

P.J. Kühn

Entwicklungen zum Next Generation Network (NGN)



Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. mult. *Paul J. Kühn*, Leiter des Instituts Kommunikationsnetze und Rechnersysteme (IKR) an der Universität Stuttgart seit 1982. Nach vier Jahren Tätigkeit in der Industrie Studium, Promotion und Habilitation auf dem Gebiet der Nachrichtentechnik an der Universität Stuttgart. 1977-1978 Entwicklung und Forschung auf dem Gebiet der Datenkommunikation bei den Bell Laboratories/USA. Arbeitsgebiete

Kommunikationsnetze und Nachrichtenverkehrstheorie. Chairman des International Advisory Council des International Teletraffic Congress. Seit 1998 Koordinator des internationalen MSc-Studiengangs „Information Technology“ an der Universität Stuttgart. Derzeit Dekan der Fakultät für Informatik, Elektrotechnik und Informationstechnik sowie Gründungsdekan der Fakultät Information Engineering and Technology der German University in Cairo (GUC).

ZUSAMMENFASSUNG

In den letzten Jahrzehnten haben sich zwei wesentlich verschiedene Netztechnologien herausgebildet: Telekommunikations- und Mobilkommunikationsnetze sowie Rechner- und Datennetze. Der Beitrag skizziert die sich gegenwärtig vollziehende Entwicklung einer Integration beider Technologien. Wesentliche Merkmale dieses Integrationsprozesses sind das Aufsetzen auf eingeführte Anschlussnetz- und Kernnetz-Infrastrukturen sowie der Übergang zu einer einheitlichen, auf dem Internet-Protokoll basierten Transporttechnik als Basis einer Plattform für ein sehr breites Spektrum von Diensten und Anwendungen. Diese Entwicklungen werden häufig unter dem Begriff „Next Generation Network“ (NGN) zusammengefasst, sind jedoch vielgestaltig und weisen eine größere Menge von Einzelaspekten auf. Nach einem kurzen Überblick über die wichtigsten Netztechnologien und Dienste wird eine Reihe von Herausforderungen an Netzkomponenten, Architekturen und Plattformen, Sicherheit, Netzmanagement und Netzorganisation diskutiert; auf den Aspekt der Dienst- und Netzgüte und dem damit einhergehenden Traffic Engineering wird etwas detaillierter eingegangen.

1 ENTWICKLUNGSLINIEN VON NETZEN UND DIENSTEN

1.1 Entwicklung der Netztechnologien

Die Entwicklung der Kommunikationsnetze ist im Wesentlichen geprägt durch die Fernsprech- und Telekommunikationsnetze, welche auf der Kanalvermittlung durch Reservierung eines durchgehenden Übertragungskanalns fester Bandbreite/Bitrate für die Dauer einer Verbindung beruhen (Fernsprechnetze, dienstintegrierende Digitalnetze (ISDN), Zelluläre Mobilkommunikationsnetze), sowie Daten- und Rechnernetze, welche auf der Paketvermittlung beruhen und verbindungsorientiert oder gänzlich verbindungslos (Einzelpaketvermittlung) arbeiten. Abb. 1 zeigt die Verbreitungsphasen der verschiedenen Netztechnologien.

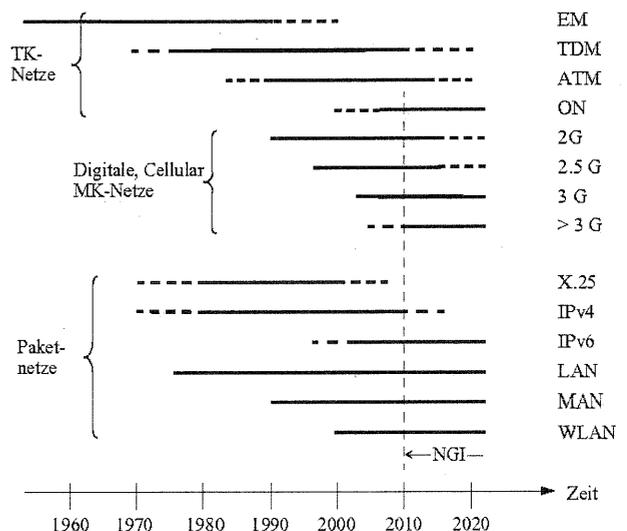


Abb. 1 Entwicklung der Netztechnologien
 EM Elektromechanik
 TDM Zeitmultiplextechnik
 ATM Asynchroner Transfermodus
 ON Optische Netze
 xG x-te Generation (Mobilkommunikation)
 X.25 Paketnetzstandard, verbindungsorientiert
 IPvX Internet Protokoll, Version X
 LAN Local Area Network
 MAN Metropolitan Area Network
 WLAN Wireless LAN

