

Internet Innovation durch Netzwerkvirtualisierung

WIE DAS INTERNET FÜR DIE ANFORDERUNGEN

DER NÄCHSTEN JAHRZEHNTE FIT GEMACHT WERDEN KANN

Vor rund 40 Jahren entstand das Internet als ein weltumspannendes Kommunikationsnetzwerk. Durch die Weiterentwicklung zu einem Massenmedium ist das Netz gewachsen und wegen seiner immensen Größe schlecht zu modernisieren. Das Institut für Kommunikationstechnik (IKT) erforscht die Virtualisierung der Netzinfrastruktur als einen vielversprechenden Ansatz, um das Internet für die kommenden Jahre weiterzuentwickeln.

Im vergangenen Jahrzehnt ist das Internet mit seinen zahlreichen Anwendungen, wie WWW, E-Mail, Peer-to-Peer, Voice over IP oder Video Streaming zu einem unersetzlichen Bestandteil unseres Alltags geworden. Auch wenn die Verwendung des Internets als Massenmedium vergleichsweise jung ist, so ist die zugrundeliegende Architektur jedoch bereits rund 40 Jahre alt. Ende der 60er Jahre startete das Internet als Projekt der amerikanischen Forschungseinrichtung DARPA. Ziel war es, ein robustes, weltumspannendes Kommunikationsnetzwerk zu konzipieren, welches auch bei Ausfällen, beispielsweise durch einen nuklearen Erstschlag, die Kommunikation zwischen den einzelnen Netzteilnehmern sicherstellt. Von dieser Anforderung geleitet, wurde die dezentrale Architektur des ARPANets entwickelt, die den Grundstein für das heutige Internet legte.

Die wesentlichen Kommunikationsprotokolle des Internets sind seit dieser Zeit nicht mehr grundlegend verändert worden. Zunächst konnten auftretende Mängel punktuell durch Änderungen oder Erweiterungen ausgebessert werden. Heute ist dieses Stückwerk aufgrund der immensen Größe des Netzwerks und der Vielfalt und der Verzahnung der Dienste jedoch zu einem Problem geworden. Eine grundlegende Moderni-

sierung des Netzwerks zur Sicherstellung aktueller und zukünftiger Anforderungen ist eine der größten Herausforderungen für die kommenden Jahre. Das Institut für Kommunikationstechnik (IKT) erforscht die Virtualisierung der Netzinfrastruktur als einen vielversprechenden Ansatz, um das Internet auf die Anforderungen der nächsten Jahrzehnte vorzubereiten.

Revolutionäre Grundidee

Die Grundidee des Internets, die paketvermittelte Datenübertragung, war gleichzeitig einfach und revolutionär. In traditionellen Telekommunikationsnetzen wurden zu der Zeit zur Sprach- und Datenkommunikation Leitungen geschaltet, das heißt eine Verbindung zwischen Sender und Empfänger wurde durch Verkettung von Leitungsabschnitten durch mehrere Vermittlungsstellen aufgebaut. Dabei wurde die Leitung für die Dauer der Übertragung, zum Beispiel für ein Telefongespräch, dediziert den beiden Gesprächspartnern zugewiesen und die Übertragungsressourcen wurden für sie reserviert. In der Datenkommunikation, die sich im Vergleich zur Telefonie nicht durch einen gleichförmigen, konstanten Datenstrom auszeichnet, werden derart reservierte Verbindungen jedoch nicht optimal verwendet. Eine spora-

disch sendende Datenquelle nutzt die verfügbare Übertragungskapazität einer Leitung nur gelegentlich aus. In der Zwischenzeit bleiben die reservierten Ressourcen ungenutzt und sind effektiv verschwendet.

