

Geschichte und Entwicklung des Internets

Torsten Braun

Die Advanced Research Projects Agency (ARPA)

Die Geschichte des Internet beginnt am 4. Oktober 1957, als die damalige Sowjetunion den ersten Satelliten Sputnik in eine Erdumlaufbahn brachte [5,7]. Für die USA war die Tatsache, technologisch gegenüber der Sowjetunion im Hintertreffen zu sein, ein Schock. Präsident Eisenhower gründete daraufhin im Februar 1958 die dem Verteidigungsministerium unterstellte Advanced Research Projects Agency (ARPA), deren Ziel es war, die angewandte Forschung in akademischen und universitären Einrichtungen besser zu koordinieren und auch finanziell besser zu unterstützen.

1962 wurde der Physiologie-Professor Joseph Licklider zum Direktor des Information Processing Techniques Office (IPTO) der ARPA berufen. Dieser hatte die Vision, dass Computer von menschlichen Benutzern interaktiv zur Unterstützung von Entscheidungsprozessen verwendet werden. Damals gab es noch keine persönlichen Computer, sondern einige wenige von Rechenzentren betriebene Großcomputer, welche einen Auftrag nach dem anderen verarbeiteten. Die Reaktionszeiten waren lang, die Interaktion mit dem Computer basierte auf Terminals, welche aus einer Eingabe- (Tastatur, später auch Maus) und einer Ausgabeeinheit (Bildschirm) bestanden. Die Terminals waren über spezielle Terminalleitungen an die Computer angeschlossen. Das Konzept des Time-Sharing sollte mehreren Anwendern die gemeinsame Benutzung eines Computers ermöglichen, um interaktiv und damit mit kurzen Reaktionszeiten mit diesem zu arbeiten. Die Rechenzeit eines Computers wird dabei so aufgeteilt, dass jeder Prozess oder jeder Benut-

zer den Eindruck gewinnt, dass das entsprechende Programm Fortschritte erzielt.

Der ARPA-Mitarbeiter Bob Taylor hatte nun drei Terminals auf seinem Schreibtisch stehen, die jeweils mit einem einzelnen Großcomputer verbunden waren. Taylor suchte nach Möglichkeiten, um von einem Terminal aus auf die geografisch verteilten Großcomputer zuzugreifen. Er entwickelte 1966 die Idee, die an den verschiedenen Universitäten stehenden Computer miteinander zu einem Computernetz zu verbinden und das Einloggen von einem auf den nächsten Computer zu ermöglichen. Durch den damit erreichten entfernten Ressourcenzugriff erhoffte man sich auch eine effizientere Ressourcennutzung, da die Beschaffung und der Betrieb der damals sehr teuren Computer auf einige wenige Standorte beschränkt werden sollte. Der erste Ansatz, alle Computer direkt miteinander zu verbinden, wurde aber schnell verworfen, da diese Lösung für eine große Anzahl von Computern nicht skalierte. Der Aufwand, d. h. die Anzahl der erforderlichen Leitungen, ist proportional zu N^2 , mit N = Anzahl der zu verbindenden Computer. Wesley Clark schlug daher 1967 eine Lösung vor, die darin bestand, die zur Kommunikation erforderlichen Aufgaben vom Computer auf ein spezielles Gerät – einen sogenannten Interface Message Processor (IMP) – auszulagern und die Computer über ein Netz von IMPs miteinander zu verbinden. Es blieb zunächst aber noch offen,

DOI 10.1007/s00287-010-0423-9
© Springer-Verlag 2010

Torsten Braun
Universität Bern,
Institut für Informatik und Angewandte Mathematik,
Neubrückstrasse 10, 3012 Bern, Schweiz
E-Mail: braun@iam.unibe.ch

wie die konkrete Technologie zum Aufbau des Netzes aussehen sollte.