Gegenwärtig umfasst das weltweite Telekommunikationsnetz etwa 1,3 Milliarden Festnetzteilnehmer und 1,5 Milliarden Teilnehmer in den Mobilkommunikationsnetzen für die Hauptdienste Fernsprechen, Telefax sowie einfache Text- und Bilddatendienste. Das weltweite Internet bewegt sich auf eine Milliarde

von vernetzten Rechnern (Hosts) zu. Während die TK-Festnetze nur noch mäßig wachsen (abhängig vom Ausbau- und Durchdringungsgrad), wachsen Mobilkommunikationsnetze und das Internet ungebrochen sowohl hinsichtlich Teilnehmerzahlen, vor allem aber hinsichtlich des Verkehrsvolumens. Die Anschlussnetze der Telekommunikation spielen derzeit noch eine wichtige Rolle für den digitalen Zugang zum Internet

Die in Abb. 1 skizzierten drei Hauptkategorien sind noch nach unterschiedlichen Technologien unterschieden (vgl. Legende zu **Abb. 1**).

1.2 Telekommunikationsnetze

Digitale **TK-Netze** beruhen auf der Technik des synchronen Zeitmultiplexes durch periodische Übermittlung von Abtastwerten, wodurch Kanäle konstanter Bitraten entstehen, welche in hierarchischer Ordnung nach Bitraten (64 kbit/s, 2048 Mbit/s, ...) gegliedert sind. Übertragung und Vermittlung erfolgen im Zeitmultiplex, die Verbindungssteuerung durch eine i.d.R. gemischt zentrale/dezentrale Rechnersteuerung per gespeichertem Programm. Zum Aufbau von Netzverbindungen werden Steuerinformationen zwischen Endgerät und Netzknoten bzw. innerhalb des Netzes zwischen den Netzknoten im Paketmodus ausgetauscht (Signalisierung).

ATM (Asynchroner Transfermodus) ist eine verbindungsorientierte Zellvermittlung und erlaubt das Multiplexen beliebiger Datenströme mit konstanter oder variabler Zellrate. Das virtuelle Pfad- und Verbindungskonzept erlaubt ein ökonomisches Bandbreitenmanagement sowie die Beherrschung der Dienstgüte. Durch die Verbindungsorientierung und die damit verbundene aufwändige Signalisierung ist ATM für schnell wechselnde Ziele (wie bei Web-Anwendungen) ungeeignet. ATM spielt heute als Transporttechnologie eine wichtige Zwischenrolle auf dem Weg zum NGN.

Optische Netze (ON) sind im Kernnetz (Core) und z.T. in den Zugangnetzen Standard der Übertragung. Zum Aufbau von konfigurierbaren Übertragungsnetzen können optische Fasern oder einzelne Lichtwellenkanäle im Wellenlängenmultiplex (WDM) über optische Raumschalter und Wellenlängenkonverter in Optischen Cross Connects (OXC) zusammengeschaltet werden. Mit Übertragungsraten von 10-40 Gbit/s je Wellenlänge und 100 und mehr Wellenlängenkanälen pro Faser stehen bereits heute Tbit/s-Kapazitäten zur Verfügung. Für sehr breitbandige, stromförmige Einzelanwendungen kann im Prinzip per Kanalvermittlung im rein optischen Bereich übermittelt werden. Die optische Paketvermittlung wird dagegen infolge der Schwierigkeiten der optischen Pufferung noch länger Zukunftstraum bleiben. Eine interessante Zwischenlösung könnte jedoch die Optische Büschelvermittlung (Optical Burst Switching, OBS) spielen, bei der größere Paketgruppen zu einem Burst assembliert und per Kanalvermittlung mittels einer vorausseilenden Reservierungs-Anforderung über das Kernnetz hinweg übermittelt werden, um am anderen Ende deassembliert und an die Endsysteme weitergeleitet zu werden. Im Anschluss- bzw. Netzzugangsbereich spielen optische Netze in Ringform mit Add/Drop-Multiplexern bzw. als Zubringer bis in die Teilnehmernähe heute schon eine wichtige Rolle. Mit der Synchronen Digitalen Hierarchie (SDH) und der Wellenlängenmultiplex-technik (WDM) stehen heute breitbandige Basistechnologien für die ökonomische Übermittlung großer Datenströme in den Kernnetzen und innerhalb des Netzzugangsbereiches zur Verfügung.