Bei der Paketvermittlung hingegen werden die Daten in sogenannte Datenpakete aufgeteilt. Jedes Paket enthält, zusätzlich zu den Daten, eine Sender- und eine Empfängeradresse. Die Leitungen, die das Netzwerk aufspannen, sind an Knotenpunkten, den sogenannten Routern, miteinander verbunden. Deren Aufgabe ist es, die Datenpakete auf dem kürzesten Weg zum Empfänger zu leiten. Dabei müssen die einzelnen Router nicht den gesamten Pfad vom Sender zum Empfänger kennen, sondern leiten Pakete immer nur an denjenigen Nachbarrouter weiter, der dem Empfänger am nächsten ist. Die Leitung zum Nachbarrouter wird zu diesem Zweck nicht reserviert, sondern nur für die Dauer der Paketübertragung verwendet. Dadurch steht die Leitung in der Zwischenzeit für andere Nutzer zur Verfügung. Dies führt zu einer wesentlich effizienteren Nutzung der Netzwerkinfrastruktur, die der Hauptgrund für heutige, preiswerte Internetangebote ist. Zudem ist die Netzwerkarchitektur äußerst robust: Sollte ein Router ausfallen, werden seine Nachbarn

die Pakete über einen anderen Router umleiten. Sollte ein Paket verloren gehen, wird es erneut versendet.

Unerwarteter Erfolg und Stagnation

Zunächst wurde das Netzwerk für militärische Zwecke entwickelt. Doch die Vorteile des neuartigen Netzwerks wurden schnell offensichtlich: Skalierbarkeit, Ausfallsicherheit, ge-

Die technische Entwicklung der Kommunikationsprotokolle konnte mit dem rasanten Wachstum des Internets hingegen kaum Schritt halten. In den vergangenen Jahrzehnten war es immer wieder notwendig, Erweiterungen zu entwickeln, um gewisse Schwächen der Internetarchitektur, wie zum Beispiel fehlende Sicherheitsmechanismen oder die Adressknappheit, auszugleichen. Beispielsweise ist das heute verwendete IPv4 Proto-

tion des NCP Protokolls statt. Heute wäre ein derartiger Eingriff, wie Ausschalten, Neuinstallation und Wiedereinschalten des Internets undenkbar, da er unvorhersehbare Auswirkungen auf die Weltwirtschaft hätte. Das Internet steckt somit aufgrund seiner erfolgsbedingten Größe in einer technischen Sackgasse. Beispielhaft für diese Problematik ist die Einführung des IPv6 Protokolls, welches die Zahl der verfügbaren Internet-

