wird, dass alle der weltweit ca. 10 000 TV-Stationen und ca. 100 000 Radiostationen kontinuierlich das Netzwerk mit ihren Datenströmen füllen, dann ist mit einem grossen Datenvolumen zu rechnen. Zusätzlich ist der Verkehr aus Overlay-Netzwerken signifikant und im Steigen begriffen [1]. Dieses steigende Volumen wird aber ungleich weniger dramatische Auswirkungen in einem TuneInNet haben, da die Empfänger sich einfach in die weitergeleiteten Paketflüsse einklinken können und Multicast-Eigenschaften vorhanden sein werden. Hier ergeben sich für Sender wie auch Empfänger sowie Netzwerkanbieter ökonomisch positive Anreize [7].

Simulation des Netzes

Auf der Basis dieser technischen Grundlagen für TuneInNet ist ein kleines Simulationsmodell untersucht worden, welches die Validierung der Konsequenzen dieses Ansatzes auf der Basis obiger Annahmen in einem Worst-Case-Szenario – also einer Abschätzung einer oberen Schranke für den Gesamtaufwand – erlaubt.

Die Verwendung eines Topologiegenerators scheint wegen der vielfältigen Netzwerktopologien in heutigen Netzen angebracht, um keine «vorbelastete» Topologie zu verwenden. Ferner können die Anzahl der Transitdomänen, die den Backbone definieren, ebenso wie die mittlere Anzahl von Zugriffsnetzwerken und die mittlere Anzahl von Endpunkten in diesen parametrisiert werden. Die Verkehrsflussdaten wurden (a) in einem konventionellen Routing-Modus sowie (b) mittels eines einfachen Tune-in-Net-Modus behandelt. Schliesslich sind die Paketgrösse, die Ankunftsraten auf der Basis einer Zipf-Verteilung und die Senderate pro Endpunkt in dieser Topologie parametrisierbar.

Für eine zufällig generierte Topologie mit 3 Transitdomänen, einer mittleren Anzahl von 3 Hops in jeder von dieser und einer mittleren Anzahl von 6 Zugriffsnetzen je Transitdomäne wurden im Mittel 7 Endpunkte je Zugriffsnetz generiert. Dieses resultierte in einem Gesamtnetz mit 645 Knoten. Auf diese Topologie wurden 150 Byte grosse Pakete in einer zufälligen Gleichverteilung pro Knoten und pro Sekunde aufgeprägt.

Nach einer Simulationszeit von 60 s wurde das Resultat im Fall (a) des traditionellen Routings mit (b), dem Resultat des einfachsten TuneInNet-basierten Verfahrens (Fluten ohne Beschränkungen), verglichen. In beiden Fällen sind 38 634 Look-ups (also Lesevorgänge der Empfänger) durchgeführt worden, von welchen in (a) 37 901 Look-ups (98%) und in (b) 38 352 Look-ups (99%) erfolgreich waren. Diese Zahlen zeigen, dass beide Verfahren – Routing und NFE-

Paketweiterleitung – in Bezug auf die Zuverlässigkeit des Erreichens des Empfängers vergleichbar sind. Wie erwartet, sieht es hingegen in Bezug auf die ausgetauschten Daten anders aus. Während im Fall von (a) 301 404 Pakete verschickt wurden (oder $45 \cdot 10^6$ Byte), sind es im Falle von (b) 58 988 526 Pakete oder $8{,}8 \cdot 10^9$ Byte, jeweils in dem über das gesamte Netzwerk hinweg aggregierten Volumen.

Damit benötigt TuneInNet in diesem einfachen, aber den Worst Case beschreibenden Umfeld ca. den 100-fachen Bandbreitenbedarf, wobei in diesem Fall keinerlei NFEs mit Filtern eingesetzt worden sind, die das Datenvolumen deutlich reduzieren würden – natürlich abhängig von den expliziten Kommunikationsbeziehungen im Netz. Dennoch liegt dieses Resultat keinesfalls um Grössenordnungen neben den initial erwartbaren Ergebnissen! Eben aufgrund der oben erwähnten Annahme, dass sich die Bandbreite im Backbone alle 9 Monate verdoppelt, wird in gut 5 Jahren der Faktor von 100 erreicht sein. Ferner hat die Einführung von WDM (Wavelength Division Multiplexing) gezeigt, dass mit einem einzigen Technologieschritt auf einem Lichtwellenleiter die 100-fache Kapazität erzielt werden kann. Damit ist das Risiko in Bezug auf nicht bearbeitbar grosse Datenvolumina in Backbone-Netzen klein. Ferner sind von den heute gut 40 000 registrierten Autonomous Systems (AS) [3] nur wenige reine Transitdomänen, d.h., dass die Verwendung eines einfachen Time-to-Live-(TTL)-Feldes in den Zusatzinformationen der Pakete und deren Testen an Domänengrenzen durch die NFEs möglicherweise zirkulierende Pakete abfangen kann. Dieses führt zu einer Reduktion des aggregierten Verkehrs, was in den oben skizzierten Ergebnissen ebenfalls noch nicht einbezogen wurde.

Zusätzlich ist ein Vergleich der Routingkosten zwischen traditionellen Netzen und einem TuneInNet angebracht: Während heute ein Backbone-Router-Port zwischen 25 000 und 180 000 CHF kostet, werden je nach Grösse des Netzes davon Dutzende bis viele Hundert benötigt – zusätzlich zu den Betriebs- und Wartungskosten. Für TuneInNet fallen mindestens diese Portkosten vollständig weg.