1.3 Mobilkommunikationsnetze

Die Mobilkommunikation hat mit der Einführung der digitalen, zellulären Netze Anfang der 90er Jahre eine phänomenale Entwicklung genommen, welche auf den Erfolg der Standards GSM und IS-95, die Vielfalt der weiteren Funktionen wie etwa des Kurznachrichtendienstes SMS (Short Message Service), die Mobilitätsunterstützung (Roaming) und eine Vielzahl von Dienst- und Leistungsmerkmalen zurückzuführen ist.

Mobilkommunikationsnetze der **2. Generation (2G)**, wie das bekannteste System GSM (Global Standard for Mobile Communication), unterteilen den Netzzugangsbereich in Funkzellen, innerhalb derer mobile Terminals (MT) über Funkkanäle Zugang zu Basisstationen haben. Von dort verläuft die weitere Übertragung im Festnetz (Richtfunk) zu den Mobilvermittlungstellen, die den Übergang zu den vermittelnden Festnetzen darstellen. Der momentane Aufenthaltsort (Location Area) ist in einem Paar von Datenbanken (Home bzw. Visitor Location Registers) eingetragen, so dass ankommende Verbindungswünsche schließlich in die momentane Funkzelle des MT geleitet werden können. Bewegt sich ein MT während einer Verbindung in eine Nachbarzelle, wird die Verbindung anhand eines Signalenergiekriteriums weitergeleitet (Handover, Handoff). Der Funkkanal (Sprachkanal) ist schmalbandig und wird kanalvermittelt.

Die Weiterentwicklung führte zur **Zwischen-Generation (2.5G)**, auch bekannt als General Packet Radio Service (GPRS), wo breitbandigere Kanäle neben der Kanalvermittlung auch eine paketvermittelte Kommunikation erlauben für weitere Datendienste mit z.B. 50-70 kbit/s. GPRS erlaubt die Aggregation freier Übertragungskapazität über die Luftschnittstelle für paketorientierte Kommunikation sowie den Zugang ins Internet, so dass mit GPRS die IP-basierte Kommunikation bis ins MT und somit auch im Prinzip schon ein Großteil der Dienste des UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) ermöglicht wird.

Seit Anfang dieses Jahrzehnts läuft die Einführung der breitbandigen zellulären Mobilkommunikation auf Basis des Standards **UMTS (3G)**, der eigentlichen dritten Generation der Mobilkommunikation, welche Bitraten bis zu 2 Mbit/s bereitstellt und somit das Tor zur Bewegtbild-Kommunikation, zu komfortableren Web-Anwendungen und Multimedia Messaging Services (MMS) öffnet. Im Forschungsbereich sind Entwicklungen in Gange für die Ausweitung auf erheblich höhere Bitraten („Beyond“ 3G, 4G).

1.4 Rechner- und Datennetze

Von wenigen Ausnahmen abgesehen basieren Rechner- und Datennetze auf der Technik der Paketvermittlung. Hierbei werden die Nutzdaten (Payload) zu Blöcken beschränkter Länge mit jeweils einem Steuerteil (Header) zusammengefasst und nach dem Prinzip „store and forward“ abschnittsweise vom Ursprungsknoten über vermittelnde Netzknoten zum Zielknoten übermittelt. **Paketnetze** wurden zunächst nur im Forschungsbereich eingesetzt (ARPANET, 1968). Kommerzielle private und öffentliche Paketnetze wurden in den 70er Jahren aufgebaut, wobei im öffentlichen Bereich Paketnetze vorwiegend auf dem CTITT (ITU-) Standard **X.25** über 2-3 Jahrzehnte betrieben wurden. X.25 arbeitet verbindungsorientiert nach dem Prinzip der virtuellen Verbindung.

In den 90er Jahren wurde die X.25 Paketkommunikation weitgehendst durch das **Internet** abgelöst. Die darin angewandte Protokoll-Suite TCP/IP mit dem Internet-Protokoll IPv4 arbeitet auf der Vermittlungsschicht verbindungslos und bietet zwei Transportprotokoll-Varianten TCP (verbindungsorientiert, geeignet für Datendienste wie File Transfer, Mail, Web) und UDP (verbindungslos, ungesicherter Transfer, vornehmlich eingesetzt für Echtzeitdienste wie Voice over IP (VoIP) und Multimedia-Dienste). Durch den rasanten Ausbau des Internet stellte sich u.a. das Problem eines Engpasses der 32-bit langen IP-Adressen, welches jedoch durch dynamische Adressvergabe und private Adressräume zwischenzeitlich gelöst werden konnte. Dennoch wird sich nach Meinung des Autors längerfristig die erweiterte IP-Protokoll-Version 6 (IPv6) durchsetzen, da sich die Adressräume mit Einführung des Ubiquitous Computing stark erweitern.