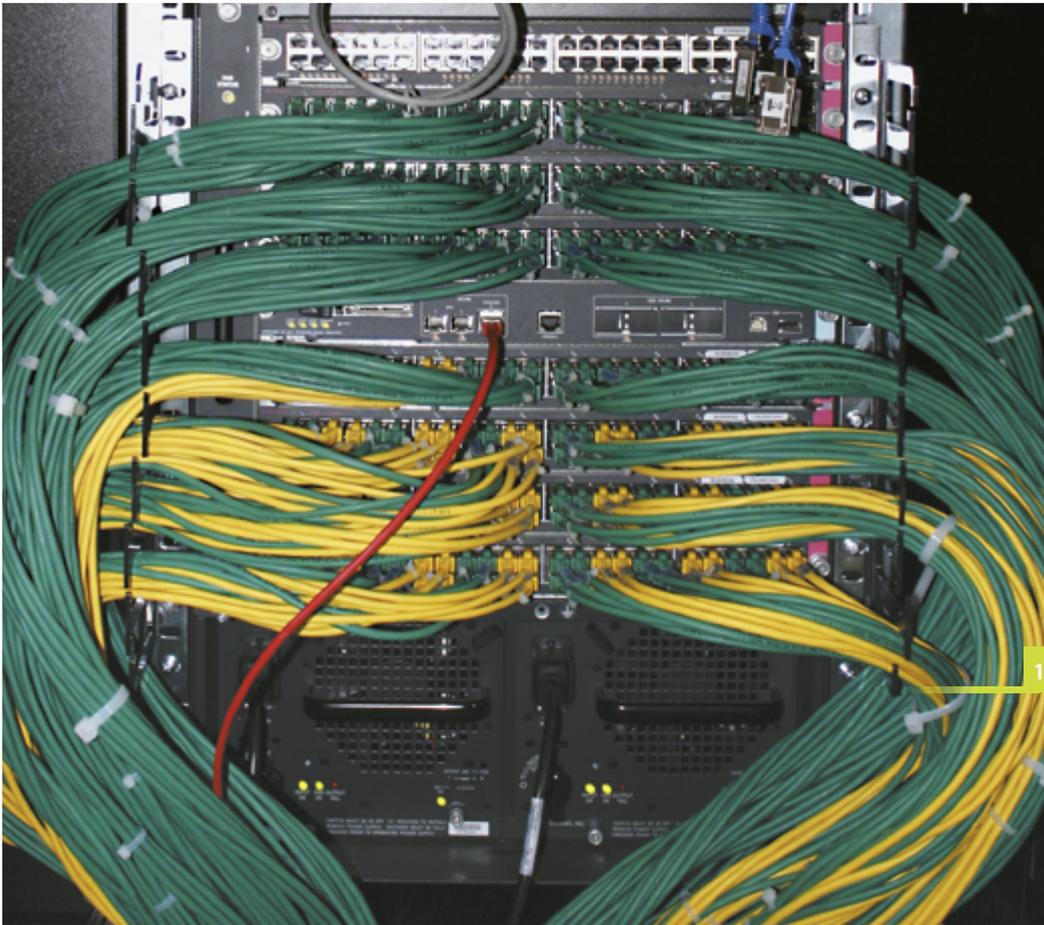


Abbildung 1
Das Future Internet Lab am IKT: Rund 80 Netzwerkknoten stehen zur freien Programmierung zur Verfügung. Mit Leitungsgeschwindigkeiten von bis zu 10 Gb/s werden virtuelle Netzwerke unter realistischen Bedingungen getestet.

ringe Kosten. Der Siegeszug des kommerziellen Internets begann. Heute, mehr als 40 Jahre später, stehen unzählige Dienste, auch solche, für die das Netzwerk nicht konzipiert wurde, von E-Mail und WWW, über Audio- und Videostreaming, bis hin zu Industrie- und Finanzanwendungen, über das Internet zu Verfügung.

koll bei weitem nicht ausreichend, um jeder Person auf der Welt eine Internetadresse zuzuweisen. Durch die immense Größe des Internets ist es jedoch nahezu unmöglich, die Architektur grundlegend zu verändern, da dies in einer global koordinierten Maßnahme erfolgen müsste. Letztendlich fand eine solche Aktion am 1. Januar 1981 bei der Abschalt-

adressen deutlich erhöhen würde. Obwohl das neue Protokoll seit über zehn Jahren verfügbar ist, ist es noch immer nicht weltweit einsetzbar.

Virtualisierung als Lösungsweg

Virtualisierung stellt einen vielversprechenden Ansatz dar, um die Internetarchitektur flexibler zu gestalten und wieder mehr Innovation in der Kommunikationsinfrastruktur zu ermöglichen. Unter Virtualisierung wird die Möglichkeit

alisierung zu gestalten ist und welche neuen Dienste und Geschäftsmodelle durch die größere Flexibilität ermöglicht werden. Beispielsweise können Kunden virtuelle Teile eines physikalischen Netzwerks mieten, um darauf auf spezielle Dienste zugeschnittene, virtuelle Netze, wie zum Beispiel für Telepräsenzsysteme,

Im Rahmen des Forschungsprojektes VirtuRAMA entwickelt das IKT eine Architektur für virtuelle Router, die es erlaubt, Virtualisierung transparent in bestehende Netze zu integrieren. Transparent bedeutet hier, dass die Virtualisierungsschicht für Nutzer und Administratoren eines virtuellen Netzes verborgen,

