

## Die Geschichte des Internet als Lernprozess

Hellige, Hans Dieter

Veröffentlichungsversion / Published Version

Arbeitspapier / working paper

Zur Verfügung gestellt in Kooperation mit / provided in cooperation with:

SSG Sozialwissenschaften, USB Köln

### Empfohlene Zitierung / Suggested Citation:

Hellige, H. D. (2006). *Die Geschichte des Internet als Lernprozess*. (stark erw. Neubearb.) (artec-paper, 138). Bremen: Universität Bremen, Forschungszentrum Nachhaltigkeit (artec). <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0168-ssoar-368616>

### Nutzungsbedingungen:

*Dieser Text wird unter einer Deposit-Lizenz (Keine Weiterverbreitung - keine Bearbeitung) zur Verfügung gestellt. Gewährt wird ein nicht exklusives, nicht übertragbares, persönliches und beschränktes Recht auf Nutzung dieses Dokuments. Dieses Dokument ist ausschließlich für den persönlichen, nicht-kommerziellen Gebrauch bestimmt. Auf sämtlichen Kopien dieses Dokuments müssen alle Urheberrechtshinweise und sonstigen Hinweise auf gesetzlichen Schutz beibehalten werden. Sie dürfen dieses Dokument nicht in irgendeiner Weise abändern, noch dürfen Sie dieses Dokument für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, aufführen, vertreiben oder anderweitig nutzen.*

*Mit der Verwendung dieses Dokuments erkennen Sie die Nutzungsbedingungen an.*

### Terms of use:

*This document is made available under Deposit Licence (No Redistribution - no modifications). We grant a non-exclusive, non-transferable, individual and limited right to using this document. This document is solely intended for your personal, non-commercial use. All of the copies of this documents must retain all copyright information and other information regarding legal protection. You are not allowed to alter this document in any way, to copy it for public or commercial purposes, to exhibit the document in public, to perform, distribute or otherwise use the document in public.*

*By using this particular document, you accept the above-stated conditions of use.*

**Hans Dieter Hellige**

**Die Geschichte des Internet als Lernprozess  
(Stark erweiterte Neubearbeitung  
von artec-paper 107, Nov. 2003)**

**artec-paper Nr. 138  
November 2006**

**ISSN 1613-4907**



artec - Forschungszentrum Nachhaltigkeit  
Enrique-Schmidt-Str. 7  
Postfach 330 440  
28334 Bremen  
<http://www.artec.uni-bremen.de>

erscheint in:  
Kreowski, Hans-Jörg (Hrsg.) Informatik und Gesellschaft. Verflechtungen und Perspektiven  
(Kritische Informatik, Bd. 4), Münster, Hamburg, Berlin 2007

# Die Geschichte des Internet als Lernprozess

Hans Dieter Hellige

**Abstract:** Der Beitrag reflektiert die bisherigen Geschichtsbetrachtungen von Pionieren und Historikern des Internet. Er möchte zeigen, dass die bislang dominierende heroische Sichtweise die eigentlich interessierenden Entwicklungen des Internets von einer unvollständigen Systemlösung zu einem massentauglichen Informations- und Kommunikationsmedium ausblendet. Am Beispiel des Wandels der Leitbilder und Nutzungsszenarien der engeren Internet-Community und der Prägungswirkungen der Akteurskonstellationen auf die Netzwerkarchitektur werden neuere Ansätze der historischen Technikgeneseforschung auf die Internet-Entwicklung angewendet. Dabei zeigt sich, dass das heutige Internet keinesfalls von Beginn an so geplant war und dass sein Erfolg immer wieder durch akteurbedingte Schließungsprozesse gefährdet war. Die stufenweise Ausweitung der Nutzerpopulationen und die Entstehung und Verkettung kritischer Massen waren vielmehr Resultat vielfältiger Lernprozesse sowie sozio-technischer und ergonomischer Innovationen, die vor allem durch kritische User eingebracht wurden.

## 1 Einleitung

Das Internet ist im letzten Jahrzehnt zum Gegenstand der Geschichtsbetrachtung und Geschichtsschreibung geworden. Die Pioniere der Computernetz-Community selber haben bereits intensiv damit begonnen, in historischen Rückblicken und Erinnerungen ihre Sicht des Entwicklungsganges darzustellen und die lässt sich überspitzt auf die Kurzformel bringen: Männer machen Geschichte - von der Vision zur Tat und dadurch zum Sieg. Kennzeichen dieser Art von Traditionskonstruktion sind die starke Betonung von Prioritätsansprüchen, die Stilisierung des eigenen Lebenslaufes auf das spätere Resultat hin, die Schaffung eines linearen Entwicklungsganges von der frühen Vision zum erfolgreichen System. Dabei werden meist alle Gegenläufigkeiten, Zufälligkeiten und Kontingenzen ausgeblendet. Besonders typische Beispiele für derart stilisierte "personal histories" von Erfindern sind Leonard Kleinrocks Skizze "The Birth of the Internet" von 1996 und Tim Berners-Lees Web-Report von 1999. So zieht Kleinrock eine durchgehende Linie von seiner Science Fiction-Lektüre im Alter von sechs Jahren über seine theoretischen Analysen der Datenpaketvermittlung zu seinen derzeitigen Visionen eines Nomadic bzw. Ubiquitous Computing. "Kleinrock", so spricht er in dritter Person von sich, "has provided the leadership and vision to help bring this about. From a comic book to cyberspace, an interesting journey indeed." [Kl96] Bei Berners-Lee war es ein viktorianisches Hausbuch seiner Eltern, das ihm "das Tor zu einer Welt der Information" geöffnet hat und den ersten Keim zum späteren WWW legte. Die Leitidee für das Web, Informationen im Computer nicht in Hierarchien oder Matrizen zu speichern, sondern in einer netzartigen Struktur zu verbinden, habe seit seiner Schulzeit im Hinterkopf geruht, bis äußere Praxisforderungen in der Universität und im Forschungszentrum CERN sie reaktiviert hätten [BF99, S. 11, 14 f.; vgl. auch GC02, S.

161ff.]. Insgesamt suggerieren diese Geschichtsbetrachtungen, dass die Pioniere das Konzept des ‚Internet‘ schon fertig in ihren Köpfen entwickelt hatten. Schaut man sich diese und andere Texte von Pionieren und Historikern jedoch näher an, so stellt man erhebliche Unterschiede in den Auffassungen fest, *was* mit Internet überhaupt gemeint ist und *wann* das Netz der Netze entstanden ist. Ähnlich wie in dem noch immer schwebenden Zunftstreit, wer den Computer erfunden hat [RH00], erfolgt auch hier die Begriffsfestlegung auf die eigene Prioritätsauffassung hin und entsprechend variieren die Entstehungszeitpunkte des Internets.

<b>Erfindungsdatum</b>	<b>Internet-Pionier</b>	<b>Internet-Auffassung</b>
1959/62	Baran	Universales paketvermitteltes Kommunikationsnetz für DatenSprach- und Videokommunikation
1960/63	Licklider	Time-Sharing-Zentralennetz für Informationsversorgung und interaktives Problemlösen
1961/64	Kleinrock	Analytische Modelle für stochastische Computer-Kommunikationsnetze
1965/68	Davies	Nationales Paketdaten-Infrastrukturnetz für Time-Sharing-Systeme
1967/69	Roberts	Resource-Sharing-Netzwerk auf Paketvermittlungsbasis
1973/74	Kahn/Cerf	Internetwerkprotokoll für heterogene Paketvermittlungsnetze
1979/80	Trucott/ Bellovin/Ellis	Kommunikations- und Informationsverteilungssystem in der Selbstorganisation der Nutzer (Usenet)
1979/81	Nelson	Weltbibliothek vernetzter Hypermedia-Dokumente (‚Docuverse‘)
1989/90	Berners-Lee	Hypertext zum WWW, globales Wissens- und Kooperationsmedium
1991/93	Gore	Nationale/globale Informations-Infrastruktur (Information-Superhighway)
1993/94	Andreessen	Massentaugliches Informations- und Electronic-Commerce-Medium auf GUI-Browser-Basis

Diese Zusammenstellung macht deutlich, dass es ziemlich müßig ist, nach *dem* ‚Vater‘ des Internet und nach einem einzigen Zeitpunkt der Invention oder Innovation zu fragen. Die Arpanet-Internet-Pioniere harmonisierten später selber ihre konfligierenden Prioritätsansprüche in einer gemeinsamen Geschichtsdarstellung als eine Kette von Einzelschritten [LCC03] Es gibt hier nicht *den* ‚system builder‘, den großen Integrator, den Thomas P. Hughes als die Schlüsselfigur bei der Genese großtechnischer Netzwerke annimmt [Hu83, S. 18ff.; Hu87], sondern eine ganze Kette von Systemarchitekten, Promotoren und Innovationsinstanzen. Das Internet ist weder eine Garagen- noch eine Labor-Erfindung, sondern eine komplexe Systementwicklung, die in mehreren Stufen an den Nahtstellen von universitärer und militärischer Großforschung sowie informatischen User-Kulturen entstanden ist. Dabei beruht die Stufenfolge nicht auf einer zwanghaften Entwicklungslogik, es gibt auch

nicht *die* Keimzelle, aus der die *ganze* spätere Entwicklung hervorgegangen ist. Neue technische Systeme, insbesondere großtechnische Netzwerke sind das Ergebnis mehrstufiger Geneseprozesse, bei denen es jeweils neue Akteurskonstellationen, Konkurrenzsituationen, Entscheidungskonflikte, Pfadalternativen und Abbrüche gibt, und diese werden von der für Pioniere typischen heroischen Geschichtsbetrachtung selten gesehen [vgl. u.a. WK97].

Doch die Geschichte und Geschichtsmächtigkeit des Internet ist nicht nur Gegenstand autobiographischer Betrachtungen der Technikmacher, sondern seit über zehn Jahren auch der Geschichtsschreibung und -forschung. Das Internet ist hier in der letzten Zeit bereits eine Leit- oder Modetechnik geworden, von der aus man frühere Telekommunikations- und Informationstechniken auf neue Weise sieht. So sprechen Historiker der optischen und elektrischen Telegraphie nun vom "optischen Internet" oder vom "viktorianischen Internet" und den Online-Pionieren des 19. Jahrhunderts. [HP99; St99]. Ebenso entdecken Medien- und Kulturhistoriker in der Geschichte des Bibliotheks- und Dokumentationswesens und der Enzyklopädie ständig neue "Paper-based Internets und Hypertexts" [vgl. hierzu He00]. In den bisherigen historischen Gesamtdarstellungen zur Geschichte des Internets selber begünstigt dessen Rolle als neuer Leittechnik eine ausgeprägt heroische, auf Erfinder, Forscher und Gründerfirmen zentrierte Perspektive.

So konzentrieren Katie Hafner und Matthew Lyon ihre spannend geschriebene Schilderung der Ursprünge des Internet von 1996, ganz auf die MIT- und UCLA-Community sowie vor allem die MIT-nahe Entwicklungsfirma Bolt, Beranek & Newman (BBN), die zusammen die Arpanet-Protokolle geschaffen haben. Das Arpanet und das aus ihm her vorgegangene Internet werden bei ihnen linear aus den genialen Lösungen einer kleinen Forscher- und Ingenieurelite heraus entwickelt. Es sind hier einige "wizards", Zauberer, die Weltgeschichte schreiben, während die User erst sehr spät auf den Plan treten [HL97]. Die Erfolgsperspektive dominiert auch in der Dissertation von Judy O'Neill und dem zusammen mit Arthur L. Norberg verfaßten grundlegenden Buch über die militärische Forschungsförderungszentrale ARPA, speziell deren informationstechnischer Abteilung (IPTO). Sie haben erstmals durch ihren Oral History-Ansatz wertvolles Erinnerungs-Material erschlossen, sie folgen dadurch in ihren Wertungen aber auch oft dem Selbstverständnis der von ihnen befragten Arpanet-Internet-Pioniere [ON92; NO96]. M. Mitchell Waldrops Geschichte des Personal und Internet-Computing hat eine ähnlich institutionelle Perspektive, allerdings stärker fokussiert auf die eminente Rolle von Joseph Licklider und Robert Taylor [Wa01]. Demgegenüber entwickelt John Naughton die Internet-Historie als eine ganze Kette herausragender Einzelpersonen, die „heroes“ und „visionaries“ von Norbert Wiener über Lawrence G. Roberts bis zu Tim Berners-Lee, "who implemented their dreams in software and hardware" und „who laid the foundations of the post-modern world“ [Na99]. Bei diesen Büchern wie auch in "Casting the Net" von Peter Salus [Sa95] erscheinen Arpanet und Internet überwiegend als Datenübertragungstechniken, Netzwerkarchitekturen und Protokollwelten. Die Nutzer der Technik und ihre Anwendungen treten demgegenüber stark in den Hintergrund.

In anderen Darstellungen stehen die User dagegen ganz im Mittelpunkt der Geschichtsdarstellung. So in dem aus der Grassroots-Perspektive geschriebenen Buch "Netizen" von Ronda und Michael Hauben, das sich folgerichtig auch weitgehend auf das Internet-Teilnetz Usenet und die Newsgroups konzentriert [HH97]. Doch heroisch ist auch ihre Sicht: Eine Gruppe von Informatikstudenten baut sich im Alleingang ihre eigene Welt im Netz und gibt damit der Weltgeschichte eine neue Wendung in Richtung Selbstorganisation und Basisdemokratie. In dem teils historischen, teils autobiographischen Buch von James Gillies und Robert Cailliau sind es visionäre Netz-User wie Tim Berners-Lee und er selber, die mit dem World Wide Web im Kernforschungszentrum CERN die Basis für den globalen Wissensaustausch legten und damit erst die Geschichte des Internet zur Vollendung brachten [GC02]. Für Robert H. Reid wiederum sind Pioniere wie Marc Andreessen, Kim Polese und Jerry Yang die eigentlichen Helden der Internet-Evolution. Denn erst diese „Architects of the Web“ hätten mit ihren genialen Anwendungserfindungen 1994/95 der breiten Nutzung und der Kommerzialisierung des Internet zum Durchbruch verholfen [Re97].