Schliesslich ist es angebracht, auf die zu erwartenden Verzögerungszeiten im Ende-zu-Ende-Fall zu achten, die neben den Laufzeiten an sich unter anderem durch die Verschlüsselung auftreten können. Diese Zeiten sind in traditionellen Netzen natürlich vom Routingverfahren unabhängig, da die Routingtabellen vorab bzw. dynamisch erstellt werden (den Fehlerfall einmal ausser Acht lassend). Der Zeitbedarf für die reinen Weiterleitungen eines sehr guten Backbone-Routers liegen bei ca. 10 ns je Paket, die in einem NFE auf der Schicht 1 auch erreicht werden. Da die Schicht 3 nicht mehr im Protokollturm enthalten sein muss, bleibt zum Ver- und Entschlüsseln genügend Zeit. Damit stellt ein TuneInNet-Knoten keinen Engpass in dieser Situation dar.

Schlussfolgerungen

Die Bedeutung des Datentransfers im Internet hat in der Gesellschaft heute eine derart grosse Bedeutung erlangt, wie es das Wasser für Pflanzen hat: Ohne das Internet kann die Wirtschaft faktisch nicht mehr überleben. Dieses heisst im Umkehrschluss, dass die Robustheit, die Sicherheit, die Dienstgüte (QoS) und die Fehlertoleranz eines zukünftigen Netzes ebenso behutsam wie deutlich verbessert werden müssen, wie ein Anwender die Optimierung der reinen Nutzdatenübertragung erwartet. Wenn im gleichen Zug einer Evolution – oder einer Weiterentwicklung mit revolutionären Zügen – auch die Komplexität der netzwerkinhärenten Netzknoten verkleinert werden kann bzw. ganz wegfällt, wie im TuneInNet-Ansatz vorgeschlagen, dann gewinnen die Benutzer durch verbesserte Dienstleistungen (zumindest in Form einer kostengünstigeren Alternative) und die Netzwerkdienstanbieter durch reduzierte Betriebskosten sowie reduzierten Wartungsaufwand. Damit ist TuneInNet auch technologisch effizienter als heutige Wegewahlverfahren in und für IP, einfach anwendbar, migrierbar und ökonomisch effizienter durch eben diesen vereinfachenden Technologieeinsatz.

Natürlich ist es noch ein weiter Weg, bis ein Internet der Zukunft in dieser Form vom TuneInNet-Ansatz im Grossen realisiert werden wird, aber die ersten Simulationen des Worst Case und deren Untersuchungen zeigen plausibel, dass dem Ansatz technisch keine expliziten Hinderungsgründe im Wege stehen. Die zu erwartenden Einsparungen an Aufwand und Kosten bieten ein auszuschöpfendes Potenzial für Optimierungen, während gleichzeitig sowohl gewohnte Dienste unverändert angeboten als auch neue Dienste einfacher und mit besseren Kennzahlen in das Portfolio der Anbieter aufgenommen werden können.

Referenzen

[1] Cisco Systems: Cisco Visual Networking Index – Forecast and Methodology, 2007–2012, June 2008.

[2] Emanics (European Network of Excellence for the Management of Internet Technologies and Complex Services), EU Projekt Nr. FP6-2004-IST-026854; http://www.emanics.org, März 2009.

[3] G. Huston: Exploring Autonomous System Numbers, The Internet Protocol Journal, Vol. 9, Nr. 1, März 2006.

[4] G. E. Moore: Cramming More Components onto Integrated Circuits, Electronics, Vol. 38, Nr. 8, April 1965.

[5] J. Nielsen: Nielsen's Law of Internet Bandwidth; http://www.useit.com/alertbox/980405.html, April 1998.

[6] Schweizerische Akkreditierungsstelle (SAS): Public Key Infrastructure (PKI); http://www.seco.admin.ch/sas/00229/00251/index.html?lang=de, September 2008.

[7] SmoothIT (Simple Economic Management Approaches of Overlay Traffic in Heterogeneous Internet Topologies), EU Projekt Nr. FP7-2008-ICT-216259; http://www.smoothit.org, März 2009.

Angaben zum Autor

Prof. Dr. *Burkhard Stiller* ist seit September 2004 an der Universität Zürich in der Lehre und Forschung über Kommunikationssysteme, ihre Technologien und ihre ökonomischen Eigenschaften sowie Perspektiven tätig. Sein wissenschaftlicher Hintergrund liegt in der Informatik und die früheren Orte seiner Tätigkeiten umfassten die Universität Karlsruhe, die University of Cambridge, U.K., die ETH Zürich und die Universität der Bundeswehr München. Der Ansatz TuneInNet entstand aus gemeinsamen Überlegungen und Arbeiten mit den Professoren Georg Carle, jetzt Technische Universität München, Jochen Schiller, Freie Universität Berlin, und Andreas Schrader, Universität Lübeck. Der Autor dankt auch den FP7-EU-Projekten Smooth-IT sowie Emanics für die Unterstützung.

Universität Zürich, Institut für Informatik, 8050 Zürich, stiller@ifi.uzh.ch

[1] Konkateniert bedeutet hier, dass die Informationen an der richtigen Stelle an das Paket angehängt werden.

Résumé

TuneInNet pourrait simplifier le transfert de données sur internet

Les données sont envoyées à tous, le destinataire fait la sélection. Les différents services à base IP (internet protocol) sur internet ont maintenant atteint une telle variété que l'effort de transfert de données augmente considérablement. TuneInNet est une idée destinée à simplifier radicalement le travail nécessaire sur le réseau. L'idée est basée sur l'hypothèse que les bandes passantes disponibles augmentent beaucoup plus fortement sur le réseau de base que le besoin hypothétiquement accumulé aux points terminaux d'un réseau.