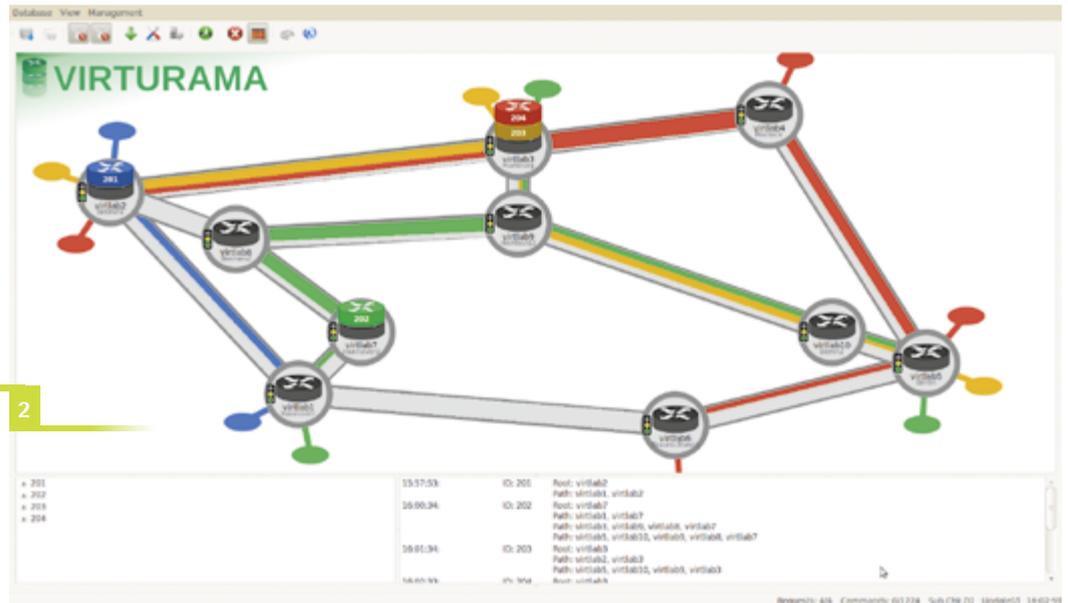


Abbildung 2 Die Managementsoftware der im VirtuRAMA Projekt entwickelten virtuellen Router ermöglicht den einfachen Aufbau und reibungslosen Betrieb von virtuellen Netzen.

verstanden, physikalische Komponenten, wie Router oder Netzwerkleitungen, in mehrere logische, das heißt virtuelle Einheiten aufzuteilen. Diese virtuellen Ressourcen können dann wie die physikalischen eingesetzt und erweitert werden. Mit Hilfe von virtualisierten Netzwerkkomponenten können in bestimmten Netzbereichen neuartige Technologien und Protokolle implementiert werden, während ein anderer Teil parallel dazu mit der bestehenden, herkömmlichen Technologie arbeitet. So kann die Architektur schrittweise modernisiert werden, da mehrere, virtuelle Netze mit unterschiedlichen Eigenschaften nebenläufig betrieben werden können.

Das IKT beschäftigt sich mit den Fragen, wie eine geeignete Architektur für die Netzvirtu-

me, Event-Live-Übertragungen oder Sicherheitsanwendungen, aufzubauen und zu vermarkten. Weiterhin können Firmen virtuelle Netzressourcen bei Bedarf buchen, um große Datenmengen kostengünstig zwischen Zweigstellen zu übertragen.

Innovationen ermöglichen

Viele Einsatzszenarien im zukünftigen Internet sind heute noch nicht vorherzusehen. Deshalb ist es wichtig, die neue Architektur so zu gestalten, dass sie möglichst leicht erweitert werden kann. Gleichzeitig muss eine möglichst hohe Kompatibilität mit der heutigen Infrastruktur gewährleistet werden, damit die Einführung der neuen Technologie nicht zusätzlich erschwert wird.

das heißt unbemerkt, bleibt. Zudem setzt die entwickelte Plattform auf offene Systeme und Standards, um eine reibungslose Zusammenarbeit zwischen Geräten unterschiedlicher Hersteller zu gewährleisten. Die Architektur kombiniert die Flexibilität von traditionellen Servern sowie die hohe Leistungsfähigkeit von dedizierten Netzwerk-Switches auf OpenFlow-Basis für die Paketverarbeitung. Im Vergleich zu herkömmlichen Routern, die nur für einen speziellen Einsatzzweck optimiert sind, hat dies den Vorteil, dass die Architektur leicht und ohne lange Entwicklungszyklen an neue Anforderungen angepasst werden kann.