Robuste Kommunikationsnetze und Paketvermittlung

Parallel zu den oben genannten Überlegungen entwickelten andere Forscher Konzepte für den Aufbau robuster Kommunikationsnetze. Paul Baran arbeitete bei der amerikanischen Firma RAND an Projekten, welche von der Air Force in Auftrag gegeben wurden. Er machte sich insbesondere darüber Gedanken, wie Kommunikationsnetze zu gestalten sind, die auch einen atomaren Angriff überleben können und in einem solchen Fall die Kommunikation des Militärs sicherstellen. Zentralistische oder hierarchische Netzstrukturen mussten demnach vermieden werden. Barans Vorschlag [1] basierte auf einem Netz gleichberechtigter Knoten, die jeweils mit mehreren anderen Knoten verbunden werden, wodurch redundante Kommunikationswege entstehen. Die Berechnungen zeigten, dass bereits wenige Verbindungen (z. B. drei bis vier) ausreichen, um eine gute Robustheit des Netzes zu erreichen. Baran schlug vor, die Daten in Nachrichtenblöcke aufzuteilen und diese unabhängig voneinander, ggf. auf unterschiedlichen Wegen, vom Sender- zum Empfängerknoten zu transportieren. Der Empfängerknoten wartet dann, bis alle Nachrichtenblöcke eintreffen und setzt die ursprüngliche Nachricht wieder zusammen. Baran versuchte, die Umsetzung seines Konzepts voranzutreiben und wurde von seiner Firma sowie der Air Force darin unterstützt. Er nahm daher mit dem amerikanischen Telefonmonopolisten AT&T Kontakt auf. Allerdings bewerteten die Manager von AT&T seine Idee als untauglich und frustriert beendete 1965 Baran die Bemühungen, seine Ideen in die Realität umzusetzen. Traditionelle Telefonnetze sind im Gegensatz zu Datennetzen verbindungsorientiert und streng hierarchisch aufgebaut. Die durch die völlig unterschiedliche Philosophie begründete Skepsis der Telefonmonopolisten ist aber nicht außergewöhnlich. Diese hatten bis weit in die 1990er-Jahre viele Vorbehalte gegenüber der Internettechnik.

In Europa arbeitete Donald Davies am National Physical Laboratory (NPL) des Imperial College in London unabhängig von Baran an Konzepten zur Unterstützung der Kommunikation zwischen Computern. Er erkannte, dass das auf durchgeschalteten Verbindungen beruhende Telefonnetz ungeeignet

war, die Rechnerkommunikation effizient zu unterstützen. Im Gegensatz zur Paketvermittlung wird bei der im Telefonnetz eingesetzten Leitungsvermittlung die gesamte Kapazität einer Leitung oder eines Kanals einer Verbindung zugewiesen. Die Anzahl der Verbindungen ist damit begrenzt und die Netzkapazität wird nicht optimal ausgenutzt. Zwischen Computern müssen zunächst Verbindungen aufgebaut werden, bevor eine kurze Nachricht überhaupt übertragen werden kann. Um die reservierten Verbindungskapazitäten freizugeben, müssen dann die Verbindungen wieder abgebaut werden. Es entsteht daher Aufwand zum Aufbauen und Abbauen von Verbindungen. Die verbindungsorientierte Technik stellt daher für die Kommunikation zwischen Computern einen aufwendigen und wenig effizienten Ansatz dar. Bei der Paketvermittlung werden die Verbindungen zwischen den Netzkomponenten zwischen mehreren Datenströmen aufgeteilt. Ist ein Datenstrom nicht aktiv, so kann eine Leitung von anderen Datenströmen benutzt werden. Alternative Wege können gleichzeitig oder im Fehlerfall benutzt werden. Ähnlich wie Baran schlug Davies daher eine Aufteilung von Nachrichten in kleinere Einheiten (sogenannte Pakete, packets) vor. Diese sollten Steuerinformation am Beginn des Pakets enthalten, auf dessen Basis die Entscheidungen zum Weiterleiten gefällt werden. Alle Pakete werden unabhängig voneinander durch ein Netz von Paketvermittlungsknoten geleitet und beim Empfänger wieder zur ursprünglichen Nachricht zusammengesetzt. Davies schlug zunächst feste Paketgrößen vor und kreierte den Begriff „packet switching“ [4]. Das Konzept wurde 1967 am NPL in einem Prototyp implementiert.