So bestätigt ein Großteil der bisherigen Geschichtsschreibung über das Internet und die Computernetze die historiographische Erkenntnis, dass Historiker neuer Technikzweige besonders zu traditionell heroischen Sichtweisen und rein narrativen Darstellungsformen neigen. Infolge der großen Nähe zur Pioniergeneration und deren Prioritätsstreitigkeiten teilen diese Geschichtserzählungen die Probleme der auf persönliche Akteure zentrierten Technikgeschichtsschreibung:

- die naive Identifikation mit den ausgewählten "dramatis personae"
- Darstellung und Deutung der Entwicklung aus der Sicht der Sieger
- Unterschätzung der strukturellen Bedingungen und
- Ausblendung der Theorie- und Methodenprobleme bei der Verknüpfung der Einzelereignisse und Entwicklungsmomente

Mit ihrer theoretisch-methodischen Rückständigkeit trägt die heroische Geschichtsschreibung über das Internet nur bedingt zur Bewertung von Akteurskonstellationen sowie zur Reflektion von Handlungs- und Gestaltungsalternativen bei. Sie versperrt den Blick auf Lernprozesse in der Technikentwicklung, insbesondere auf die anfangs erheblichen Anwendungslücken und Nutzungsprobleme der *unvollständigen Systemlösung* Internet. Angesichts dieser Defizite hat Jon Guice 1998 gefordert, endlich das Know-how der historischen und soziologischen Technikforschung auch auf das Internet anzuwenden [Gu98].

Es gibt aber bereits eine Reihe von Arbeiten, die sich dieser Aufgabe gestellt haben. So rückt besonders die von Thomas P. Hughes angeregte Dissertation von Janet Abbate "Inventing the Internet" [Ab99] die Internet-Genese in einen komplexeren gesellschaftlichen Zusammenhang. Sie betrachtet das Netz nicht mehr nur aus der Perspektive kleiner Pioniergruppen, sondern einer Vielzahl beteiligter Akteure. Sie bezieht erstmals auch umfassender die Geschichte der Nutzung und der durch sie bewirkten Veränderung des Netzes mit ein. Abbate zerstört dadurch eine Reihe von Legenden über das frühe Arpanet und Internet und zeigt, dass erst aufgrund von

Klagen, Forderungen und durch die Beteiligung der Benutzer das Netz zu einem allgemeinen Informations- und Kommunikationsmedium geworden ist. Hughes selber, der Begründer der "Large Systems History", widmet in seiner Geschichte großer amerikanischer Technikprojekte dem Arpanet ein Kapitel, worin er seinen bislang stark auf herausragende System-BUILDER fokussierten technikgenetischen Ansatz auf Institutionen- und Erfinder-Netzwerke ausweitet. Mit Blick auf den kollegialen Forschungsstil wertet er die Arpanet-Entwicklung als 'small-scale big science' und als ein frühes Beispiel eines "postmodern project" [Hu98]. Studien von Michael Friedewald [Fr00] und Manuel Castells dehnen die sozial- und kulturhistorische Geschichtsbetrachtung auf die in den 90er Jahren voll einsetzende Phase der Kommerzialisierung des Internets aus. Castells zieht dabei das Fazit, dass das Internet im wesentlichen aus "der Kreativität in der Gesellschaft und der Innovation im Wirtschaftsleben" hervorgegangen und "das Ergebnis der gesellschaftlichen Aneignung seiner Technologie durch seine User/Produzenten" ist [Ca05, S. 207f.].

Das Potential der historischen und soziologischen Technikgeneseforschung ist aber noch lange nicht ausgeschöpft. Die folgende Darstellung möchte deshalb am Beispiel der Leitbild-Analyse und der Frage der sozialen Prägung technischer Systeme ausloten, inwieweit technikgenetische Ansätze zur aktuellen Technikbewertung des Internet beitragen können. Es geht erstens um die Frage nach den wirkenden Leitbildern der Akteure, ihres Wandels im Laufe der Netzentwicklung und ihrer Auswirkungen auf die Nutzungseigenschaften. Der zweite Punkt ist die Frage von Prägewirkungen von Akteurskonstellationen auf die Architekturen von Rechnernetzen und auf deren Erfolg oder Misserfolg.

## 2 Leitbilder und Nutzungsvisionen der Internetpioniere

Folgt man den Schilderungen von Pionieren und der sich ihnen anschließenden Historiker, so entwickelten die Erfinder und Innovatoren der Internet-Technologie schon vor Beginn der Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten Visionen über die künftige Technik und ihre Nutzung, die dem heutigen Internet schon recht nahe kamen. Alle führenden Designer, so sieht es David Walden aus der Rückschau, seien von Beginn an von der weltverändernden Wirkung des Packet Switching überzeugt gewesen: "I think there is another thing that I believe Roberts understood, Kahn, and those people who are real thinkers understood early on, certainly the rest of us realized quite quickly, which is that putting in this infrastructure would change the way the world worked, not the communications world, but the way people worked. From the first time we sent a message across the network or wrote a paper across the network, none of us had any doubt that what you are seeing today with thousands of distribution lists and virtual networks and worldwide queries. It was going to happen. So we thought we were changing the world, I think." [Wa90, S. 28]

Neben der Leitbild*kontinuität* beanspruchen sie für ihre Infrastruktur- und Anwendungsvisionen zugleich meist die Leitbild*originalität*. Beides widerspricht jedoch den Beobachtungen in anderen Kommunikations- und Informationstechniken, etwa

beim Telefon, Radio und vielfach auch beim Computing [vgl. He96a]. Danach sind die Vorstellungen von Erfindern und Entwicklern über das künftige Anwendungspotential anfangs meist sehr begrenzt und noch stark an etablierten Techniken orientiert. Das dann tatsächlich umgesetzte Nutzungsspektrum weicht oft erheblich von den ursprünglichen Visionen ab. Dieser Sachverhalt scheint sich bei einer Untersuchung der in der Fachöffentlichkeit artikulierten Visionen und Zielvorstellungen der Internet-Pioniere und –Promotoren zu bestätigen. Besonders gut lässt sich dies am Beispiel des berühmten Information-Highway-Leitbildes zeigen.

Der frühere Vizepräsident der USA Al Gore beansprucht für sich, den Begriff Information-Highway bzw. Super-Highway geprägt zu haben. Er verweist darauf, dass er bereits 1979 und dann wieder ab 1989 den Begriff in die Debatte geworfen habe, wobei das von seinem Vater im Kongress geförderte Interstate-Highway-Netz der 50er Jahre das Vorbild hierfür gewesen sei [Go89, ihm folgend Ks96, S. 17]. Dabei macht Gore zwischen den frühen und späten Artikeln, Reden und Verlautbarungen keinen Unterschied, alle scheinen dem heutigen Internet-Verständnis zu entsprechen. Eine Durchsicht der Quellen zur Highway-Metapher ergibt aber, dass Gore anfangs ein eher nachrichtentechnisches Datenübertragungsnetz im Blick hatte: Er erwartete von einem landesweiten Breitbandnetz auf Glasfaserbasis eine neue technische Revolution, er spricht sogar von einer neuen kopernikanischen Revolution [Go91a/b]. Er vertrat so ein Konzept, wie es ähnlich von der Telekommunikationsindustrie mit dem Breitband-ISDN verfolgt wurde. Erst 1993 setzte Gore dann voll auf das Internet, ohne dabei seine Fixierung auf die Übertragungsstrecken, die physikalischen Highways, je ganz aufzugeben.



Abb. 1: Cartoon von Steve Greenberg im *Seattle Post-Intelligencer* vom 18.10 1993  
(Diese Karikatur spiegelt noch die starke Telekommunikations-Orientierung der frühen Information-Highway-Metapher)

Zieht man frühere Belege in der Computerkommunikation hinzu, so entstehen auch Zweifel am Originalitätsanspruch Gores, denn Highway-Metaphern lassen sich be-



reits im Kontext der Time-Sharing-Netze der 60er Jahren nachweisen. Als bisher frühesten Beleg habe ich einen "Data Highway for On-line Computer Application" im britischen JANUS-System von 1968 gefunden, hier noch in der Bedeutung eines Standardprotokolls der Atomforschungszentren zur Verknüpfung aller „devices“ in verteilten Computersystemen [HB68]. In den 70er Jahren taucht "Data Highway" als technische Bezeichnung für das Inhouse-Netzwerk von Host- und Subhost-Computern auf [YT 78, S. 257 f.]. Bei James Martin ist die Metapher 1971 bereits Ausgangspunkt für Visionen einer stärker immateriellen Ökonomie: In einem Zukunftsszenario der Informationstechnik zog er eine Parallele zwischen der Umwälzung des Transports in der Industriellen Revolution und der „Electronic Revolution“ durch „future laser highways“ [Ma71, S. 6, 217 f.]. Ab 1972 wurde dann ein "Electronic Communication Highway" in Verbindung mit dem Kabelfernsehen propagiert [Sm72]. Und 1978, d.h. ein Jahr vor dem ersten Vorschlag von Gore, entwarf James Martin in seinem Weltbestseller "The Wired Society" unter dem Titel "New Highways" ein breitbandiges Zukunftsszenario: In ihm verbinden "Telecommunication Highways" große Time-Sharing-Zentralen mit den Nutzern und substituieren dadurch die physikalischen Highways [Ma78, S. 7-15]. Die Metapher ist also bereits Bestandteil früherer Universalnetz-Visionen und -Konzepte. Sie wanderte von den Time-Sharing-Netzen in das Zweiweg-Kabelfernsehnetz-Szenario der 70er Jahre und von dort in die Breitband-Kommunikationsszenarien der 80er Jahre, um schließlich seit den frühen Neunzigern in der Internetwelt den großen Durchbruch zu erzielen. Al Gore hat also weder die Highway-Metapher geschaffen noch ist er der Begründer einer weltweiten Informations-Infrastruktur, seine besonderen Verdienste liegen vielmehr darin, das Internet zu einer zentralen Agenda nationaler und internationaler Politik gemacht und dadurch die *Diffusion* der Computernetze entscheidend vorangebracht zu haben.

Derartige Abhängigkeiten zur Leitbild-Produktion früherer Techniken lassen sich auch bei den anderen Anwendungs- und Infrastruktur-Leitbildern im Internet-Umkreis nachweisen. Es ergibt sich sogar der erstaunliche Sachverhalt, dass sich für die meisten Nutzungsvisionen bereits Vorläufer bzw. Vorbilder im Kontext der Time-Sharing-Technologie finden lassen. Diese haben sich, wie ich aus einer Durchsicht der Fachliteratur, Fachzeitschriften und Tagungsbände ermittelt habe, in Gestalt einer Leitbildkette aus engeren, technikbezogenen Vorstellungen zu umfassenden gesellschaftlichen Technikvisionen und Großszenarien entwickelt [He96b]. So wurden bereits in den späten 50er und 60er Jahren Technikszenarien und Nutzungsvisionen formuliert, die erst sehr viel später umgesetzt oder in Angriff genommen wurden: Telebank-ing, Teleworking, Telelearning, Telemedizin, Elektronische Bibliotheken und Zeitungen. Die Leitbildansprüche gingen dabei weit über die seinerzeit technisch erreichbaren Nutzungspotentiale hinaus, auch noch, als die Internet-Pioniere hieran in den 70er Jahren anknüpften. Es zeigt sich auch hier, dass es einen permanenten Leitbildtransfer zwischen verschiedenen Techniken gibt und dass Pioniere einer Technik oft in Leitbildhorizonten früherer Techniken befangen sind. Wie folgenreich eine solche Vorprägung sein kann, belegen besonders gut die in der Fachöffentlichkeit und darüber hinaus propagierten Zielvorstellungen der Arpanet-Internet-Community. Die Anknüpfung an die frühere Leitbildproduktion war dabei unterschiedlich. Die weitestgehenden Nutzungsvisionen entwickelten Joseph R.

Licklider und Douglas Engelbart, d.h. jene Pioniere und Promotoren, die ihre Leitbilder schon lange vor Arpanet und Internet in der Time-Sharing-Ära entwickelt hatten.

Licklider, der von der Psychologie über die Psychoakustik zur Computertechnik gekommen war, verband anfangs das „Library of the Future“-Konzept mit der Idee eines Netzes von „Thinking Centers“ und der „Man Computer Symbiosis“ [Li60] zu einem umfassenden Modell der Wissensversorgung und des kooperativen interaktiven Problemlösens [Li65]. Im Zentrum seiner Nutzungsvisionen standen ab 1962 „computer-aided teaching and learning“ sowie „computer-aided planning and design“ [LC62]. Er als ein eigentlich Fachfremder war es, der die wichtigsten Anstöße für das „interactive computing“ und das „networking“ gab, von dem er sich eine Verdopplung bis Verzehnfachung der geistigen Produktivität und Rationalisierung der Forschung versprach [Li88, S. 29 f.]. Anfangs stand auch bei ihm das Loadsharing zwischen gleichen Maschinen, das „remote computing“ und die verteilte Nutzung spezieller Hardware und Software-Ressourcen in der Contractor-Kooperation im Zentrum. Doch bald traten das Data-Sharing und der Informationsabruf aus zentralen Datenbanken in den Vordergrund. In der zweiten Hälfte der 60er Jahre löste er sich aufgrund der Erfahrungen der von ihm initiierten MIT-Projekte MAC- und INTREX vom zentralvermittelten Versorgungskonzept und propagierte nun konsequent den Kommunikationsansatz von „on-line communities“ [LT68], den 1965 erstmals Overhage und Harman in einer Zukunftsvision für das Jahr 1975 dargelegt hatten [OH65]. Durch das „linking up of the existing online communities“ würden in Zukunft riesige weltweite „online supercommunities“ entstehen, „a mobile network of networks, ever changing in both content and configuration“ [LT68, vgl. auch He04, S. 367]. Ähnlich erweiterte Engelbart Ende der 60er Jahre seine anfangs lokalen Groupware-Konzepte zur Vision eines umfassenden „Knowledge Market“, durch den die „social organisms“ ein grundlegend verbessertes „nervous system“ erhalten sollten [En70]. Beide Pioniere gaben zwar dem Arpanet eminent wichtige Anstöße, sie waren aber nicht unmittelbar an dessen technischer Genese beteiligt.