Neben dem Weitverkehrsbereich spielt die Paketvermittlung eine zentrale Rolle im Nahbereich bzw. im Metro-Bereich in Form von **Local Area Networks (LAN)** und von **Metropolitan Area Networks (MAN)**. Diese Systeme beruhen auf breitbandiger Übertragungstechnik mit Übertragungsraten von 10 Mbit/s bis 10 Gbit/s, wobei das breitbandige Übertragungsmedium unter allen Nutzern im asynchronen Rahmenmultiplex aufgeteilt wird. Die Kanalzugriffssteuerung (Media Access Control, MAC) erfolgt i.d.R. dezentral, wofür eine Reihe von MAC-Verfahren entwickelt wurden wie z.B. CSMA/CD („Ethernet“), Token-Passing (Token-Ring, FDDI), Slotted Ring oder DQDB, welche zum größten Teil auch standardisiert wurden und für die Hardware-Bausteinkonzepte verfügbar sind. Insbesondere die schnelle Ethernet-Technologie (Fast-Ethernet mit 100 Mbit/s und Gigabit-Ethernet mit 1,10 und zukünftig sogar 100 Gbit/s) breitet sich im lokalen und Metro-Bereich stark aus, über die die breitbandige Internet-Paketvermittlung bis in die Endrechner hinein erfolgt.

Mit der Technik des **Wireless LAN (WLAN)** schließlich, welche auf ganz ähnlichen Vielfachzugriffsverfahren beruht wie die LAN/MAN-Technik, wird die Mobilität für tragbare Kleincomputer (Laptop, Notebook, PDAs) im lokalen Bereich unterstützt. Sie eignet sich ferner zum Aufbau von breitbandigen Zugangspunkten zum Internet (sog. „Hotspots“), welche sich gegenwärtig schnell verbreiten (Hotels, Lounges, Campus-Vernetzungen, etc.); sie stellen eine höchst ökonomische Alternative zur 3. Generation der zellulären Mobilfunknetze dar und werden oft schon als Grundlage einer 4G- oder „beyond 3G“-Mobilfunktechnologie angesehen. Die zugehörigen Verfahren wurden in der IEEE 802.11-Serie bzw. ETSI-Hiperlan-Serie standardisiert.

Spezielle Formen der WLAN-Technologie sind Raumnetze und Körpernahe Netze (Personal Area Networks bzw. Body Area Networks), mit welchen sich tragbare Computer und Peripheriegeräte (Drucker, PDAs, Headsets, etc.) automatisch vernetzen. Sie erlauben darüber hinaus die infrastrukturlose sog. **ad hoc**-Vernetzung, mit der die Verbindung entfernterer Geräte untereinander oder die Anbindung an das Internet über andere Geräte als Relay-Stationen hinweg ermöglicht wird.

Die rein netztechnologischen Entwicklungen ab ca. 2010, vergl. Abb. 1, können dem NGN zugerechnet werden. Einheitlich dabei ist die gemeinsame, IP-basierte Netzplattform, welche allen Diensten und Anwendungen dient. Unterhalb der IP-basierten Vermittlungsschicht koexistieren unterschiedliche Medien und Netzinfrastrukturen; oberhalb der transportorientierten IP-basierten Netzplattform und den Ende-zu-Ende operierenden

Transportprotokoll-Varianten TCP, UDP (und andere) bilden sich dienstorientierte Plattformen und Schnittstellen aus, welche eine netzunabhängige und schnelle Einführung neuer Dienste ermöglichen sollen.

1.5 Entwicklung der Dienste

Mit der Zunahme der Bandbreite und Flexibilität der Netze einerseits und der Prozessor-, Speicher- und Ein-/Ausgabefähigkeit der Endgeräte andererseits hat sich das Dienstespektrum stark erweitert. Abb. 2 zeigt eine Übersicht über Dienste und Anwendungsbereiche, welche nach den übergeordneten Kategorien

- Telekommunikation
- Datenkommunikation
- Information
- Unterhaltung
- Geschäftsprozesse
- Kontextbezug

geordnet sind. Ein Großteil der Dienste fällt in Querschnittsbereiche mehrerer Kategorien. Die einzelnen Dienste weisen z.T. sehr unterschiedliche Merkmale auf hinsichtlich

- Bandbreitebedarf (konstant, variabel, Betrag)
- Signalisier- und Steueraufwand
- Dienstqualität (speziell hinsichtlich Verzögerungen und Verlusten)
- Echtzeitfähigkeit
- Verfügbarkeit u.ä.m.