Im Oktober 1967 fand ein ACM-Symposium statt, bei dem Mitarbeiter vom Imperial College und der ARPA Vorträge hielten und ihre Ideen austauschten. Die Anwender der ARPA erkannten sofort das Potenzial der Paketvermittlung. Die Arbeit des Imperial College zitierten die Arbeiten von Baran, welche die ARPA-Mitarbeiter nach ihrer Rückkehr verstaubt in ihrem eigenen Archiv fanden. Unter der Leitung von Larry Roberts wurde im August 1968 eine Ausschreibung zur Lieferung der IMPs veröffentlicht, um ein Netz zur Verbindung von vier Computern mit den Standorten University of Utah, University of California Los Angeles bzw. Santa Barbara sowie dem Stanford Research Institute aufzubauen. Die Firma BBN, ein Spin-Off des MIT, investierte einen beträchtlichen Aufwand und stach dabei große Un-

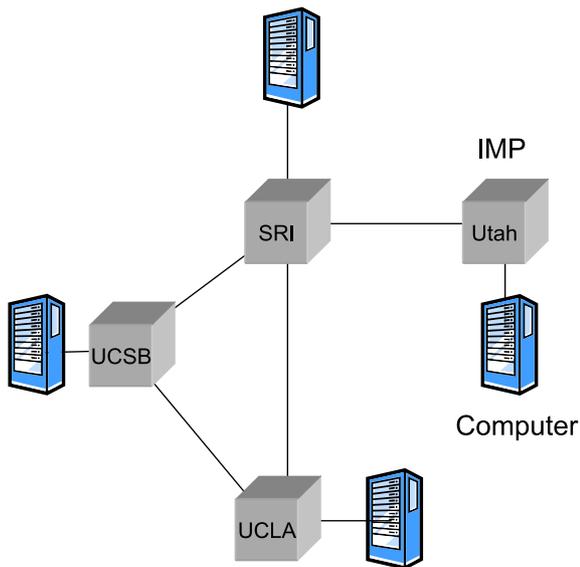


Abb. 1 ARPANET Ende 1969

ternehmen aus. Im Januar 1969 wurde der Vertrag mit BBN unterzeichnet. BBN entwickelte innerhalb weniger Monate unter der Leitung von Bob Kahn die IMP-Software auf der Basis von Minicomputern der Firma Honeywell. Neun Monate später wurde der erste IMP an die University of California in Los Angeles (UCLA) geliefert. Weitere Lieferungen erfolgten an andere Universitäten im Abstand von einem Monat. Ende 1969 waren vier Computer über das ARPANET miteinander verbunden (Abb. 1). Die physikalische Verbindung erfolgte über Telefonleitungen. BBN verwarf Anfang der 1980er-Jahre wegen wenig Erfolg versprechender Geschäftsaussichten den Plan, ins Router-Geschäft einzutreten. Die 1984 als Spin-off der Stanford University gegründete Firma Cisco ist heute Marktführer mit einem Umsatz von ca. 40 Mrd. Dollar im Jahr 2008. BBN koordiniert seit 2007 das US-amerikanische Forschungsprogramm GENI (Global Environment for Network Innovations), in dem experimentelle Grundlagenforschung zur Entwicklung des Internets der nächsten Generation betrieben wird.

Standardisierung und frühe Anwendungen

Neben den IMPs musste aber auch spezielle Software für die zu verbindenden Computer entwickelt werden, vor allem um die Kommunikation zwischen Endsystemen und IMPs sowie zwischen den Endsystemen zu regeln. Anfang 1969 wurde dazu eine

Arbeitsgruppe bestehend aus Mitgliedern (meist Doktoranden) der am ARPANET beteiligten Universitäten etabliert. Diese Arbeitsgruppe um Vint Cerf, Steve Crocker und Jon Postel sollte sich um folgende Fragen kümmern: Wie kommunizieren IMPs und Endsysteme miteinander? Welche Anwendungen sollten unterstützt werden? Die Arbeitsgruppe entwickelte einen sehr kollegialen, kooperativen und konsensorientierten Arbeitsstil, um die Spezifikationen für die erforderlichen Protokolle zu entwickeln. Die Spezifikationen werden „request for comments“ (RFC) genannt. Auch heute gibt es noch Arbeitsgruppen in der Internet Engineering Task Force (IETF), die sehr durch ein konsensorientiertes Arbeiten geprägt sind.