Ein wesentlicher Vorteil der Virtualisierung besteht in der Möglichkeit der sogenannten Live-Migration von virtuellen



Prof. Dr.-Ing. Markus Fidler

Jahrgang 1972, ist seit 2009 als Professor für Kommunikationsnetze und derzeit als Leiter des Instituts für Kommunikationstechnik an der Leibniz Universität Hannover tätig.
Kontakt: markus.fidler@ikt.uni-hannover.de



Dipl.-Ing. Zdravko Bozakov

Jahrgang 1980, studierte Elektrotechnik und Kommunikationstechnik an der Technischen Universität Darmstadt und ist seit 2009 als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Kommunikationstechnik an der Leibniz Universität Hannover beschäftigt. Seine Forschungsschwerpunkte liegen auf dem Gebiet der Routervirtualisierung und Leistungsbewertung von Netzen.
Kontakt: zdravko.bozakov@ikt.uni-hannover.de



Dipl.-Ing. David Dietrich

Jahrgang 1977, studierte Informatik und Elektrotechnik in Bremen bzw. Kassel und ist seit 2010 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Kommunikationstechnik an der Leibniz Universität Hannover. Seine Forschungsschwerpunkte sind Netzwerk-Virtualisierung und Netzwerk-Management im Future Internet.
Kontakt: david.dietrich@ikt.uni-hannover.de

Ressourcen. Dieser Ansatz erlaubt es den Infrastrukturbetreibern virtuelle Netzwerkelemente im Betrieb zwischen unterschiedlichen physikalischen Geräten zu verschieben ohne den Netzbetrieb zu unterbrechen. Dadurch können die verfügbaren Netzwerkressourcen wesentlich effizienter an die oft schwankenden Anforderungen angepasst werden. Als weiteres Einsatzszenario ist die Steigerung der Energieeffizienz hervorzuheben. Der Energieverbrauch der Router sowie deren Klimatisierung stellen heute einen der größten Kostenfaktoren für Netzbetreiber dar. Mit Hilfe von migrierbaren virtuellen Routern können Teile eines Netzwerks bei niedriger Auslastung, zum Beispiel nachts, heruntergefahren werden, um den Energieverbrauch zu reduzieren.

Testlauf im Future Internet Lab

Die beschriebenen Szenarien erfordern Algorithmen, die virtuelle und physikalische Netzwerkressourcen effizient aufeinander abbilden. Dabei müssen, je nach Einsatzzweck, unterschiedliche Metriken optimiert werden, zum Beispiel Verzögerung bei Sprach- und Videoübertragung oder Kapazität beim Transfer von großen Datenmengen. Auch die zeitlichen Schwankungen der Anforderungen und Ressourcenzuordnung sind für den effizienten Betrieb eines Netzwerkes zu berücksichtigen. Ein wesentlicher Punkt für den prak-

tischen Einsatz der Netzwerkvirtualisierung ist zudem das Management der virtuellen Netze. Daher beinhaltet die im VirtuRAMA-Projekt entwickelte Virtualisierungsplattform ein Netzwerkmanagement, welches Netzbetreiber bei der Planung und dem Betrieb des virtualisierten Netzwerks unterstützt. Damit können Kundenanfragen automatisiert oder über eine grafische Bedienoberfläche verarbeitet werden, die aktuelle Belegung des Netzwerks kontrolliert oder Wartungsarbeiten durchgeführt werden. Im Future Internet Lab des IKT, einer Experimentalplattform bestehend aus rund 80 Netzknoten mit bis zu 10 Gb/s Übertragungskapazität, werden Architekturentwürfe implementiert und unter realistischen Bedingungen in ihren Einsatzszenarien evaluiert. Ein Prototyp der Virtualisierungsplattform wurde Ende 2011 im Netz eines großen deutschen Netzbetreibers erfolgreich getestet.

Rückblickend war die Virtualisierung schon einmal treibende Kraft für den Erfolg des Internets: In den Anfängen des Internets wurden die Datenpakete zunächst über das traditionelle Telefonnetz geleitet. Dadurch konnte die weltweite Netzwerkinfrastruktur schrittweise ausgebaut werden. Es ist davon auszugehen, dass eine auf der Virtualisierung basierende Netzwerkinfrastruktur das Wachstum und die Innovationsfähigkeit des Internets weiter vorantreiben und in Zukunft Dienste ermöglichen wird, die heute kaum zu erahnen sind.