Der engste Kreis der Erfinder und Entwickler von Arpanet und Internet äußerte demgegenüber in Artikeln, Memoranden und Tagungsbeiträgen in der Genesephase des Netzes weitaus begrenztere Zielvorstellungen. Mit Blick auf die in den 60er und 70er Jahren noch sehr hohen Hardwarekosten vertraten sie lange Zeit die von der ARPA vehement vertretene Parole der Rechner-Vernetzung als Instrument der gemeinsamen Nutzung von Hardware- und Software-Ressourcen und damit als Sparstrategie bei öffentlichen Forschungsmitteln. Für Leonard Kleinrock, der unter Hinweis auf seinen Dissertations-Vorschlag vom März 1961 am MIT wohl am nachdrücklichsten beansprucht, „Father of the Internet“ zu sein, ging es anfangs allein um die mathematische Modellierung von Transportflüssen in einem 'paket'basierten „multi-terminal communication net“ [Kl61]. Mithilfe einer Verknüpfung von Warteschlangentheorie, Wahrscheinlichkeitstheorie und Informationstheorie gelang ihm auch tatsächlich der Nachweis der Berechenbarkeit und Beherrschbarkeit des Durchsatzes und der Ausbreitungsverzögerung (Latenz) in Mehrknoten-Netzen mit verteilter Steuerung. Mit seinen theoretischen Modellen und Messkonzepten wies er

erstmalig die von der gesamten Telekommunikations-Community bisher bestrittene Machbarkeit von Packet-Switching-Systemen nach (er selber sprach von "time slicing" und "distributed control in data networks") [Kl64; Kl90, S. 7f.]. Kleinrocks netzwerktheoretische Forschungen waren wirklich Schule-bildend, sie prägten herausragende Internet-Pioniere wie Vinton G. Cerf, Jon Postell und Stephen D. Crocker, sie waren zugleich die wesentliche Grundlage für das zentrale Netzwerkmanagement.

Bei den Nutzungsvorstellungen für diese neue Netzarchitektur orientierte sich Kleinrock offensichtlich noch bis in die Anfangsjahre der Arpanet-Entwicklung hinein ganz an den Resource-Sharing- und Versorgungs-Konzepten der Time-Sharing-Ära: „In computer communications systems we have a great need for sharing expensive resources among a collection of high peak-to-average (i.e., ‚bursty‘) users.“ [Kl78, S. 1320]. Das Arpanet war für ihn „a nationwide computer network which, for the first time, will link together computers of different makes and using different machine languages into *one time-sharing system*.“ [Kl69a, meine Hervorhebung, ähnlich in Kl69b]. Das Fernziel der Entwicklung sah er in einer Ausbreitung von „‚computer utilities‘, which, like present electric and telephone utilities, will service individual homes and offices across the country.“ Noch in dem den Anwendungen gewidmeten zweiten Band seiner „Queueing Systems“ von 1976 ist „Resource Sharing“ der Hauptnutzungszweck von Computernetzen: Vor allem Großorganisationen wie Staat und Militär sowie Verkehrsträger, Großunternehmen, Banken und Handel bedienen sich der Datennetze zur effizienten Abwicklung ihrer Geschäftsprozesse [Kl76, S. 270 f.]. Für die Privathaushalte referiert Kleinrock im wesentlichen die Anwendungsszenarien, die bereits in den 60er Jahren für die Time-Sharing-Systeme diskutiert wurden: die Datenbankabfrage, „home education“, Tele-Voting und Warenbestellung [vgl. He96b, S. 226 ff.].

Auch der "Chief Scientist" und erste Designer des Arpanet, Lawrence G. Roberts, der durch Kleinrocks Modellberechnungen zur Paketnetz-Architektur bekehrt wurde, bewegte sich in ähnlichen Vorstellungen wie die frühen Pioniere der Time-Sharing-Systeme. Für ihn war das Netz in erster Linie ein Mittel zur Rationalisierung der Ressourcennutzung: „a computer network is defined to be a set of autonomous, independent computer systems, interconnected so as to permit interactive resource sharing.“ [RW70, S. 543] Es sollte vor allem die Zahl der von der ARPA zu fördernden Time-Sharing-Systeme verringern und der besseren Auslastung teurer Hardware-Ressourcen dienen, so zum Beispiel des Supercomputers ILLIAC IV. Ebenso sollte ein Programm eines Rechners die Software anderer Rechner einer „local community“ wie „subroutines“ aufrufen können, wodurch auch die Software-Ressourcen durch möglichst viele genutzt werden könnten [RW70, S. 543 f.]. In Zukunft werde jeder „corporate officer“ mehrere Konsolen [sic!] auf seinem Schreibtisch haben, die ihn mit dem Rechenzentrum der eigenen Firma und denen der Börse, des Rohstoffhandels usw. verbinden. Roberts dachte auch bereits an kommerzielle Anbieter von Datenverarbeitungs-Diensten, doch er hielt es 1970 für schwer vorhersehbar, welche Dienste im Netz angeboten würden [RW70, S. 549]. Erst 1974, als er nach seinem Weggang von der ARPA in der von ihm gegründeten BBN-Tochterfirma "Telenet" X-25-Dienste anbot, nannte er „Electronic Funds

Transfer“, „integrated corporate data networks“ und den nationalen Datenbankabruf als die herausragenden Datenübertragungsdienste [Ro74]. Doch auch hier sollte Vernetzung vor allem die Skalenökonomie und Rationalisierung der bestehenden Geschäftsprozesse fördern. Wirklich originell und weit vorausschauend war er dagegen mit seiner 1972 im Anschluss an das ALOHA-Datenfunknetz der Universität von Hawaii entwickelten Idee, die Nutzer künftig mit einem mobilen "Hand Held Personal Terminal" auszustatten, das mit einem 3-Zoll Plasma-Bildschirm und dem 5-Finger-Keypad von Engelbart bedient werden sollte. Dieser frühe Wearable Computer, mit dem Roberts den Nachrichtenaustausch und den Computerzugriff flächendeckend anzubieten hoffte, kam seinerzeit allerdings nicht über eine folgenlose Ideenskizze hinaus [Ro72, S. 296].

Selbst Robert Kahn und Vinton G. Cerf, die 1972 als erste das Internetworking-Problem erkannten und in Angriff nahmen, begründeten lange Zeit die Überbrückung heterogener Computernetze mit notwendigen Einsparungen bei Hardware- und Software-Ressourcen. In ihrer berühmten Publikation des ersten Architekturmodells des Internets vom Winter 1973 formulierten sie ausdrücklich als Leitbild „a protocol design and philosophy that supports the sharing of resources that exist in different packet switching networks.“ [CK74, S. 637] Für Kahn, der durch netzwerktheoretische Studien in die ARPA Network-Entwicklung gekommen war und dort die Rolle eines "leading theoretician" einnahm [Wa90, S. 2], stand das „pooling“ und „sharing of resources“ zur besseren Ausnutzung des Computer Equipments derart im Mittelpunkt, dass er noch während der Arbeiten an den Internetprotokollen diese Netze als „resource-sharing computer networks“ bezeichnete. [Ka72, S. 1398f.; Ka75, S. 169 f.]. Auch das Arpanet war nach seiner Auffassung nicht auf den „user access“ hin entworfen, sondern auf den Verbund von Computern: „This network was developed to ultimately allow economic and reliable sharing of specialized computer resources.“ [Ka72, S. 1398f.].

Kahn griff zwar die verbreitete Auffassung vom "computer communications" network als ein "marketplace" für „computer-related-services“ großer kommerzieller oder institutioneller Time-Sharing- und Batch-Processing-Zentren auf. Doch ging es ihm auch dabei vor allem um „load sharing und data sharing-services“: um „program access to specialized data bases“, „distribution and delivery [sic] of mail“, „faster program execution“ sowie um „efficient usage of available resources“. Das Netz sollte die „network community“ zur „close cooperation between individuals“ anhalten, um Mehrfachausstattung und Doppelarbeit zu vermeiden [Ka72, S. 1399, 1404 f., 1407]. Er erwartete zwar, dass die Interaktion von Gruppen über Computernetzwerke "can further cross-fertilize the network community and encourage even higher levels of achievement through technical cooperation", doch dachte er auch hierbei mehr an die Rationalisierung von F&E-Aufwendungen als an den allgemeinen wissenschaftlichen Austausch. Besonders wichtig war ihm die über mehrere Computer verteilte Abwicklung rechenintensiver Jobs etwa zur Wettervorhersage und für aufwendige Simulationsprogramme: „In such a network, the combined resources of all the host computers are available to each host as if the network were a single distributed computer system [KC72, S. 539]. Seine Forschungsanstrengungen waren demgemäß auch vorrangig darauf gerichtet, durch informationstheo-

retische Methoden, optimale Topologiegestaltung und saubere Funktionsschichtung die Gefahr von Blockaden und Zusammenbrüchen bei großen Transportvolumina im Netz zu verhindern. Kahn versuchte als Hauptverbindungsmannt zum Militär besonders militärische Dienststellen für die mobile und satellitengestützte Computernutzung zu gewinnen und sie von der erhöhten Robustheit und Ausfallsicherheit des Internetworking-Ansatzes zu überzeugen [Ka75, S. 177, 180 ff.; Ka90, S. 29]. Als Chefdesigner beim Arpanet ab 1972 und IPTO-Chef von 1979-85 zeichnete er darüber hinaus verantwortlich für eine stark militärische Ausrichtung des "Strategic Computing Program" der ARPA, das besonders die Grundlagenforschung für das computergesteuerte "Battle Management" förderte [NO96, S. 275-282].

Er stimmte mit seinen Ansichten ganz mit Vinton G. Cerf überein, der mit ihm 1972/73 die ersten TCP-Protokolle entwarf und der seit dem Ende der 70er Jahre die Rolle eines Chefkoordinators der Internet-Protokollentwicklung einnimmt [ausführlicher zu beiden Ad96]. Auch für Cerf war das Hauptziel des Arpanet: "to share preexisting programs and data" [CK74]. Cerf, der allein über die Wissenschaft und eine Beteiligung an der Time-Sharing-Systementwicklung bei der IBM und nicht durch einen Computer-Club oder eine Subkultur zur Netzwerk-Szene gestoßen war [Ce90, S. 17], wurde in den 70er Jahren zu einem Kritiker der euphorischen Zukunftsvisionen der Time-Sharing-Community und der frühen Computernetz-Community. Im Gegensatz zu diesen entwarf er 1976 für das Internet bis zum Ende der 80er Jahre nur noch ein sehr begrenztes Einsatzszenario.

Statt einer baldigen Übrerrundung der Sprachkommunikation durch die Computerkommunikation würden 1986 bestenfalls 7% des Telefonverkehrs erreicht. Nur drei Dienste hielt er überhaupt für erfolgversprechend: Den elektronischen Geldtransfer zwischen Banken, die bargeldlose Bezahlung am Point-of-Sale und Electronic Mail als reines Geschäftsmedium zum Ersatz für die teurere Briefpost. Home-Services wie Telelearning und Informationsabruf aus elektronischen Bibliotheken hielt er in absehbarer Zeit nicht für realisierbar [CC77]. Das Haupteinsatzfeld des Internets in den 80er Jahren, das Wissenschaftsnetz, wird bei ihm überhaupt nicht erwähnt. Cerfs ziviles Internet-Leitbild war ein reines Geschäftsmedium, das den papiergebunden Nachrichtenaustausch substituieren und die bestehenden Geschäftsvorgänge rationalisieren sollte. Auch das Gesamtszenario vorhandener und absehbarer „end-user multinetwerk services“ von „data networks“, das er 1978 mit Peter Kirstein entwickelte, legte das Schwergewicht auf den geschäftlichen Datenaustausch großer Institutionen und Unternehmen: Über „electronic mail“ und „electronic teleconferencing“ wollten sie die inner- und zwischen-organisatorische Kommunikation beschleunigen, während „financial transaction services“, „electronic funds-transfer systems“, „reservation systems“ sowie die „real-time data collection“ für die Wetterbeobachtung, Luftraum- und Verkehrskontrolle“ großräumige Vertriebs-, Transaktions-, Logistik- und Überwachungsnetze effizient machen sollten [CK78, S. 172 ff.].