Innerhalb der Arbeitsgruppe wurden auch Anwendungen diskutiert. Bereits 1971 wurde die erste E-Mail-Software entwickelt. 1971 erschienen die ersten Spezifikationen zum entfernten Einloggen in andere Rechner (Telnet). 1973 wurde die Anwendung Talk entwickelt, welche zwei gleichzeitig auf einem Computer eingeloggten Benutzern erlaubt, eine Art Chat durchzuführen. Als weitere wichtige Anwendung etablierte sich später auch Usenet News, ein Dienst, um Nachrichten in ein Forum zu stellen und diese zu diskutieren.

Im Mittelpunkt der Arbeiten der Arbeitsgruppe stand zunächst die Entwicklung des Kommunikationsprotokolls Network Control Protocol (NCP), ein Vorläufer von TCP. Das in [2] beschriebene Transport Control Protocol (TCP) regelt den zuverlässigen Datentransport zwischen Computern über unzuverlässige Netze. Motiviert wurde diese Arbeit durch die Entwicklung von Ethernet [6], welches auf dem Anfang der 1970er-Jahre an der Universität Hawaii für lokale Funknetze entwickelten Aloha-Verfahren basierte. Bei Aloha sendet ein Knoten dabei einfach ein Paket und hofft, dass es beim Empfänger ankommt. Unter Umständen treten jedoch Kollisionen auf, wenn zwei oder mehr Rechner gleichzeitig senden. Die Übertragung eines Pakets wird dann gestört. Bei Ethernet hören die Knoten vor dem Senden ab, ob andere Stationen senden und falls ja, wird die eigene Übertragung zurückgestellt. Störungen einzelner Bits werden zwar erkannt, aber die Fehlerkorrektur wird anderen Instanzen überlassen. Diese neuen Technologien für lokale Netze beeinflussten die Entwicklung von TCP. Im als eher zuverlässig geltenden ARPANET konnten Fehler durch benachbarte IMPs behoben werden. Bei TCP übernahmen

nun die Endsysteme die Fehlerkorrektur z. B. dann, wenn ein Paket nicht oder verfälscht beim Empfänger ankommt. Im Jahr 1977 wurde TCP in zwei Protokolle (TCP und IP, Internet Protocol) aufgeteilt. IP ist für das Weiterleiten von Paketen zwischen Quelle und Ziel verantwortlich. TCP sorgt für eine zuverlässige Kommunikation zwischen zwei am Internet angeschlossenen Computern. TCP/IP löste im Jahr 1983 das NCP vollständig ab. Die internationale Standardisierungsorganisation ISO versuchte zwar um 1990, eine neue Protokollarchitektur zu entwickeln, doch setzte sich TCP/IP letztendlich durch, nicht zuletzt, da TCP/IP integraler Bestandteil in Unix geworden war. AT&T verteilte 1974 das von Ken Thompson entwickelte Unix einschließlich des Quellcodes zum Selbstkostenpreis von \$ 150,-. Unix wurde zum wichtigsten Betriebssystem für wissenschaftliche Arbeitsplatzrechner, welche mithilfe von TCP/IP miteinander kommunizieren konnten.

Für die Standardisierung von Internetprotokollen ist weiterhin die IETF zuständig. Über 100 Arbeitsgruppen entwickeln Protokolle in verschiedenen Bereichen wie Anwendungen, Dienste, Netzmanagement, Routing, Sicherheit, Transport usw. Bereits Anfang der 1990er-Jahre hat die IETF die Notwendigkeit erkannt, eine neue Version des zentralen Internet Protocol (Version 6) zu entwickeln, welche die derzeitige Version 4 zunächst ergänzen und langfristig ersetzen soll. Dies ist notwendig, weil abzusehen ist, dass den ans Internet angeschlossenen Rechnern und Geräten mittelfristig keine eigenen eindeutigen Adressen zugeordnet werden können. IP Version 6 (IPv6) löst das Problem durch die Erweiterung der IP-Adressen von 32 auf 128 Bit.