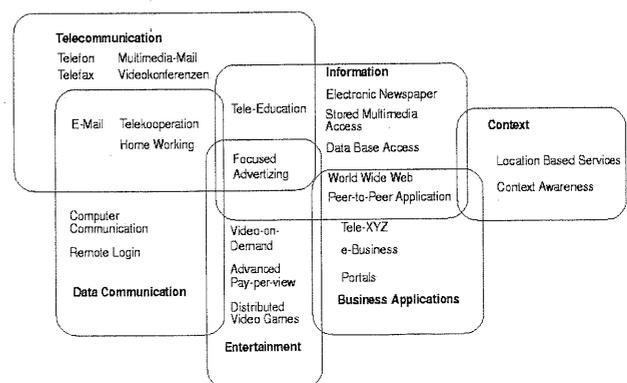


Abb. 2 Entwicklung der Dienste u. Anwendungen

Während die früheren Telekommunikations- und Datennetze noch stark dienstspezifischen Kriterien von einem oder wenigen Standarddiensten entsprechen mussten, hat das NGN ganz wesentlich den Anforderungen aller dieser Dienste zu entsprechen. Hierin ist auch ein wesentlicher Grund zu sehen, dass sich die flexiblere IP-basierte Kommunikation gegenüber den bisherigen Technologien als vorteilhaft erweist.

Die Entwicklungen sowohl netztechnologisch als auch im Hinblick auf Anwendungen und Dienste werden deshalb häufig auch durch die Bezeichnungen „Netzkonvergenz“ und „Dienstkonvergenz“ charakterisiert.

2 TECHNISCHE HERAUSFORDERUNGEN DES NGN

Die im Vorausgegangenen skizzierten Anforderungen eines breiten Dienstespektrums sowie die Wettbewerbssituation stellen eine Vielzahl neuer technischer Herausforderungen dar, welche auf dem Weg zu einem NGN in evolutionärer Weise überwunden werden müssen. Im Rahmen dieses kurzen Übersichtspapiers können die Themen nur kurz angesprochen werden; zur detaillierteren Diskussion wird auf die aktuelle Fachliteratur verwiesen.

2.1 Komponenten

Die Breitbandigkeit vieler neuer Dienste sowie die Individualisierung von traditionellen Verteildiensten erfordern die Steigerung der Übertragungskapazitäten, speziell im Mobilfunkbereich, die Erhöhung der Wiederverwendbarkeit von Funkfrequenzen, die Erhöhung von Prozessor- und Speicherkapazitäten, die Entwicklung verlustleistungsarmer Schaltungstechniken, leistungsfähige Hardwareplattformen, welche durch Software vielfältige Funktionen ausführen können, und mobile Endgeräte mit wahlweisem Zugang zu Netzen unterschiedlicher Technologien (wie z.B. UMTS, WLAN, Bluetooth).

Die vorgenannte, keineswegs vollständige Liste von Themen hat eine breite Forschungsaktivität ausgelöst, welche von der Photonik über die Halbleitertechnologie, Höchsthochfrequenztechnik, Modulation und Codierung, MIMO-Systeme (Multiple Input, Multiple Output), adaptive Antennenarrays bis zu flexibel konfigurierbarer Hardware, leistungsfähige Displaytechniken und Mikrosensortechnik reichen. Leistungsfähige Komponenten sind die Voraussetzung für die o.a. Anforderungen an die Verarbeitungs- und Speicherkapazität, aber auch um kostengünstig mobile Endsysteme für einen großen Markt bereitzustellen.

2.2 Architekturen und Plattformen

Zur Unterstützung der Funktionsvielfalt ist es zwingend, Architekturen zu entwickeln, welche hierarchisch strukturiert sind und einheitliche Plattformen und Anwendungsschnittstellen den darauf aufsetzenden Diensten bieten. Die einheitliche IP-basierte Plattform auf der Vermittlungsschicht ist das vielleicht markanteste Beispiel dafür. Der Plattform- und Schnittstellengedanke setzt sich sowohl nach unten (z.B. SDH, Link-Layer) als auch nach oben fort (z.B. Dienstplattformen, Anwendungsprogrammier-Schnittstellen, API). Die oberhalb der IP-Schicht liegenden Plattformen sind durch eine Vielfalt von „Middleware“ gekennzeichnet, d.h. hierarchische Software-Komponenten, welche in flexibler Weise konfiguriert werden können und möglichst standardisierte Schnittstellen und Funktionen bereitstellen.

2.3 Dienstgüte und Traffic Engineering

Während die klassischen TK-Netze einen hohen Grad an Dienstgüte (Quality of Service, QoS) bereitstellen, weist das gegenwärtige Internet keine kontrollierbare Dienstgüte auf. Die Integration einer Vielzahl von Diensten mit unterschiedlichen QoS-Anforderungen weist in Richtung von Steuermechanismen, welche Dienstgüte-Kriterien einzustellen erlauben.