Bezieht man Cerfs Vorträge und Aufsätze mit ein, die er zwischen 1978 und 1983, also während seiner Tätigkeit bei der DARPA, verfaßt hat, so scheinen ihm militärische Nutzungsaspekte sogar besonders wichtig gewesen zu sein. Er betonte jeden-

falls in diesem Zeitraum besonders nachdrücklich die Übereinstimmung der Designkriterien der TCP-IP-Protokolle mit militärischen Anforderungen eines hochflexiblen, ausfallsicheren Datennetzwerkes für das automatische Gefechtsfeld: Während das alte Arpanet wie auch die meisten europäischen Paketnetze durch ihr Festhalten an einer logischen Verbindung bei der Übertragung die "technical mobile or ocean-going computer communication" nicht unterstützen würden, garantiere das Internetworking-Konzept ein Zusammenwirken auch heterogener Computernetze "in a robust and survivable fashion." [Ce79, S.288 f.]. Cerf war diese Interoperabilität zwischen Festnetzen und mobilen, sich selbst organisierenden Funknetzen, also der eigentliche Entstehungsanlass für sein und Kahns Internetworking-Programm, so zentral, dass er ihretwegen 1976 die gemeinsame Normungsaktion von ISO und IFIP verließ und zum Wortführer eines amerikanischen Alleingangs wurde. Mit dem zivilen Resource-Sharing zur computergestützten Automatisierung von Geschäftsprozessen und der militärischen Interoperabilität in zunehmend automatischen Central Command and Control-Systemen entsprechen Cerfs Anwendungsleitbilder noch eher der SAGE- und frühen Time-Sharing-Ära der 50er und 60er Jahre. Es ging ihm in seinen Publikationen nicht um Kommunikation, Wissensaustausch und Selbstorganisation der späteren Internetwelt, sondern um die Ökonomisierung großwirtschaftlicher und staatlich-militärischer Organisationen und Infrastrukturen.

Dieser allzu realistische Verzicht auf Visionen in der engeren Internet-Community bildete möglicherweise den Anlass dafür, dass sich Licklider 1978/79 noch einmal mit zwei Grundsatzartikeln über die zukünftige Nutzung von "*Information Networks*" [sic] in die Debatte einschaltete. In ihnen breitete er die gesamte Palette möglicher Anwendungen des "information sharing" aus, die bis zum Jahr 2000 zu einem „meta-market“ verschmelzen würden, für den er bereits den Begriff „computerized commerce“ verwendete. Dazu gehörten E-Mail, Teleconferencing, Bürokommunikation ebenso wie Telebanking, Telework, Telemedizin und unterschiedlichste elektronische „marketplaces“. Im Gegensatz zu Cerf sah Licklider das globale „information network“ auch als Basis der gesamten Wissensversorgung und als Austausch- bzw. Verbreitungsmedium für aktuelle Informationen. Unter Rückgriff auf seine früheren Ideen einer "Library of the Future" konzipierte er "Computer-based libraries with interactive knowledge bases and question-answering systems, as well as document-retrieval capabilities." Für die aktuelle Information sah Licklider voraus, dass in einer allmählichen Evolution durch zunehmende Nutzerinitiative aus dem traditionellen Zeitungsmedium eine „user-dominated interaction with a whole-world knowledge base“ hervorgehen werde [LV78, S. 1336; Li79, S. 113; vgl. auch Li74]. Dieses breite Nutzungsszenario des „network of networks“, für das er das Label „Multinet“ vorschlug, stellte Licklider in betontem Kontrast zu einem zweiten Zukunftsszenario, in dem im Jahr 2000 Monopolisten wie IBM und die großen Telekommunikations-Gesellschaften durch proprietäre Standards und staatliche Regulierungsbarrieren ein offenes globales Informationsnetz hintertrieben und die Kontroll- und Sicherheitsbedürfnisse von Behörden und Militärs die innovative Entwicklung der Computerkommunikation zugunsten traditioneller Verwendungsmuster und Organisationsstrukturen blockierten [Li79, S. 89ff.].

Erst in der zweiten Hälfte der 80er Jahre legten auch Kahn und Cerf ein umfassendes Anwendungsprogramm für das Internet vor, und zwar in Form eines Zukunftsszenarios für den Zeitraum 1988-2003. Dies geschah im Rahmen ihres Werbefeldzuges für den TCP/IP-Protokollstack und für eine darauf beruhende "National Information Infrastructure", ein Begriff, den Kahn 1985/86 geprägt hatte. In einem Projekt der von ihnen beiden nach dem Weggang von der DARPA gegründeten "Corporation for National Research Initiatives" entwickelten sie einen Stufenplan für den Aufbau eines nationalen "Digital Library System" (DLS) [KC88]. In diesem sollten alle öffentlichen, privatwirtschaftlichen und persönlichen Datenbanken und Informationsnetze zur einer "seamless structure of access to information" zusammengeführt werden, ähnlich wie es früher bei den klassischen Infrastrukturnetzen von Wasser, Elektrizität, Telefon und Highways geschehen sei [KC88, S. 12]. Das DLS knüpfte damit sowohl an das Utility-Denken der Time-Sharing-Ära wie auch an Lickliders Pläne für eine digitale Weltbibliothek an. In der Technikausstattung gingen Kahn und Cerf aber weit darüber hinaus, denn um 2000 sollten alle Sprachdienste und breitbandigen Informationsmedien einschließlich HDTV einbezogen sein. Dazu sollten der natürliche Dialog mit den Rechnern und ein komplexes verteiltes System von Software-Agenten, die sie "Knowbots" nannten, alle Probleme der Bedientechnik, der Informationssuche und der Ressourcenallokation lösen.

Sie wollten deshalb das Internet-Knotennetz um ein aus acht Hauptkomponenten bestehendes verteiltes Serversystem erweitern, das über Standardprozeduren und Knowbots die Dokumentenbeschaffung, die Formatwandlung, die Nutzer- und Objekt-Registrierung, die Indexierung und Katalogisierung sowie die automatische Verwaltung der Urheberrechte und Abrechnung übernehmen sollte [KC88, S. 16-28]. Alle wissenschaftlichen, ökonomischen, gesellschaftlichen und persönlichen Transaktionen würden dabei ständig durch "tireless knowbots" sortiert, analysiert und "mined", um proaktiv den Benutzern, Providern und Anbietern die von ihnen benötigten Informationen zur Verfügung zu stellen [KC88, S. 8f]. Kahns und Cerfs All-over-IP-Konzept war zwar als eine offene Architektur angelegt und unterschied sich darin von Ted Nelsons nie realisiertem monolithischem Dokumenten-Universum ("Docuverse" oder "Xanadu") aus den 70/80er Jahren [vgl. u.a. Ne81]. Doch als viel zu anspruchsvolle, KI-basierte Alles-auf-eine-Streich-Lösung, die zudem massive Datenschutzgefahren aufgeworfen hätte, wurde es nur wenige Jahre später von Berners-Lees "World Wide Web" verdrängt. Das DLS kam so über den Draft-Status nie hinaus, bildete aber dennoch einen wichtigen Impuls für die Prozeß-Standardisierung in Digitalen Bibliotheken und die Knowbot-Forschung.

In der eigentlichen Entstehungsphase des Internets, so läßt sich aus der Betrachtung der publizierten Anwendungsleitbilder schließen, waren nahezu alle entscheidenden Architektur- bzw. Protokolldesigner noch fest in den Leitbildkomplexen der auf Mainframes bzw. Rechenzentren basierenden Time-Sharing-Welt verankert. Die frühen PC-Entwicklungen und vor allem die LANs wurden nicht beachtet bzw. vernachlässigt [KI9, S. 14]. Kahn selber kennzeichnet aus der Rückschau die seinerzeit vorherrschende Orientierung folgendermaßen: "At the time, no personal computers, workstations, or local area networks were available commercially, and the machines involved were mainly large-scale scientific time-sharing systems" [Ka95].

Die Schöpfer des Arpanet, so resümieren Hafner und Lyon, "hatten keine große Vision; sie wollten kein erdumspannendes Nachrichtensystem erfinden. Sie waren 1972 sogar bereit, das Netz dem Telefon-Monopolisten AT&T völlig zu überlassen, wie es vordem schon Baran vorgehabt hatte [HL97, S. 275]. Wäre die Aufnahme in die Telco-Welt nicht am professionellen Starrsinn der AT&T-Führung gescheitert, so hätte die Geschichte des Internet wohl einen völlig anderen Verlauf genommen. So konnten sich in der Folgezeit die eigendynamischen Kräfte entfalten, die Arpanet und Internet als ein Kommunikationsmedium hervorbrachten. Denn "als die ersten paar Dutzend Knoten installiert waren, verwandelten die Benutzer das System miteinander verbundener Computer in ein Instrument zur persönlichen wie zur fachbezogenen Kommunikation." [HL97, S.224 f.] Die kommunikative "Internet-Kultur" mit ihren die Netzwelt lange bestimmenden Diensten Mail, Chat, Newsgroups, Bulletin Boards, Diskussionsforen und MUDs entstand so nicht im Zentrum der Arpanet-Community, sondern an deren Rändern, in der Hacker-Kultur und den Online Gemeinschaften der frühen PC-Bastler und Campus-Kulturen [Ca05, S. 47-74].

Die stärker traditionelle Leitbildfixierung der "Technoelite" war höchst folgenreich für die ersten 1 1/2 Jahrzehnte des Arpanet und Internet. Da für das eigentlich vorgesehene effiziente Mainframe-'Grid Computing', den Fernzugriff auf Time-Sharing-Systeme und den Lastausgleich zwischen den vernetzten Rechenzentren, kaum Bedarf bestand, produzierten die wenigen angeschlossenen Hosts kaum eine Netzlast. Überhaupt verlief die Anschlussbewegung sehr schleppend. Nach zwei Jahren waren gerade mal zwanzig Rechner am Netz und nach fünf Jahren sechzig und zum Zeitpunkt der Umstellung auf die neuen TCP/IP-Protokolle 1983 erst dreihundert. Überlastungstests waren so nur durch maschinell erzeugten Datenverkehr durchzuführen. Als junge Forscher über Mailinglisten heimlich ein Diskussionsforum für Science-Fiction-Lovers betrieben, war dies den Netzverwaltern sehr willkommen, da endlich einmal Bewegung ins Netz kam [HH97, S. 69].

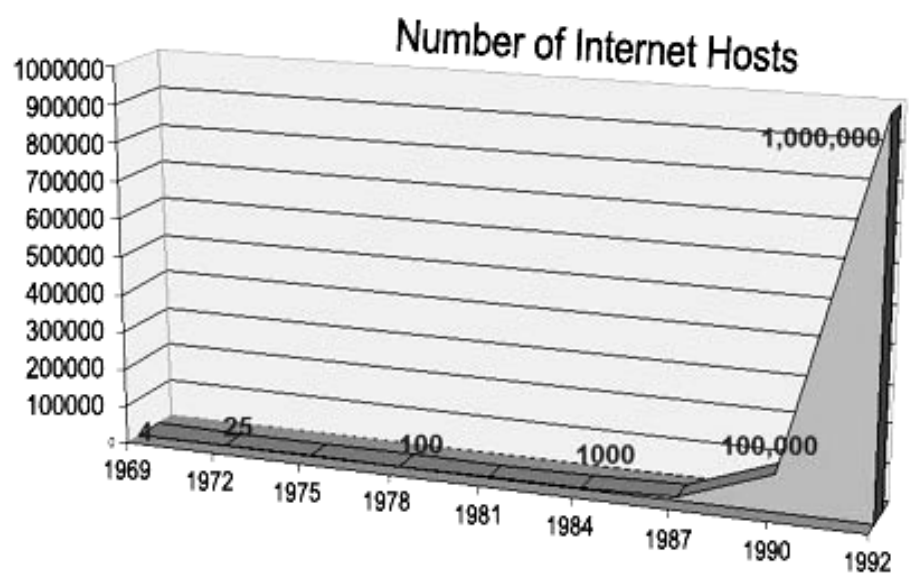


Abb. 2: Zahl der angeschlossenen Hosts im Arpanet und ab 1983 im Internet

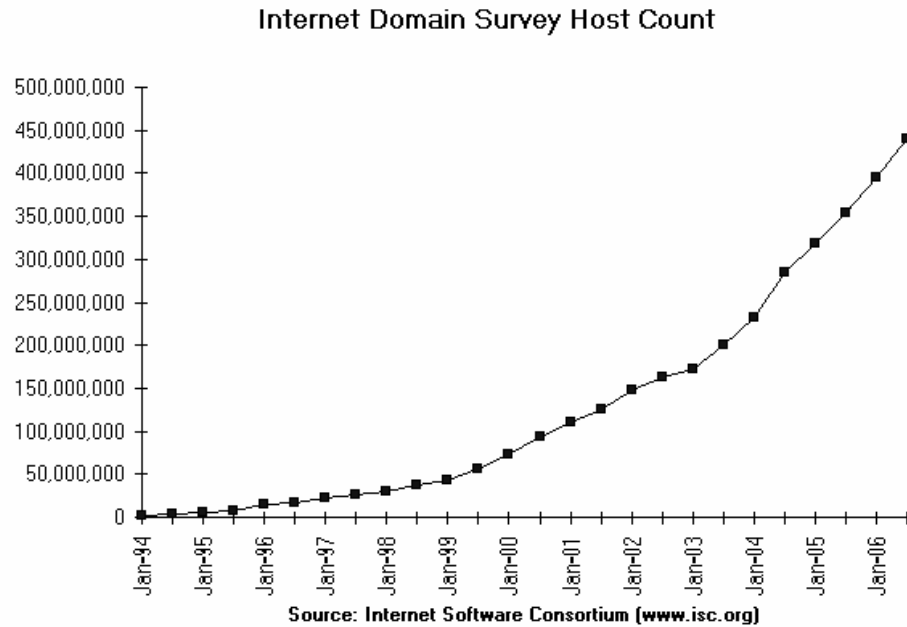


Die für das Resource-Sharing zwischen entfernten Hosts zuerst geschaffenen Anwendungsprotokolle Telnet (1969) und FTP (1972) wurden von der Netz-Community weitgehend gemieden: "As I recall, the original thing that was happening with the hosts was that most of the people did not want anything to do with it. [...] In those days it was thought of as DARPA was trying to get researchers access to a big computer without having to buy it for them. That wasn't too very interesting to people who had the big computers, unless they were having funding problems. So most of them were not motivated to do this thing." [Cr91, S. 20] Stattdessen bestimmte der wildwüchsig von dem Forschungspersonal entwickelte "people-to-people traffic" das Netzgeschehen. Hier war es vor allem E-Mail, die zuerst informell Mitte 1969 im Zusammenhang mit den RFCs entstand und im März 1972 von Ray Tomlinson als interner Dienst eingeführt wurde. Dieser galt wie auch schon die erste ca. 1963 in den Time-Sharing-Netzen geschaffene E-Mail weitgehend als Medium für den Hausgebrauch [LCC03; Cr91, S. 20f.; Ce90, S. 14f.; Ha96]. Obwohl der Anteil von E-Mail nach einer ARPA-Studie im Jahre 1973 sogar 3/4 des gesamten Datenverkehrs ausmachte, wurde erst 1977 ein Standardformat für das ARPA Network festgelegt [HH97, S. 230; RFC 733].