Wissenschaftsnetze

Gemäß der Vision von Vint Cerf entwickelte sich das Internet zu einem Zusammenschluss vieler verschiedenartiger Netze. In den USA betrieb die National Science Foundation (NSF) ein Backbone, an dem einzelne regionale Netze angeschlossen waren. Auch in Europa entstanden Forschungsnetze mit Verbindungen in die USA. Die Verbindung der Netze erfolgt durch Gateways, auch Router genannt, welche im heutigen Internet die Rolle der IMPs übernehmen. In den 1980er-Jahren wurden immer mehr Forschungsnetze realisiert, welche auf dem TCP/IP-Protokoll aufbauen. In den USA wurden 1980 zunächst verschiedene Informatikfakultäten über das CSNET miteinander verbunden. Ab 1985 betrieb die National

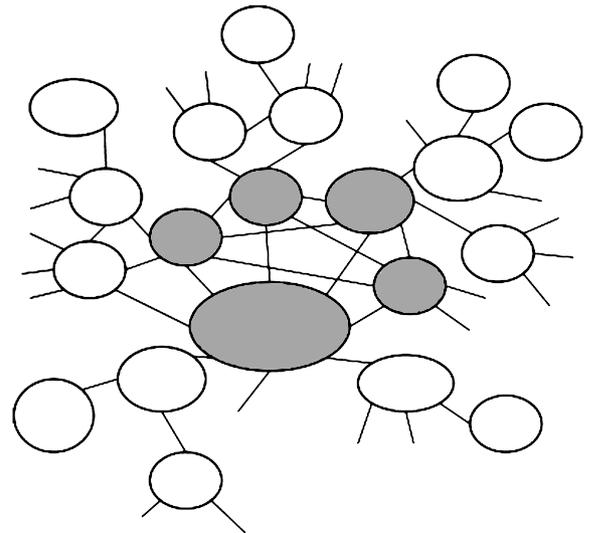


Abb. 2 Internet als Netz von Netzen

Science Foundation das Backbone-Netz (NSFNET), um die amerikanischen Universitäten miteinander zu verbinden. Auch in Europa wurden IP-Netze aufgebaut, z. B. das EUnet (European UNIX Network) 1982 zwischen den Niederlanden, Großbritannien, Schweden und Dänemark. Diese einzelnen Netze wurden dann zum Internet zusammengeschlossen („network of networks“). 1989 wurde das ARPANET abgeschaltet. 1991 öffnete das NSFNET das Netz für kommerzielle Organisationen. Das Internet stellt heute ein unstrukturiertes Netz von Netzen dar, wobei einige dieser Netze als Backbone-Netze bezeichnet werden. Backbone-Netze (grau markiert in Abb. 2) bilden den Kern des Internet und werden von großen Internet Service Providern (ISPs) betrieben. Sie unterhalten Verbindungen untereinander und haben oft internationale Abdeckung.

SWITCH baute ab 1998 das erste mit dem Internet verbundene IP-Netz in der Schweiz auf. Bereits 1989 waren alle damaligen Universitäten am sogenannten SWITCHlan angeschlossen, welches anfangs noch andere Protokollfamilien unterstützte. Typische Anschlussbandbreiten waren 64 bzw. 128 kbit/s, die Kapazität des Backbone wies 2 Mbit/s auf. Als eine der ersten Organisationen, welche Wissenschaftsnetze betreiben, begann SWITCH im Jahr 2001 mit der Realisierung eines auf langfristig gemieteten Glasfasern basierenden Netzes, welches mittlerweile alle Schweizer Universitäten und Fachhochschulen abdeckt. In Deutschland wurde der DFN-Verein (Verein zur Förderung eines Deutschen