Die Dienstgüte selbst ist ursprünglich durch die von einem Benutzer wahrnehmbare Qualität definiert (wie z.B. Sprachquali-

tät, Bildqualität, Datenintegrität oder Dienstverfügbarkeit). Diese Qualitätsmaße hängen von einer Vielzahl von Parametern ab wie z.B. der Güte eines Sprachcoders, der verfügbaren Bandbreite (Bitrate), der Störanfälligkeit eines Mobilfunkkanals, der Signalleistung, von Protokollparametern, der Länge des Übertragungsweges, dem Verkehrsaufkommen u.v.a.m. Diese Kriterien sind i.a. Eigenschaften bestimmter (Netz-) Schichten, so dass es erforderlich ist, die schichtenspezifischen Dienstgütemerkmale in die vom Benutzer wahrnehmbaren Dienstgütemerkmale zu transformieren.

Wichtige Metriken der Dienstgüte auf der Netzschicht sind z.B.

- der Verlust von Informationen durch Störeinwirkung oder Pufferengpässe
- die Verzögerung der Nutzinformationen.

Verluste können nicht toleriert werden, wenn die Datenintegrität erforderlich ist; sie werden z.B. durch Codierverfahren verbessert oder durch Protokolle und wiederholte Übertragung beseitigt. Verzögerungen spielen vor allem bei Echtzeitdiensten (wie Sprache, Multimedia) eine Rolle und können letztlich nur durch prioritäre oder getrennte Übermittlung reduziert werden. Die wichtigsten Ansätze zur Dienstgüte und zum Traffic Engineering werden in Kapitel 3 weiter ausgeführt.

2.4 Sicherheit

Die Offenheit und Verletzbarkeit des heutigen Internet erfordert die Einführung umfangreicher Schutzmaßnahmen zur Sicherstellung der Vertraulichkeit, der Integrität und der Verbindlichkeit für die übermittelten Daten, den Schutz gegen passive Angriffe (wie z.B. Abhören, Passwort-Erkennung), aktive Angriffe (wie z.B. Denial-of-Service-Angriffe) und die Autorisierung der Zugriffsberechtigung. Obwohl die theoretischen Verfahren hierzu bekannt sind wie Verschlüsselung, digitale Unterschriften, Authentifikation, Autorisierung, ist die Sicherstellung der Schutzziele in einem weltweiten Netz keine leichte Aufgabe und erfordert Methoden der Zertifizierung, der Schlüsselverwaltung, der Erkennung von Angriffsmustern u.ä.m.

Über die elementaren Sicherheitsfunktionen und Mechanismen hinaus tauchen im Zusammenhang mit neuen Diensten und Dienstmöglichkeiten neue Fragen auf wie etwa bei orts- und kontextbezogenen Diensten (Schutz vor Erstellung persönlicher Bewegungs- oder Verhaltensprofile), bei mehreren involvierten Instanzen mit unterschiedlichen Sicherheitsinteressen („mehreseitige Sicherheit“) oder bei Daten mit unterschiedlicher Vertrauenswürdigkeit.

2.5 Netzmanagement und Selbstorganisation

Der effiziente und kostensparende Netzbetrieb erfordert ein zunehmend hoch automatisiertes Netzmanagement, welches die Konfiguration, die Fehlererkennung und -behebung, die Einhaltung der Sicherheitspolicy, die Überwachung der Dienstgüte sowie die Abrechnung der in Anspruch genommenen Dienstleistungen erlaubt. Neue Anforderungen entstehen z.B. hinsichtlich einer schnellen Reaktion auf den Ausfall einer Backbone-Trasse oder eines Netzknotens (automatische Erkennung und Umkonfigurierung des Netzes bzw. der Verkehrlenkung), die automatische Erkennung der Umgebungstopologie und die möglichst selbstorganisierende Konfiguration von neuen, in das Netz eingefügten Netzkomponenten. Die heute verfügbaren

und kostengünstigen Controller-Bausteine erlauben zukünftig eine wesentlich stärkere Dezentralisierung der „Netzintelligenz“ (autonomic communication).

Eine weitere Herausforderung besteht in der Mobilitätsverwaltung. Die heute eingeführte Mobilitätsverwaltung in zellulären Netzen lässt sich nicht ohne weiteres auf mikrozelluläre Systeme übertragen und erfordert eine stärker dezentral organisierte Mobilitätsverwaltung. Ähnliches trifft zu für hochgradig variable Netztopologien wie etwa bei ad hoc-Netzen oder sich schnell bewegenden Netzknoten.