Der Erfolg von Mail überraschte die Arpanet-Entwickler selber: "You see the biggest surprise about the ARPAnetwork use was e-mail. It was an ad hoc add-on by BBN, and it just blossomed. And that sucked a lot of people in it." [KI90, S. 24] Obwohl es die meisten sofort für ein "nice thing" hielten, konnte sich keiner vorstellen, "that it was going to be the explosion of excitement and interest that it became. [...] The people who were in the community were using it right from the beginning a lot. But they were using it without realizing that the whole world was about to want it." [He90, S. 26] Diese fehlende Vorstellungskraft war folgenreich für die Bedienfreundlichkeit des ungeplanten Dienstes. Mit Blick auf den Eigenbedarf begnügten sich die Forscher nämlich mit sowohl primitiven als auch komplizierten Mailprogrammen, also mit typischen Von-Experten-für-Experten-Lösungen. Aufgrund der erheblichen ergonomischen Defizite gelang es der von japanischen Herstellern bewusst auf Laiennutzer zugeschnittenen, voll standardisierten Telefaxtechnik in den 80er Jahren, die Diffusion von E-Mail nahezu ein Jahrzehnt hinauszuschieben. Auch die Anschaltung, Programminstallation und Bedienung des Netzes waren derart umständlich und aufwendig, daß es für Nutzer außerhalb der engsten Computernetz-Community kaum in Frage kam.

Arpanet und frühes Internet waren überhaupt noch kein Kommunikationsmedium, als solches mußten sie von kritischen und unzufriedenen Nutzern erst geschaffen werden. Janet Abbate fällt daher über die ersten Jahrzehnte des Netzes das ziemlich vernichtende Urteil, dass Nutzer in dieser Phase "the most neglected element" gewesen seien [Ab99, S. 83ff.]. Diese selber mussten sich erst ihr Medium schaffen. Hier zeigte sich eine Schwachstelle des ansonsten so erfolgreichen Ansatzes Lickliders, das Computerkommunikationsnetz als Eigenbedarfsmedium der Contractors durch diese bauen zu lassen. Dadurch entfiel zwar auf der einen Seite die hermeneutische Verständigungsbarriere zwischen Entwicklern und Nutzern und es kam sehr schnell zu ersten praktischen Erprobungen. Doch auf der anderen Seite begünstigte dies längerfristig eine „clubhouse mentality“ sowie die Tendenz zu Ingroup-

Entwicklungen der Network-Community. Deren Bedientechnik fand, wie es auch die verspätete Einführung von „Graphic User Interfaces“ bei Mail, Suchwerkzeugen und Browsern belegt, vielfach erst im Laufe der 90er Jahre den Anschluß an die bereits laiengerechtere PC-Bedienung.



*Abb.3: Anzahl der angeschlossenen Hosts im Internet (neue Zählweise)*

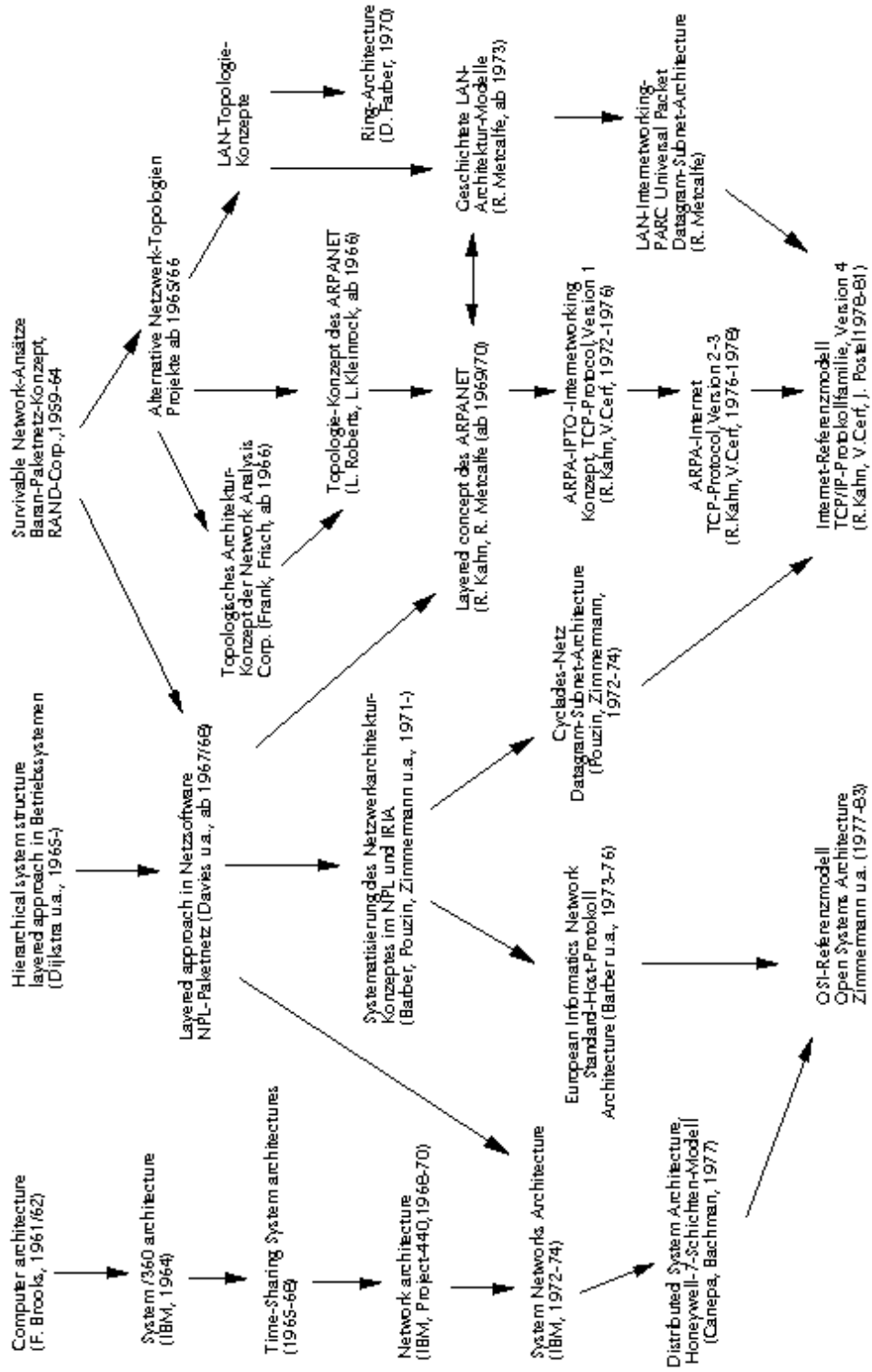
Es ist daher kein Zufall, dass alle wesentlichen gebrauchorientierten Innovationen nicht von der etablierten Elite der Netzentwickler kamen, sondern im Zuge einer sukzessiven Ausdehnung der Nutzerpopulationen im wesentlichen von diesen selbst hervorgebracht wurden. Die Verbindung der Netzprotokolle mit dem offenen Betriebssystem Unix, das darauf aufsetzende Usenet mit den Newsgroups, das World Wide Web, die Browser- und Navigationssysteme und Suchmaschinen waren fast ausschließlich Innovationen aus dem Kreis der unmittelbaren Nutzer bzw. von Studenten und Graduierten der Computer Science oder anderen Wissenschaftlern, die in die Entwicklungsprozesse ihre eigenen Nutzungsbedürfnisse einbrachten. Der langfristige Erfolg des Internet beruhte so nicht allein auf den zweifellos immensen Pionierleistungen seiner „system builder“, Netzarchitekten und Protokolldesigner, wie es die heroische Geschichtsbetrachtung und der „Large system history approach“ postulieren, sondern sehr wesentlich auf den Folgeinnovationen und –innovationen der „user community“. Vinton Cerf greift daher entschieden zu kurz, wenn er behauptet, „that the history of the net is the history of its protocols“ [Sa95, S. 131]. Er selber mußte zugestehen, dass das World Wide Web "has cemented the likely survivability of the Internet." [Ad96, S. 63] Die Geschichtsmächtigkeit des „Netzes der Netze“ basiert so gerade darauf, dass die Leitbildfixierung seiner Entwickler durch immer neue Gruppen von Nutzern überwunden wurde. Letztlich war es das eigenartige, von Licklider anvisierte und von Taylor im Juli 1968 mit der „graduate student's conference“ [Ta89, S. 30; Wa01, S. 282] angestoßene Bündnis zwischen Uniform und Turnschuh, das dem Internet erst seine überragende historische Bedeutung verlieh.

### 3 Die Genese der Netzwerkarchitektur und das Problem der Technikprägung

Die zweite Frage nach den Prägewirkungen von Akteurskonstellationen auf die Architekturen von Rechnernetzen stößt sofort auf einen merkwürdigen Widerspruch: Wie war es möglich, dass eine Netz- und Protokollarchitektur, die mit so begrenzten Zielvorstellungen geschaffen wurde, bis heute im wesentlichen unverändert blieb und nun ganz anderen Nutzungszwecken dient, während die als Dauerlösung für ein umfassendes Nutzungsspektrum konzipierte OSI-Architektur weitgehend zum Lehrmodell herabgesunken ist. Dahinter steht das Problem der konkreten Prägewirkung von Leitbildern und Akteurskonstellationen auf Systemarchitekturen, mit dem sich die Technikgeneseforschung seit längerem beschäftigt. Hier gibt es eine intensive Kontroverse zwischen den Anhängern einer frühen Schließung – sie stützen sich besonders auf mechanische und energetische Techniken – und den Vertretern eines Wechsels von Schließung und Öffnung, die ihre Beispiele vor allem aus den Informationstechniken holen. Ich möchte anstelle dieses etwas müßigen akademischen Streites das Problem der Prägung lieber auf die brisante Frage zuspitzen, inwieweit der militärische Entstehungskontext die zivile Nutzung beeinflusst oder gar beeinträchtigt hat. Wie konnte ausgerechnet ein von der Militärbürokratie des Pentagon initiiertes und ausgehaltenes Netz zum Tummelfeld der "kooperativen Anarchie" und Selbstorganisation werden? Warum haben sich zivile Netzarchitekturen wie die Systems Network Architecture (SNA) der IBM und die vorwiegend europäische Initiative für eine offene Netzwerkarchitektur, aber auch Netze der Grassroot-Bewegung wie das Fidonet gegenüber dem Internet nicht durchsetzen können?

Eine plausible Erklärung für diesen Widerspruch ergibt sich aus der heterogenen Akteurskonstellation: Arpanet und Internet beruhten von Beginn an auf der Zusammenarbeit unterschiedlicher Communities. In das Design gingen zwar militärische Kriterien ein, aber diese dominierten niemals die gesamte Ausgestaltung der Netzarchitektur. Es gelang Licklider nach der in der Kuba-Krise offen zutage getretenen Krise der militärischen Central Command and Control-Systeme à la SAGE die Militärs von seiner Philosophie zu überzeugen, „that what the military needs, is what the businessman needs, is what the scientist needs.“ [zit. nach Wa01, S. 205] Andererseits resultierten aus militärischen Anforderungen Designmerkmale eines offenen Netzes, die für die allgemeine globale Nutzung günstiger waren als die im zivilen Bereich entstandenen proprietären Architekturen. So zeigt die Entwicklung von Netzarchitektur-Konzepten in den USA eine Entwicklung von rein militärischen Ansätzen zu Dual-Use-Konzepten und, damit einhergehend, eine zunehmende Durchmischung militärischer und ziviler Gestaltungsmerkmale.