Forschungsnetzes) im Jahr 1984 von Hochschulen, außeruniversitären Forschungseinrichtungen und forschungsnahen Wirtschaftsunternehmen mit administrativer und finanzieller Unterstützung durch das Bundesministerium für Forschung und Technologie gegründet. Zunächst unterstützte der DFN-Verein die Mitglieder bei der Beschaffung von X.25-Vermittlungen zum Anschluss an das Datex-P-Netz der damaligen Deutschen Bundespost. Auch Anschlüsse an die auf IBM-Protokollen basierenden Netze EARN (European Academic and Research Network) und BITNET wurden bereitgestellt. Seit 1989 betreibt der DFN-Verein eigene Netze. Die derzeitige X-Win stellt ein bundesweites Netz von Glasfaserverbindungen dar.

Akademische Organisationen haben nicht nur entscheidend zum Aufbau der Netzinfrastruktur des Internets beigetragen, sondern auch früh die Domännennamensverwaltung übernommen. 1983 wurde im Internet das Domain Name System (DNS) zur Verwaltung von Rechner- und Domännennamen eingeführt. In Deutschland übernahm die Universität Dortmund 1986 unter dem Namen DENIC die Verwaltung von Namen der Domäne „.de“. Später wurde dieser Dienst an der Universität Karlsruhe erbracht. Ab 1996 ist hierfür die eingetragene Genossenschaft DENIC zuständig. Mitte 2009 waren über 13 Mio. Domännennamen registriert. In der Schweiz übernahm SWITCH ab 1990 die Aufgabe der Domännennamensverwaltung, wobei bis 1993 noch weniger als 100 Domännennamen zu verwalten waren. Heute sind mehr als 1 Mio. Domännennamen bei SWITCH registriert.

Anwendungen im Internet

Die heute wichtigste Anwendung im Internet ist das World Wide Web (WWW), welches dem Internet zu seinem weltweiten Durchbruch verhalf und welches von Tim Berners-Lee am CERN in Genf ab 1989 entwickelt wurde. Fast zeitgleich öffnete 1991 des NSFNET den Zugang zum Internet für private und kommerzielle Nutzer. Die schnelle Verbreitung des Internet außerhalb der akademischen Welt begann. Berners-Lee passte das seit den 1930er-Jahren bekannte Hypertextkonzept auf das Internet an. Seine Motivation bestand darin, verschiedene Dokumente, in denen Wissen zu Experimenten, Technologien oder organisatorischen Aspekten festgehalten ist, miteinander zu verknüpfen und ein Informationssystem aufzubauen, welches das Sammeln, das

Verwalten und das einfache Aktualisieren von Wissen unterstützt. Das System sollte die besonderen Gegebenheiten in einer Organisation mit hoher Fluktuation berücksichtigen.

Zum Erfolg des WWW hat auch die freie Verfügbarkeit der ersten Browser beigetragen. Hier ist insbesondere der an der Universität Illinois für verschiedene Plattformen entwickelte Mosaic-Browser zu erwähnen, welcher 1994 zur Gründung der Firma Netscape führte. Im selben Jahr wurde das World Wide Web Consortium zur Koordination der Weiterentwicklung von WWW-Standards gegründet.

Standardanwendungen im Internet sind meist ähnlich einfach aufgebaut. Zum Abruf einer Webseite öffnet ein PC eine TCP-Verbindung mit dem Webserver. Über diese Verbindung können in zuverlässiger Art und Weise Nachrichten ausgetauscht werden. Der Webbrowser auf dem PC schickt eine Anfrage nach einer Webseite an den Server, welcher die angeforderte Webseite liest oder dynamisch erzeugt und über eine oder mehrere Antwortnachrichten an den PC zurücksendet. Ähnlich ist der Ablauf beim Senden oder Abrufen von E-Mails, aber auch beim Anrufen von Benutzern über Internettelefonie.