3 DIENSTGÜTE UND TRAFFIC ENGINEERING

3.1 Paradigmenwechsel

Die klassischen Telekommunikationsnetze arbeiten verbindungsorientiert; d.h. beim Aufbau einer Verbindung werden die erforderlichen Transportressourcen (Kanäle, Koppelemente) reserviert und der Verbindung für deren gesamte Dauer zur exklusiven Nutzung zugeordnet. Hierdurch konnten Merkmale der Dienstgüte (wie z.B. die Verzögerungen) sicher eingehalten bzw. durch hinreichende Dimensionierung der Ressourcen in Grenzen gehalten werden (wie z.B. die Häufigkeit eines Blockierungsfalles). Die Betrachtung der Aktivitäten hinsichtlich der Nutzkanalanforderungen konnte deshalb grobgranular auf Verbindungsebene (Sessionebene) erfolgen, welche zudem wenig Korrelationen aufweisen. Die zugehörige Planung und Dimensionierung der Netzressourcen hat einen stabilen und hohen Standard erreicht (Traffic Engineering). Auch die Auslegung der Steuereinrichtungen (Prozessoren, Controller, Signalisernetze) für echtzeitkritische Dienste wird beherrscht und erfolgt nach erprobten und gut begründeten Verfahren.

Selbst die zellbasierte Technik des Asynchronen Transfermodus (ATM), welcher die Übermittlung stark variierender Datenströme durch das asynchrone Multiplexen von Minipaketen konstanter Länge (Zellen) erlaubt, hat aufgrund seiner Verbindungsorientierung, der Beschreibung der Verbindungsmerkmale mittels weniger, aussagekräftiger Verkehrsparameter (wie Spitzen- und Durchschnittszellrate, maximale Büschellänge) und den Einsatz verfeinerter Verkehrssteuerungsalgorithmen (Quellflusskontrolle, Verbindungsannahme, Verkehrsprofilformung) die Möglichkeit einer statistisch garantierbaren Dienstgüte auf der Transportebene (network performance) ermöglicht. Allerdings führte hier die Betrachtung feingranularer Aktivitäten (wie Zellbüschel) bereits zur Erkenntnis einer zwingenden Einbeziehung der Verkehrskorrelationen.

Diese Entwicklung setzt sich in den Paketnetzen (wie dem Internet) fort; die Betrachtungsebenen umfassen zeitlich sehr stark unterschiedliche Aktivitäts-Zeitkonstanten (Sessionebene, Transport-verbundenebene, Paketebene), welche oft bis zu 8 Größenordnungen unterschiedlich sind und voneinander abhängen. Zudem zeigt die feingranulare Aktivitätsstruktur (z.B. die Generierung von Quellinformationspaketen einer Anwendung) eine hohe Korrelation und sogenannte „selbstähnliche“ Eigenschaften; diese selbstähnlichen Eigenschaften weisen gleichartige Verkehrsintensitätsmuster im (zeitlich) Kleinen und Großen auf und erschweren die Ressourcendimensionierung bzw. die Einhaltung von Garantien für die Dienstgüte erheblich. Zusammen mit der absichtlich angestrebten Einfachheit der Internet-Netztechnik, welche praktisch kaum irgendwelche Verkehrssteuerungsalgorithmen (außer dem Routing) aufweist, ergibt sich ein umfassender Paradigmenwechsel auf

dem Gebiet der Dienstgüteeinhaltung und der Auslegung der Netzressourcen.

Die NGN-Netztechnik soll nun aber die Basis aller Dienstekategorien sein. Dabei stellen hochvolumige Datenströme für Downloads und Content-Delivery wie auch echtzeitkritische Dienste wie die Sprachkommunikation („Voice over IP“, VoIP) nur die Eckwerte eines breiten Dienstgüte-Anforderungsspektrums dar.

3.2 Ansätze zur Dienstgütekontrolle im NGN

Zur Einhaltung von QoS-Kriterien in IP-basierten Netzen existiert eine Vielfalt von Möglichkeiten, welche auf Steuermaßnahmen (Traffic Control) und Auslegung von Netzressourcen (Traffic Engineering) beruhen. Bekannte Traffic Control-Maßnahmen sind: Quellflussüberwachung (Usage Parameter Control), Verbindungsannahmesteuerung (Admission Control), Puffer- und Scheduling-Strategien, Verkehrslenkungs-algorithmen (Routing Control). Unter Traffic Engineering fallen die lastgerechte Dimensionierung von Netzressourcen (u.a. auch Überdimensionierung), die Aushandlung von Dienstgraden (Service Level Agreements) oder die effiziente Übermittlung von Datenströmen (Flows) über parallel geschaltete Pfade (wie z.B. beim Multi-Protocol Label Switching, MPLS). Bekannte Verfahren hierzu wurden durch die Internet Engineering Task Force (IETF) mit den Konzepten IntServ und DiffServ vorgeschlagen. Eine wichtige Rolle spielen dabei neben den Verfahren in der Vermittlungsschicht auch höhere Protokoll-mechanismen, etwa der Transportschicht, über welche die Integrität oder die zeitliche Synchronisation hergestellt wird.