H. D. HELLEGE      GENESE DER NETZWERKARCHITEKTUR-KONZEPTE      artec      Uni-Bremen



Am Beginn stand der für ein Atomkriegsszenario entwickelte Paketnetz-Ansatz von Paul Baran von der RAND Corporation. Zwischen 1959 und 1962 auf dem Höhepunkt des Kalten Krieges entstanden (Veröffentlichung erst 1964), sollte er die ausfallgefährdeten zentralistischen Netzarchitekturen der SAGE-Ära durch „highly survivable system structures“ ablösen, um die atomare "second strike capability" zu wahren [Ba64, Bd. V, S.1]. Denn er erkannte in Simulationsstudien die extreme Verwundbarkeit der konventionellen Fernmeldenetze. Diese waren mit ihrer Sterntopologie, den hierarchischen Vermittlungsknoten und durchgeschalteten Übertragungstrecken nach reinen Wirtschaftlichkeitskriterien der Sprachübertragung optimiert und daher nicht geeignet, im Kriegs- oder Spannungsfall mit plötzlich massenhaftem Nachrichtenaufkommen fertig zu werden: "When using a communications system under such civilian loading assumptions for military purposes, one can expect most service denials to occur precisely during those times when most needed." [Ba64a, Bd. 2, S. 1; Ba64b]

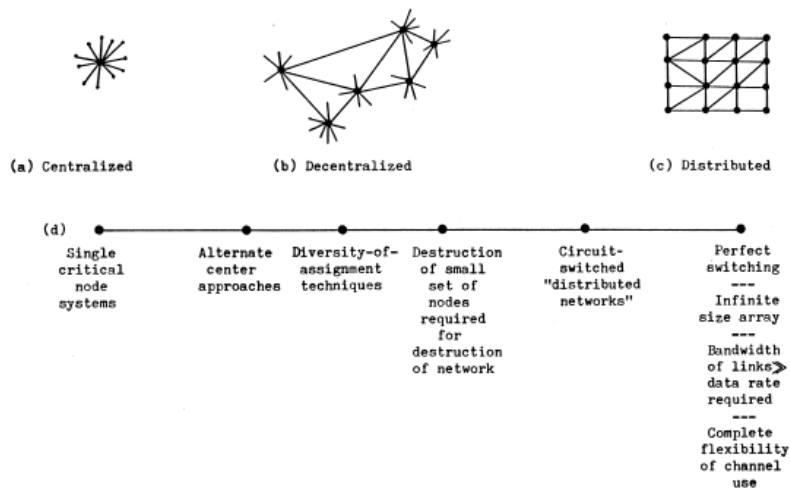


Fig. 1--The Spectrum of System Connectivity

Abb. 4: Baran-Studie von 1964, Vergleich der Vulnerability von Verbindungsstrukturen

Baran legte daher seinem Atomkrieg-tauglichen Netzwerkkonzept in Anlehnung an die von der zeitgenössischen Hirnforschung beschriebenen neuronalen Strukturen das ohne zentrale Vermittlungsknoten arbeitende Prinzip des "Perfect Switching" zugrunde: "Avoid any central node. Build a distributed network of nodes, each connected to its neighbor." [Ba90, S. 17] In Analogie zu den "torn-paper relay lines" der Telegraphie entwickelte er das Muster eines dezentralen maschenartigen „Store-and-Forward-Netzes“, in dem größere Nachrichten in kleine „standard format message blocks“ aufgeteilt und über „lernende“ Transportknoten adaptiv geroutet werden. Zur weiteren Erhöhung der Verfügbarkeit sah er für das Übertragungsnetz eine „mixture of totally different types of media and data rates“ vor. Das Resultat war ein hoch redundantes „future all-digital-data-distributed network“, das alle schmal- und breitbandigen Draht- und Funknetze zu einem „extremely complicated system“ integrierte [Ba64a, Bd. 1, Foreword; Bd. V, S. 3]. Obwohl Baran das Redundanzniveau auf drei Verbindungsleitungen je Knoten senkte (wie später beim Arpanet), blieb sein Design eines Netzes für "strategic command and control communications" eine hypertrophe Alles-auf-einen-Streich-Lösung, die mangels VLSI nicht machbar und

überhaupt nicht finanzierbar gewesen wäre. Der größte Widerstand gegen das Projekt kam vom technischen Management von AT&T, denn hier wurde das neue Vermittlungsprinzip als "pure heresy" angesehen: "First, it can't possibly work, and if it did, damned if we are going to allow creation of a competitor to ourselves." [Zitat von Jack Ostmannis von AT&T in Ba90, S. 20] Doch auch das Militär konnte sich erst zu einem Zeitpunkt mit der neuen Switching-Technologie anfreunden, als die Arpanet-Entwicklung schon im Gange war.

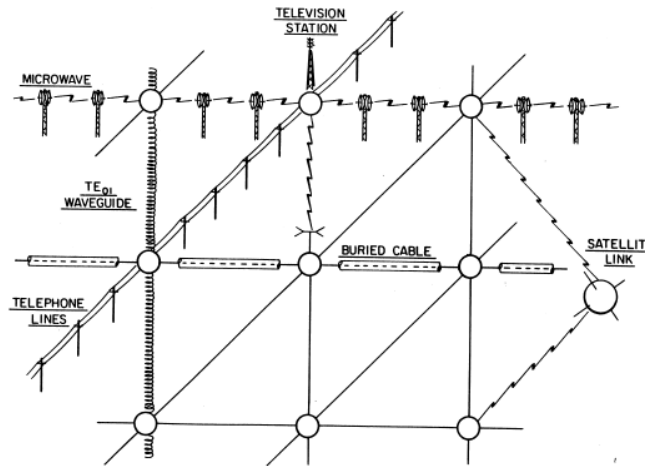


FIG. 9 - All Digital Network Composed of Mixture of Links

Abb. 5: Baran-Studie von 1964, Modell eines alldigitalen multimedialen Paketvermittlungsnetzes

Das Arpanet setzte nicht unmittelbar bei Baran und militärischen Vorbildern an, Roberts erfuhr sogar erst Jahre später über das englische Forscherteam am NPL von dieser Entwicklung im US-Air Force-Bereich. Roberts und sein Team knüpften aber an topologische Problemstellungen an, die die Suche nach weniger ausfallgefährdeten Netzen in Gang gesetzt hatte. Während der Entwicklung der Arpanet-Protokolle tauchte dann immer wieder die Frage auf, ob man Barans Überlegungen genügend berücksichtigt habe: "Are we really concerned about reliability in the face of nuclear attack?" [Wa90, S. 8 f.; vgl. He90, S. 25] Aber wichtiger als diese Kontinuität war die Verschiebung des Anwendungszwecks. Auf Anregung Lickliders wurde das Arpanet nämlich als ein Resource-Sharing-Netz zur Rationalisierung der Militärforschung und zum interaktiven Problemlösen entworfen. Er gewann seit der Homestead-Computer-Konferenz der Air Force 1962 eine junge Elite von Computer Scientists für seine Ideen. Sein genialer Schachzug war dabei, die von ihm „Intergalactic Network“ genannte interdisziplinäre Gruppe sollte für sich selber ein "network of contracts" schaffen, das sie von sich aus zur Kooperation und Ressourceneinsparung bringt: "It was a thing that organized itself a little bit into a community, so that there was some competition and some cooperation, and it resulted in the emergence of a field." [Li63; Ro89, S. 9 f.; Li88, S. 49]. Damit wurde ein sich selbst organisierendes *soziales* Netzwerk die Basis für das zu schaffende *technische* Netzwerk. Träger der Entwicklung wurden so vor allem junge Assistenzprofessoren und Graduierte, die von den frühen ‚Open-source‘-Erfahrungen der Time-Sharing-Experimente geprägt waren, und die sich nicht einem dominanten Hersteller wie IBM oder den großen Telekom-Betreibern wie AT&T oder Western Union unterwerfen woll-

ten, die sich aber auch nicht den rigiden Spezifikationen militärischer Behörden beugten. Aus dem Dual-Use-Charakter und der Selbstorganisation an der langen Leine des Pentagon ergab sich ein Lernprozess, der aus einem anfangs gegenüber den europäischen Paketnetzentwürfen höchst rückständiges Netzdesign eine am Ende überlegene Architektur entstehen ließ.

Lawrence G. Roberts hatte nämlich ursprünglich ganz naiv mit einem Circuit-Switching-Konzept direktvermaschter gleichartiger Rechner begonnen [Sa95, S. 21f.]. Auch Licklider dachte zuerst nicht an ein heterogenes Netzwerk unterschiedlicher Computer, sondern an ein "single timesharing system, that was intergalactic" [Ta89, S. 34]. Erst Wesley Clark, ein früher Pionier von "personal machines", brachte Roberts im März 1967 (d.h. 1 1/2 Jahre nach dem NPL-Entwurf) auf die Idee eines gesonderten Subnet aus robusten Minicomputern, die er "Interface Message Processors" nannte. Denn Clark erkannte als einziger das Megaproblem der Direktvermaschung, nämlich "an n-squared ( $n^2$ ) interaction problem within computer nodes" [Cl90, S. 27]. In den frühen Entwürfen wurden die Nachrichten auch noch nicht in Pakete aufgeteilt, vom Message Switching ging Roberts erst ab, als er durch Davies im Oktober 1967 die Paketvermittlung kennenlernte [Ro89, S. 18, 47; HL97, S. 83 ff.]. Durch die so erreichte Arbeitsteilung zwischen den Netzknoten und Endsystemen ("Hardware Layering") war man endlich frei in der Wahl der anzuschaltenden "Hosts", während man durch die Paketierung Probleme von Netzstaus in den Griff bekam. Das Subnet-Protokoll und das erst 1971 fertiggestellte Host-to-Host-Protocol, später Network Control Protocol genannt, waren im Prinzip verbindungslos angelegt, beruhten in der Abwicklung aber z.T. noch auf virtuellen Schaltkreisen, ein Problem das erst mit den Internet-Protokollen gelöst wurde [Ce90, S. 23].

Auch die Skalierungsfähigkeit war im Netzwerkdesign bis 1971 noch nicht gegeben. Damit das Netz über 63 Hosts hinauswachsen konnte, musste der Code zum großen Teil umgeschrieben werden. [Or90, S. 26f.] Ebenso war das Topologie-Design noch nicht auf eine größere Knotenzahl hin ausgelegt. Es wurde deshalb 1968 und 1973 die Network Analysis Corporation von Howard Frank eingeschaltet, eines Spezialisten für "network vulnerability and survivability", der bereits für den Krisenstab des Weißen Hauses tätig war [Fr90, S. 9-11; Kl90, S. 18f.]. Frank hatte die Fragestellungen von Baran weitergeführt und mithilfe der Graphentheorie, der Informationstheorie und Systemtheorie ein eigenes Methodeninstrumentarium zur Senkung der Verletzlichkeit und der Kosten von Netzwerken geschaffen. [FFC70]. Über Franks allgemeine Netzwerkanalyse fanden erneut militärische Survivability-Kriterien Eingang in das Arpanet-Design, doch wichtiger für den langfristigen Erfolg war die dadurch erzielte Verbesserung der Netzökonomie [Fr90, S. 17]. Ein weiteres Problem bestand in Gefahren möglicher Netzüberlastungen und Störungen aufgrund unsauberer Funktionsaufteilung in der Netzsoftware. Hier war es Robert Kahn, der im Arpanet gegen den Widerstand der "tinkerer" im BBN-Team seinen "architecture approach" durchsetzte, durch den er die stärker strukturierten Methoden des europäischen Betriebssystem-Designs in die Arpanet-Netzsoftware hineinbrachte [Ka90, S. 20 ff.; LCC03]. Zudem führte er nach umfassenden Simulationsstudien zusätzliche Flow- und Congestion-Control-Methoden ein und baute so

die Belastungsfähigkeit für einen stark wachsenden Netzverkehr aus. [KC72; Ka72, S. 1400 ff.].

Kennzeichnend für das Arpanet-Design wurde die Heranziehung unterschiedlicher "backgrounds, philosophies, and technical approaches from the fields of computer science, communication theory, operations research and others". [FKK72, S. 255] Damit gelang es, neben der Ausfallsicherheit auch die optimale Leistung und Wirtschaftlichkeit des Netzes sicherzustellen, die als Designziel immer gleichrangig eingestuft wurden. Das Kennzeichen der Architekturgenese des Arpanet wurde so die Kombination von stärker militärisch orientierten *Topologie- und Latenzaspekten* mit einer behutsamen *Funktionsschichtung*. Trotz mannigfacher Ansätze einer Verwissenschaftlichung blieb das Hauptziel, möglichst schnell über ein Kooperationsmedium für den Eigengebrauch in der Forschung zu verfügen, bestimmend für eine stark experimentelle Ausrichtung des Forschungsnetzes und die sofortige Bereitstellung sehr einfacher Standarddienste. Das in der Arpanet-Community geschaffene Instrument der "Request for Comments" (RFCs) ermöglichte dabei eine kontrollierte Selbststeuerung des Entwicklungs- und Standardisierungs-Prozesses, wodurch die Schwerfälligkeit der amtlichen Normungsinstitutionen und das Netzchaos der Computerfreaks gleichermaßen vermieden wurden.

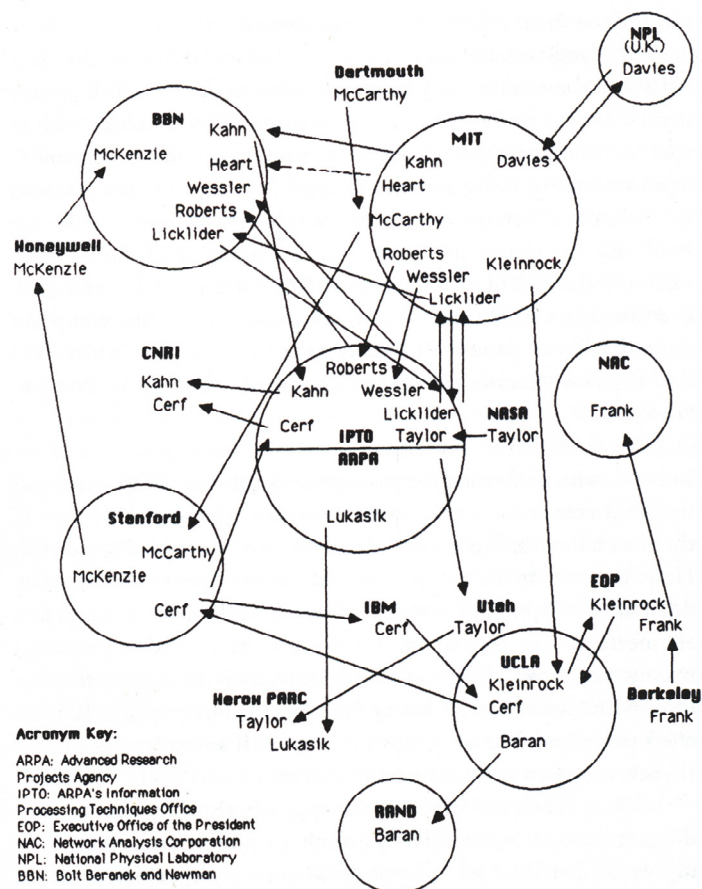


Abb.6: Janet Abbates Rekonstruktion des sozialen Netzwerks der Arpanet- / Internet-Entwickler (zit. nach: Hu00, S. 295)



In Europa waren demgegenüber die Forschungsprojekte für Rechnernetze von Beginn an rein zivil ausgerichtet. Hier arbeitete man besonders am National Physical Laboratory bei London seit 1965 in Kooperation mit dem staatlichen Fernmelde-netz-Betreiber an einer an den Time-Sharing-Betrieb angepassten Netzwerkarchitektur für den Dialog von Terminal zu Terminal. Der Chefdesigner Donald W. Davies und seine Mitarbeiter übertrugen das Zeitscheiben-Prinzip des Time-Sharing auf das Netzwerk. Sie konzentrierten sich weniger auf die "Network Geography" und mehr auf die höheren Schichten und die Allokationsprobleme bei gemeinsam genutzten Rechnerressourcen [Da68, S. 711; zum Begriff siehe DB73, Kap. 12]. Hierbei sann Davies aufgrund seiner langjährigen Vertrautheit mit der Simulation von Verkehrs- und Nachrichtenflüssen besonders auf Techniken der Vermeidung von Warteschlangen und Staus und gelangte durch Analogien zur Telegraphie und Paketpost Ende 1965, d.h. kurz nach Baran, auf das von ihm „packet switching“ getaufte Datenübertragungssystem. Die NPL-Architektur enthielt noch vor dem Arpanet ein abgesondertes Subnet und einen „interface computer“ als Schnittstelle zwischen Rechnern und Netzwerk. An den Interface Computer waren High-Speed Terminals direkt und Low-Speed-Terminals über Multiplexer angeschaltet, so dass hier bereits 1967-68 Pläne für ein "Local Area Network" vorlagen. Dabei wurden für das noch ganz traditionell hierarchische "local network design" auch ganz andere "local network schemes" für möglich gehalten [Da68, S. 712f.]