Webservices stellen eine Weiterentwicklung des Abrufs von Webseiten dar. Sie erfahren seit einigen Jahren steigende Bedeutung bei Geschäftsanwendungen über das Internet. Ein Webservice ist eine Softwareanwendung, die über einen Uniform Resource Identifier eindeutig identifizierbar ist und deren Schnittstelle über die Web Services Description Language beschrieben werden kann. Ein Webservice unterstützt die direkte Interaktion zwischen Softwareagenten unter Verwendung von XML-Nachrichten (eXtensible Markup Language). Webservices unterstützen den automatisierten Datenaustausch und den Aufruf von Funktionen auf entfernten Rechnern. Durch Kombination von Webservices lassen sich komplexere Dienste zusammensetzen.

Bei der Internettelefonie erfolgt der Anruf wie bei der klassischen Telefonie über den Austausch von Signalisierungsnachrichten, mit denen der Anrufer den Gesprächswunsch anzeigt. Diese Nachrichten werden über einen oder mehrere Server an den Angerufenen weitergeleitet, welcher dann den Anruf bestätigt. Beide Gesprächspartner tauschen dann direkt Sprachdaten aus. Dabei werden

die Sprachsignale abgetastet und digitalisiert. Eine gewisse Anzahl von Abtastwerten wird für eine kurze Zeit gesammelt und in einem größeren IP-Paket an den Empfänger geschickt. Dort werden die Abtastwerte extrahiert und in gleichmäßigen Abständen über einen Lautsprecher ausgegeben. Die Zahl der Benutzer, die das Internet zum Telefonieren (Voice over IP) nutzt, steigt stetig an und hat heute die 100 Mio.-Grenze überschritten. Es wird erwartet, dass in den nächsten Jahren die meisten Benutzer ihren klassischen Telefonanschluss aufgeben werden. Bereits 1992 wurden Audio/Video-Konferenzen über das Internet übertragen, welche es ermöglichen, die meist in den USA stattfindenden Meetings der IETF, auf denen die technischen Grundlagen diskutiert und standardisiert werden, in aller Welt zu verfolgen. Die damals entwickelten Protokolle dienen heute als Grundlage für Voice over IP. Das Übertragen von TV-Programmen über das Internet wurde in mehreren kommerziellen Netzen eingeführt. SWITCH übertrug bereits 2002 die Fußballweltmeisterschaft live in Zusammenarbeit mit der ETH Zürich unter Benutzung der IP-Multicast-Technologie.

In den vergangenen Jahren haben Peer-to-Peer-Netze (P2P-Netze) eine wichtige Bedeutung erlangt. P2P-Netze besitzen ein großes Potenzial und basieren auf dem Ende-zu-Ende-Argument, welches in [8] formuliert wurde und Entwurfsprinzipien zur Platzierung von Funktionen in Kommunikationssystemen definiert. Das Ziel bestand in der Realisierung effizienter und einfach strukturierter Netzknotten. Eine Funktion sollte nur dann in einem Teilsystem, z. B. einer Protokollschicht, implementiert werden, wenn sie vollständig darin implementiert werden kann, oder wenn bei teilweiser Implementierung im Teilsystem die Gesamtleistung eines Systems gesteigert werden kann. Des Weiteren sollten nur Funktionen, die von allen Anwendungen benötigt werden, im Netz realisiert werden. Auf einem ähnlichen Prinzip basieren auch RISC-Prozessoren.

P2P-Netze wurden zunächst zum Austausch von Musikdateien eingesetzt. Dabei etablieren Endsysteme (Peers) typischerweise mehrere TCP-Verbindungen zu anderen Peers im Internet. Es entsteht ein teilweise vermaschtes Netz, über welches beliebige Informationen ausgetauscht und weitergeleitet werden. P2P-Netze werden zur Verbreitung von Suchanfragen nach Objekten verwendet. Dabei kann nach einer Musikda-

tei im Internet gesucht werden, aber auch nach Benutzeridentifikatoren. P2P-Techniken können auch für die Internettelefonie oder zur Echtzeitübertragung von TV-Sendungen eingesetzt werden.