Diese Ansätze erfahren gegenwärtig eine hohe Aufmerksamkeit in der Forschungslandschaft, sind aber praktisch noch nicht weitverbreitet in die Anwendungen der Netztechnik und des Netzbetriebs eingedrungen. Dies liegt z.T. an der Komplexität des Problems, d.h. in den breit variierenden Anforderungen, ihrer geringen zeitlichen Konstanz, den Abhängigkeiten zwischen den unterschiedlichen Mechanismen, dem Fehlen eines beherrschbaren Gesamtkonzepts und, last but not least, den Kosten der flächendeckenden Einführung und der fehlenden Betriebserfahrung.

Praktisch begegnen die Netzbetreiber durch pragmatische Ansätze wie dem des Netzmonitoring zur Aufdeckung von Ressourcenengpässen und einer Überdimensionierung der Netzressourcen (Overprovisioning). Darauf aufsetzend können automatisch arbeitende Verfahren der Adaptivität zum Einsatz kommen, d.h. schnelles Umkonfigurieren von Backbone-Trassen bzw. schnelle Änderung der Verkehrslenkung (routing). Ein weiteres Merkmal ist dabei die Abkehr der Steuerung individueller (Anwendungs-) Datenflüsse, deren Kontrolle im Netz nicht „skaliert“; anstelle individueller Flüsse werden Aggregate gleichartiger Flüsse geschaffen und innerhalb des Netzes gemeinsam gesteuert bzw. weitervermittelt. Die Zugangskontrolle verlagert sich auf die Kanten des Kernnetzes, welche sich auch durch ein netzweites Monitoring unterstützen lässt. Die z.T. noch im akademischen Umfeld existierenden und beforschten Themen können dabei zum Verständnis und zur Durchdringung der auftretenden Phänomene beitragen sowie die Methodik zur Leistungsbewertung, zur Optimierung und zu Investitionsentscheidungen bereitstellen.

Zur Vertiefung dieser Aspekte wird auf die einschlägige aktuelle Literatur verwiesen.

4 ZUSAMMENFASSUNG

In dem Beitrag wurde versucht, die gegenwärtigen Entwicklungen in der Netztechnologie, den Diensten und den damit sich ergebenden Herausforderungen zu skizzieren. Im Gegensatz zu früheren Entwicklungen, wo versucht wurde, eine möglichst einheitliche Technik zu finden, welche allen Anforderungen gerecht wird, baut die NGN-Entwicklung auf der Fortentwicklung bestehender Netztechnologien auf, über denen eine möglichst einheitliche Transportfunktionalität in Form einer effizienten IP-basierten, verbindungslosen Paketvermittlung operiert. Von dieser Netzplattform aus können sehr unterschiedliche Dienste und Dienstmerkmale durch Middleware-Konzepte unterstützt werden. Das enorm gestiegene und weiter steigende Verkehrsvolumen, die spezifischen Anforderungen hinsichtlich Dienstgüte, Traffic Control und Traffic Engineering, Sicherheit, Management, Selbstorganisation und Mobilität stellen eine Vielfalt von Herausforderungen an die Entwicklung zur „Next Generation Networks“, welche sich vermutlich über die nächsten 5-10 Jahre vollzieht und zwischenzeitlich viele weitere Probleme in der Koexistenz unterschiedlichster Netzformen mit sich bringen wird.

5 LITERATUR

- [1] Braun, T.: IPnG. Neue Internet-Dienste und virtuelle Netzwerke. dpunkt-Verlag, Heidelberg, 1999.
- [2] Siegmund, G.: Next Generation Networks. IP-basierte Telekommunikation. Hüthig-Verlag, Heidelberg, 2002.
- [3] Trick, U.; Weber, F.: SIP, TCP/IP und Telekommunikationsnetze. Anforderungen-Protokolle-Architekturen. Oldenbourg-Verlag, München und Wien, 2004.
- [4] Eilenberger et. al.: Flexibel, effizient, intelligent: Breitbandige Kommunikationsnetze mit hoher Qualität für alle. ITG-Fachausschuss 5.3 „Optische Nachrichtentechnik“, 2004. www.vde.de/VDE/Fachgesellschaften/ITG/Arbeitsgebiete/Fachbereich+5/Fachausschuss+5.3.htm
- [5] Vorträge BMBF-Workshop Next Generation Networks (NGN). Berlin, FhG-Institut für Nachrichtentechnik, 27.-28.5.2004.