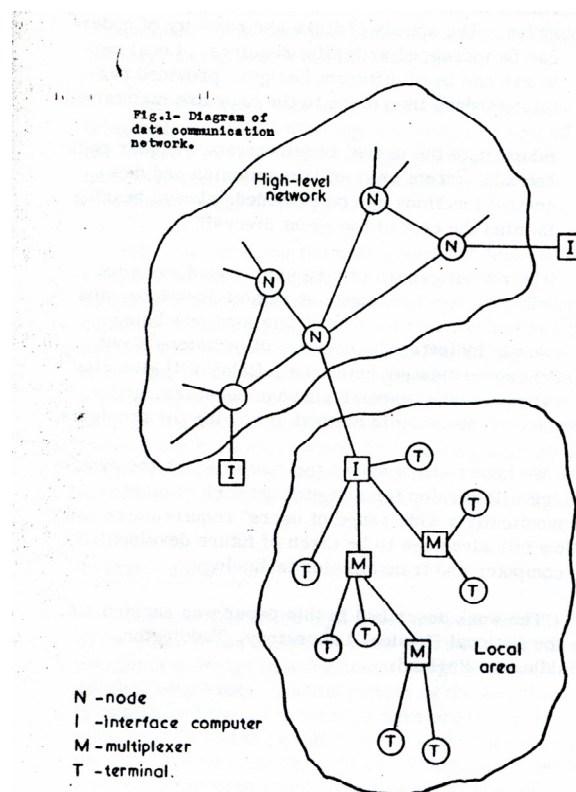


Abb. 7: NPL-Netzarchitektur mit dezentralem High-Level Network und hierarchischem Local Area network (DBS68, S.733)

Um die Entwicklungs- und Ausbaufähigkeit des Computernetzes zu sichern und die höhere Komplexität verteilter Rechnersysteme zu bewältigen, griffen Davies und

das NPL-Team zur Organisation der Arbeitsteilung zwischen den Netzinstanzen früh auf die Strukturierungsansätze der Informatik zurück. Man konzipierte so nach dem Vorbild von Dijkstra schon 1967/68 ein hierarchisches Schichtenkonzept der Hardware- und Software-Funktionalität: "Independence of each level in this hierarchy can lead to a system in which economy of hardware and efficiency of operation are combined with easy modification of any part." [WS68, S. 735] Die strukturierte Netzwerkarchitektur wurde zu einem Charakteristikum des NPL-Netzdesigns wie auch wenig später der französischen Paketnetz-Projekte „Cigales“ und „Cyclades“, die Anfang der 70er Jahre von einem von Louis Pouzin geleiteten Team am IRIA entwickelt wurden [Po73; Po82]. Mit dem Ebenenkonzept wie auch mit dem Lokalen Netz war man am NPL bis Ende der 60er Jahre konzeptionell der amerikanischen Entwicklung überlegen [Da68, S. 711 ff.]. Dies kam nicht zuletzt auch darin zum Ausdruck, dass Davies zusammen mit dem Leiter des europäischen Versuchsnetzes EIN, Derek L. A. Barber, bereits 1973, d.h. drei Jahre vor Kleinrock, ein grundlegendes Lehrbuch über die neue Netzwerkarchitektur vorlegte [DB73; Kl76]. Als ein in größerem Maßstab realisiertes Beispiel konnten sie in dem Buch allerdings nur das Arpanet vorführen, das in der Zwischenzeit das NPL-Netz überrundet hatte: "They had the ideas, but they did not have the money", resümierte Roberts später im Rückblick auf starken Einfluß von Davies und dem NPL auf das Arpanet-Design [Ro89, S. 47; ähnlich Kl90, S. 8; Ka90, S. 15].

Es konnte so 1969/70 aus Kostengründen nur das aus einem Netzknoten und Terminals bestehende NPL Versuchsnetz MARK I fertiggestellt werden. Dieses entsprach auch in der Durchsatzleistung noch gar nicht den Erwartungen, erst die Optimierung der "layered network architecture" im MARK II senkte den hohen Protokoll-Overhead spürbar [CK88, S. 233-239]. Ein Knackpunkt blieb die Verknüpfung der Rechner über Betriebssysteme statt durch den viel schnelleren "tailor-made machine language code" im Arpanet [He90, S. 24]. Das Hauptproblem bestand aber darin, dass es Davies nicht gelang, sein eigentliches Entwicklungsziel durchzusetzen, die Ausweitung des Forschungsnetzes auf ein nationales Infrastrukturnetz für die Computerkommunikation. Denn er stieß hierbei auf massiven Widerstand der Britischen Post, die über Versuche hinaus kein Interesse daran hatte, ein mit dem etablierten Fernmeldenetz konkurrierendes Datenkommunikationsnetz zu errichten [Da97]. Der europäische Entwicklungsvorsprung ging so mangels großskaliger Erprobungsmöglichkeiten schnell verloren. Die dominante Stellung der Telcos und der Hersteller der Kommunikationstechnik, aber auch die starke Fixierung der Engineering Community auf die traditionellen Netzstrukturen mit Durchschaltvermittlung und deterministische Nachrichtenflüsse blockierten so am Ende eine eigenständige Rechnernetz-Entwicklung in Europa.

In Amerika bildete das Department of Defense ein Gegengewicht gegen die hier ebenfalls starke Opposition der Netzwerkbetreiber und Kommunikationstechnik-Konzerne gegen die neue Netzwerkarchitektur. Allerdings hinterließ auch dieser Akteur seine Spuren in der Ausgestaltung von Arpanet und Internet. Besonders in der Entstehungsphase der Internetprotokolle geriet die Entwicklung nämlich wieder stärker unter militärische Einflüsse. Im Jahre 1975 übernahm das Militär das Arpanet sogar in direkte Obhut, um 1980 gehörten ca. 40% aller angeschalteten Hosts

militärischen Dienststellen und die übrigen den ausgewählten DARPA-Contractors [MW91]. Allerdings erfolgte in dieser Zeit kein grundlegender Kurswechsel vom Dual-Use-Konzept zu einem dezidiert militärischen Netzdesign, jedoch erhielten Security-Aspekte nun einen viel höheren Stellenwert. Kahn und Cerf entsprachen auch mit dem nun völligen Verzicht auf durchgängige logische Verbindungen in ihren Internetworking-Protokollen militärischen Anforderungen bei der Verkopplung von Fest-, Funk, Satelliten- und LAN-Paketnetzen. Sie teilten das TCP-Protokoll des ersten Entwurfs in zwei Schichten auf, in eine robuste Datagrammschicht für unzuverlässige Übertragungsnetze, das IP-Protokoll, und das TCP-Protokoll, das nachträglich durch die Endsysteme eine sichere Übertragung gewährleistet. Sie erprobten die Wirkungsweise der Protokolle auch in enger Kooperation mit Army- und Airforce-Stellen [Ce90, S. 29 f.; Ce 93]. Als IPTO-Chef in der DARPA verhinderte Cerf schließlich einen Internet-Standard, der auf virtuellen Schaltkreisen beruhte, wie sie die Telekom-Netzbetreiber forderten, aber ebenso alle komplizierten Universalstandard-Aspirationen, wie sie die OSI-Community in Europa und in den USA verfolgte [Ka90, S. 31 f.].

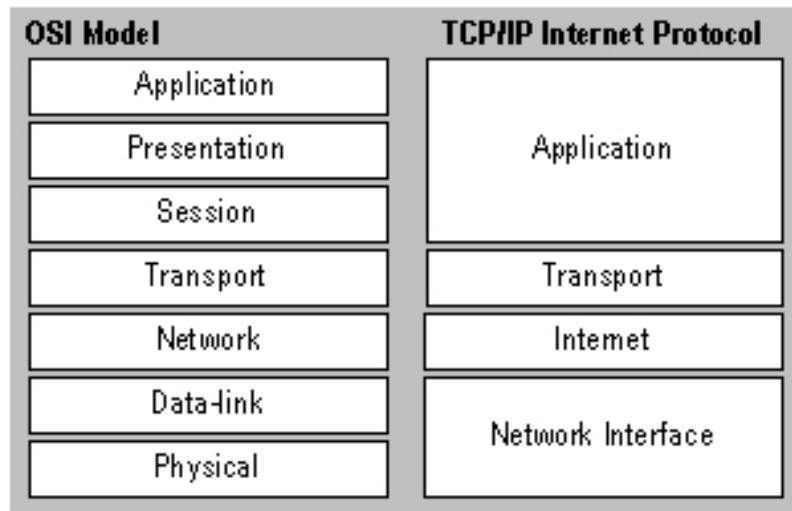
So erfüllten die Internet-Designer mit ihrem Konzept des "gateways between the networks" und einem viel robusteren "End-to-end-Protokoll" dezidiert militärische Ansprüche [Ce90, S. 23]. Doch die Ideen hierfür übernahmen sie weitgehend aus dem zivilen Bereich, nämlich aus der Ethernet-Entwicklung von Robert M. Metcalfe, der PuP-Internetwork Architecture und dem Xerox Network System, durch die um 1975 mehrere Ethernets überbrückt wurden [BS80, S. 613; Ce90, S. 21 f.; HL97, S. 281]. Ebenso von Louis Pouzin, der bereits seit 1972 eine verbindungslose Datagrammschicht für das Internetwork propagierte und bis 1975 im Cigale-Netz realisierte, damit aber bei den Telcos und in der OSI-Community keinen Erfolg hatte [Po73]. Für eine militärgerechte Internet-Architektur konnten demnach auch zivile Designziele sprechen, man muss mit zu direkten Prägungsaussagen daher vorsichtig sein. Cerf war später überrascht wie flexibel nutzbar ihr Internet-Design war: "I had certain technical ambitions when this project started, but they were all oriented toward highly flexible, dynamic communication for military application, insensitive to differences in technology below the level of the routers. I have been extremely pleased with the robustness of the system and its ability to adapt to new communications technology." [Ce93, Part 2]

Die soziale Prägung von Artefakten, Systemen und Architekturen der Informationstechnik erfolgt überhaupt, so belegt es besonders das Internet, weder linear noch symmetrisch: Die zweifellos konstatierbaren Prägewirkungen der Genesekonstellation schlagen oft nicht voll auf die Technostrukturen und noch weniger auf die konkreten Nutzungszusammenhänge in funktionsgeschichteten Softwaresystemen durch. Es finden vielmehr aufgrund des Eigensinns technischer Wirksysteme und Problemstrukturen Brechungen der Prägekräfte statt, die einerseits zu nicht intendierten Effekten führen und die andererseits Dekontextualisierungen und somit ursprünglich nicht bedachte Verwendungen erlauben. Es kommt hinzu, dass in der Computertechnik und vor allem in der Softwaretechnik unterschiedliche Problemstellungen immer wieder auch zu ähnlichen Strukturen führen können. So erklärt sich, dass wesentliche Architekturmerkmale, für die militärische Gründe angeführt

wurden, sich im Nachhinein auch als vorteilhaft für die schnelle Realisierung eines weltweiten Computernetzes erwiesen:

- Die Annahme unzuverlässiger Übertragungstrecken und das Best-Effort-Prinzip waren nicht nur für das Gefechtsfeld günstig, sondern auch für den Datenverkehr Ländern mit weniger zuverlässigen Fernmeldenetzen und in Mobilfunknetzen.
- Die völlige Unabhängigkeit der Protokolle von Eigenschaften der unteren Transportschichten wirkte sich positiv bei der Einbeziehung neuer Übertragungstechniken aus.
- Die Reduktion der Netzfunktionalität zugunsten der Endsysteme vereinfachte die Router-Prozesse und das Netzmanagement und erleichterte den Ausbau des Anwendungsspektrums.
- Die weitgehende Software-Steuerung ermöglichte auch trotz einer zum Entstehungszeitpunkt der Protokolle nicht absehbaren Massenausbreitung ein flexibles Upscaling und Upgrading des Netzes.
- Die Einfachheit und Modularität des Funktionsspektrums erlaubte dessen ständige Erweiterung, so dass bis heute die Migration zu dem bereits 1994 vorgelegten neuen IP-Protokoll (IPv6) aufgeschoben werden konnte.
- Die mit Ausnahme der zentralen Überwachung, Wartung und Root-Name-Server konsequent dezentrale Netzsteuerung garantierte die „survivability“ und vermied so trotz erheblichen Netzwachstums bis heute gravierende Netzzusammenbrüche.
- Durch den Verzicht auf das "virtual circuit model" zugunsten des "datagramm service" entzog sich das Netz der Regulierungsmacht der Telcos, die bei den X.25-Netzen noch voll zum Tragen gekommen war.
- Die Forderung nach dem Zugriff auf alle öffentlichen Netze im Kriegs- und Spannungsfall machte die Internetwelt zu einer wirklich offenen Netzwelt auch im zivilen Bereich - mit einer unter Privacy-Aspekten allerdings nicht unproblematischen Transparenz des Netzgeschehens.