Sicherheit

Das Thema Sicherheit wird ebenfalls zusammen mit dem Internet immer wieder diskutiert. Das Internet wurde ursprünglich nicht für eine kommerzielle Nutzung entwickelt, und Sicherheitsfunktionen wurden erst nachträglich integriert. Die Kommunikation selbst kann heute mithilfe entsprechender Verschlüsselungs- und Authentifizierungssoftware auf verschiedenen Ebenen sehr sicher gestaltet werden. Problematischer erscheinen eher Sicherheitsmängel von Betriebssystemen und Anwendungen, welche einen ans Internet angeschlossenen PC angreifbar machen. Auch gehen Firmen und Privatpersonen mit vertraulichen Daten oft sorglos um. Sicherheitssoftware ist oft auch wenig benutzerfreundlich und wird dann nicht eingesetzt. Sicherheitslösungen wie Firewalls können Benutzer auch stark einschränken. Teilweise funktionieren dann bestimmte Anwendungen über Firewalls hinweg schlecht oder gar nicht mehr. Schließlich ist festzustellen, dass andere Kommunikationsformen im Alltag wie Telefon oder Post weit weniger sicher sind als das Internet. Wegen der immer stärker werdenden Durchdringung des Alltags durch das Internet können Sicherheitslücken jedoch immer weitreichendere Schäden anrichten, vor allem wenn Geschäftsprozesse und Bankanwendungen darauf aufsetzen.

Zusammenfassung und Ausblick

Das Internet hat sich in den vergangenen 40 Jahren zu einem universellen Kommunikationsmedium entwickelt und wird in Zukunft weiter an Bedeutung gewinnen. Heute kann die Anzahl der an das Internet angeschlossenen Computer nur noch grob geschätzt werden. Die Zahl von 1 Mrd. dürfte aber schon lange überschritten sein. Das Internet wird in absehbarer Zeit die grundlegende Infrastruktur für jegliche Art der Kommunikation darstellen. Die Entwicklung des Internets wurde und wird maßgeblich durch die akademische Forschung beeinflusst. In der Zukunft ist vor allem eine verstärkte Einbindung von drahtlos kommunizierenden Endsystemen

– vor allem Kleinstcomputer und Sensoren – zu erwarten. Diese Systeme können Pakete über Funk empfangen und senden. Die Pakete werden dabei über mehrere drahtlose Zwischenknoten transportiert. Die IETF-Arbeitsgruppe „IPv6 over Low power WPAN“ (WPAN: Wireless Personal Area Networks) entwickelt dabei einen Standard zur effizienten Übertragung von IPv6-Paketen zu bzw. von solchen kleinen Geräten. Der Einsatz von TCP/IP in Sensornetzen wurde bereits durch [3] vorgeschlagen. Dieses Beispiel zeigt auch, dass die technische Entwicklung bei weitem nicht so rasend fortschreitet, wie es oft in der Öffentlichkeit dargestellt wird. Viele Entwicklungen im Bereich der Kommunikation erreichen erst 5–10 Jahre oder sogar später nach ihrer

Erfindung in wissenschaftlichen Einrichtungen eine weite Verbreitung.

Literatur

1. Baran P (1964) On Distributed Communications: I. Introduction to Distributed Communications Networks. Memorandum RM-3420-PR, RAND Corporation, Santa Monica, CA
2. Cerf V, Kahn R (1974) A Protocol for Packet Network Intercommunication. IEEE Trans Commun 22:637–648
3. Dunkels A (2003) Full TCP/IP for 8 Bit Architectures. First ACM/Usenix International Conference on Mobile Systems, Applications and Services (MobiSys 2003), 5–8 May 2003, San Francisco
4. Davies D, Bartlett K, Scantlebury R, Wilkinson P (1967) A digital communications network for computers giving rapid response at remote terminals. ACM Symposium on Operating Systems Problems, 1–4 October 1967, Gatlinburg
5. Hafner K, Lon M (2000) Die Geschichte des Internet. dpunkt.verlag, Heidelberg
6. Metcalfe R (1973) Packet Communication. PhD Thesis, Harvard University
7. Naughton J (2003) A Brief History of the Future. Phoenix, London
8. Saltzer J, Reed D, Clark D (1984) End-To-End Arguments in System Design. ACM Trans Comput Syst 2(4):277–288