Das Internet erweist sich so aus der Rückschau als der Glücksfall einer großtechnischen Systementwicklung, die so niemand vorab geplant hat, die in der Architektur aber so flexibel war, dass sie an immer größere Nutzerpopulationen und immer neue Anwendungsgebiete angepasst werden konnte. Die Entwicklungsoffenheit beruhte jedoch nur zum Teil auf militärischen Vorgaben, sie war vielmehr wesentlich das Resultat der disparaten Akteurskonstellation und einer Koexistenz unterschiedlicher Leitbilder.



*Abb 8: Schichten-Vergleich zwischen dem OSI-Referenzmodell und dem TCP/IP-Referenzmodell*

Das US-Militär wirkte als machtvolle Normungsinstanz, die die "organisatorische Lücke" (Kubicek) in der Computerkommunikation schloss. Die zivilen Akteure waren aufgrund der eigenen Unternehmensinteressen für einen so umfangreichen Normungsprozess nicht fähig oder bereit. Denn diese benutzten wie IBM und die proprietären Anbieter die Architekturen als Fangnetze für die Kunden oder fokussierten, wie die Fernmeldenetzbetreiber und die ihnen nahestehende CCITT, die Standardisierung auf ihre Transportnetzinteressen hin. Der umfassendste Normungsansatz des zivilen Bereiches wiederum, die OSI-Architektur, wollte alle nur denkbaren Gestaltungsvarianten technischer Kommunikationsbeziehungen in einer feingerasterten Modulhierarchie erfassen. Die maßgeblich von Hubert Zimmermann entwickelte Konzeption der Open Systems Interconnection, die ihren Ausgangspunkt in dem europäischen Forschungsnetz EIN hatte, das seinerseits aus den NPL- und Cyclades-Netzarchitekturen hervorgegangen war, systematisierte das strukturierte Netzwerk-Design, um ein allgemeingültiges Architektur-Modell zu schaffen [Zi73; ZN78]. Die OSI-Referenz-Architektur orientierte sich in der konkreten Ebenenaufteilung dann aber doch an dem bereits vorhandenen 7-Schichtenmodell der Distributed System Architecture von CII-Honeywell-Bull, das Charles W. Bachman und Michael Canepa 1977 in Anlehnung an die Systems Network Architecture von IBM geschaffen hatten [BC78; St01].

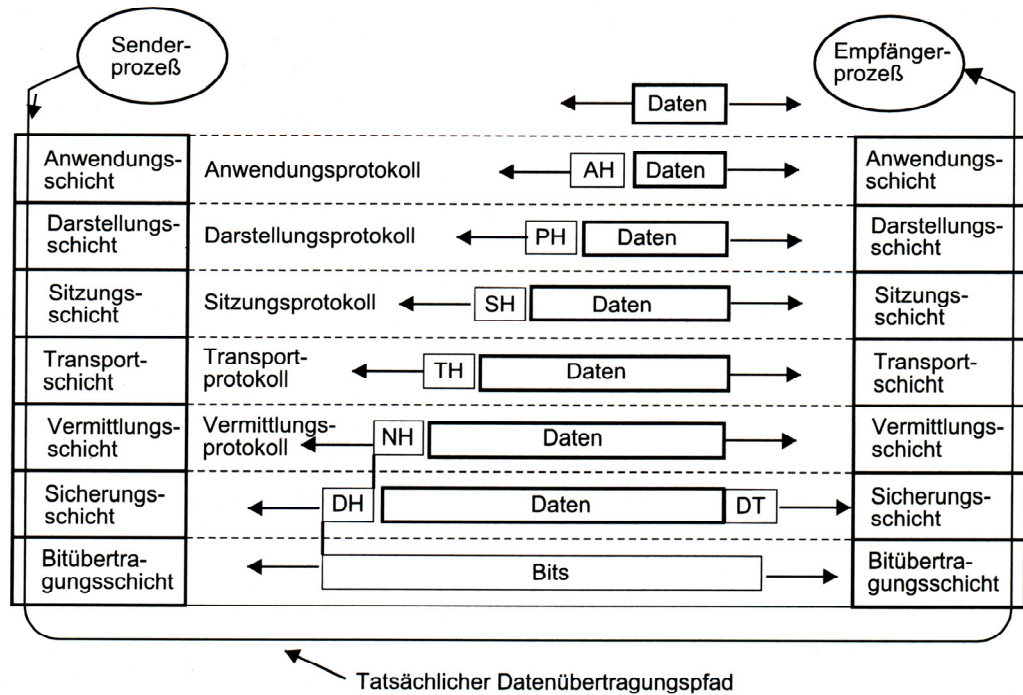


Abb. 9: 7-Schichten-Hierarchie des OSI-Referenzmodells  
(Header-Darstellung von H. C. Folts, zit. nach Ta98, S. 52)

Das Resultat war eine tiefgestaffelte Dienstleistungs-Hierarchie von Protokollschichten, die weit 'bürokratischer' und schwerer zu implementieren waren als das Internet. Die Aufteilung der Funktionalität auf die sieben Schichten erfolgte auch nicht so logisch stringent und ausgewogen, wie es ursprünglich geplant war. So gab es fast leere und eigentlich nutzlose Schichten und andere übervolle, die weiter unterteilt werden mußten. Mehrere Funktionen wie die Adressierung, Datenflusssteuerung und Fehlerbehandlung tauchten in jeder Schicht erneut auf, was die Konsistenz des Referenzmodells minderte und die effiziente Umsetzung in Dienste und Protokolle erschwerte [Ta98, S. 37 ff.] Eine weitere Komplexitätssteigerung ergab sich aus der nachträglichen Einbeziehung von Lokalen Netzen und Internetzwerken, die wegen der anfänglichen Fixierung auf Großrechner im Modell zunächst gar nicht vorgesehen waren. Das größte Handicap bestand jedoch darin, dass alle Protokolle für die detaillierte Ausführung einzelner Schichten und Dienste erst in langwierigen Normungsprozessen festgelegt werden mussten, bevor sie überhaupt einem breiten Praxistest unterzogen werden konnten. Die Standardisierung wurde dadurch so komplex und vom guten Willen der konkurrierenden Akteure abhängig, dass die OSI-Ausbreitung sehr bald ins Stocken geriet.

Die Normungsstrategie des Internet erwies sich so am Ende als strategisch günstiger, da es lediglich die Übersetzungsprinzipien und Gateways bzw. Router normte und das übrige unangetastet ließ. Das allein die Vermittlungs- bzw. Netzwerk- und Transport-Schicht regelnde TCP/IP-Protokoll entsprach so nicht nur dem militärischen Gebot der sofortigen Verfügbarkeit, sondern begünstigte auch die Entwicklung und schnelle praktische Erprobung innovativer Anwendungen. Denn über eine universale Adresse und einen simplen End-to-End-Lieferservice für Datagrammpa-

kete lassen sich im Internet die unterschiedlichsten Netze ohne Rücksicht auf physikalische Netzcharakteristiken verknüpfen. Ebenso ermöglicht es eine einfache "service abstraction", dass sehr heterogene Anwendungsbereiche zu komplexen Kommunikations- und Funktionsverbänden integriert werden können. Der IP-Protokollstack entwickelte sich dadurch nicht nur zum universalen Protokoll der Datenkommunikation, sondern erobert auch immer weitere Teile der drahtgebundenen und mobilen Telekommunikation, des Radio-/TV- und Unterhaltungsektors, der Informations- und Wissensdistribution sowie der gewerblichen und privaten Automatisierungsnetze.

Doch dass das Netz der Netze zu so umfassender Geltung gelangte, war nicht allein das Verdienst des Pentagon und der Arpanet/Internet-Pioniere. Dies zeigt die Phase nach 1975, als aufgrund des militärischen Zugriffs die weitere Ausweitung der Nutzerpopulationen und Entwicklung neuer Anwendungen nicht mehr vorangetrieben wurde. Das Militär konnte zwar die *Organisationslücke* bei der Netzstandardisierung schließen, nicht aber die *Anwendungslücke*, die das Netzwachstum hemmte. Und hier kam der DARPA wieder das von Licklider und Taylor initiierte Bündnis von Uniform und Turnschuh zu Hilfe. Die vom Arpanet ausgeschlossenen Netzkulturen entfalteten sich im BITNET, Fidonet und vor allem im auf UNIX beruhenden Usenet. Als dann durch die OSI-Initiative die weitere Entwicklung des Arpanet-Internet gefährdet schien, warben Cerf und Kahn Mitte der 80er Jahre intensiv bei den akademischen Subkulturen für ihre Protokolle [HL97, S. 293 ff.]. Diese füllten dann erst das Netz mit Leben und halfen auch durch gebrauchorientierte Innovationen die Schwächen der bisher unvollständigen Systemlösung zu überwinden. Cerf und Kahn betrieben ab 1983 durch Einbeziehung immer neuer Nutzerpopulationen, durch die Liaison mit der UNIX-Culture und durch die Ethernet-LAN-Verkoppelung, eine derart geschickte Verkettung kritischer Massen [zum Begriff siehe Pa 93, S. 112ff.], dass das Internet vor allem über das von der National Science Foundation initiierte NSFNet bald den gesamten Wissenschaftsbereich eroberte. Sie erzeugten damit eine so starke Anschlussbewegung, dass die US-Regierung die für 1986 bereits angekündigte Migration zur OSI-Architektur nicht mehr vollzog. Die von beiden anvisierte Strategie des "IP on everything" auf der Basis eines Best-effort-Netzes und von einfachen Quick-and-dirty-Anwendungsprotokollen hatte sich damit klar gegenüber der All-over-OSI-Strategie durchgesetzt, die mit dem Universalanspruch angetreten war, sichere und garantierte Übertragungen und eine voll durchstandardisierte umfassende Dienstpalette höchster Qualität anzubieten.

Es kam dadurch zu einer Sonderentwicklung in der Geschichte großtechnischer Netzwerke: die Massenausbreitung erfolgte hier nicht über kommerzielle Skalenökonomien oder öffentlich-rechtliche Monopole, sondern über den Wissenschaftssektor. Dieser verhalf den Benutzern und ihrer Selbstorganisation vorübergehend zum Sieg. Doch bald, nachdem Staat und Wissenschaft die Organisationslücke und die Anwendungslücke geschlossen hatten und das offene Weltnetz hervorbrachten, trat die Wirtschaft auf den Plan, die selbst dazu nicht bereit oder in der Lage gewesen war, und erschloß sich das Internet zunehmend als Werbe-, Vertriebs-, Logistik- und Rationalisierungs-Medium. Immer größere Teile des Webs verwandeln sich in Gelbe Seiten, Produktinformationen, Warenkataloge, Shopping-Portale und Malls.

Die Business-to-Business-Kommunikation wie die Datenkommunikation in Produktion und Gewerbe steigt mehr und mehr von den bisherigen branchenspezifischen Protokollen auf TCP/IP und Web-Dienste um. Sie profitieren dabei von den Skaleneffekten eines weltweit einheitlichen Netzwerk-Standards, der die proprietären Netz-Barrieren aufhebt und den Netzteilnehmern so einen exponentiellen Nutzenzuwachs beschert ("Metcalfe-Law").



Abb. 10: Karikatur von Eric P. Stefik über das Internet als Electronic Marketplace (St96, S.173)

Seit den 90iger Jahren versuchen mächtige Software-Hersteller, Internet-Provider und neuerdings auch Anbieter von spezialisierten Datenbankdiensten über Verknüpfungen der Internet- und WWW-Protokolle mit proprietären Betriebssystemen, mit Browser-, Suchmaschinen- oder Nutzerplattform-Software Marktmacht oder gar eine Vormachtstellung im Internet zu erlangen. Zugleich bemühen sich Content- und Software-Anbieter, die bisherige Offenheit des Internets wieder einzuschränken, indem sie durch z.T. rigide Digital Right Management-Instrumente den freien Zugang reglementieren und den ursprünglichen Open-Source-Charakter des Internet zugunsten von rein kommerziellen Informationsangeboten und Pay-per-view-Geschäftsmodellen zurückdrängen wollen. Alle diese Zugriffe können sich dabei die hohe Flexibilität der sozialen Prägefaktoren Software-gesteuerter Systeme zunutze machen. Mit relativ geringem Aufwand, durch strategische Protokoll-Verknüpfungen und die Zuschaltung einzelner zentraler Server mit Beobachtungs-, Organisations-, Vertriebs-, Kontroll- und Steuerungsfunktionen, läßt sich die soziale Architektur des Gesamtsystems grundlegend verändern. Dieselbe Eigenschaft können auch Politik und Militärs für weitergehende Überwachungs- und Herrschaftszwecke nutzen. Es besteht dadurch die Gefahr, dass sich das offene Kommunikationsnetz wieder zu einem kontrollierten Versorgungsnetz in der Hand dominanter wirtschaftlicher und institutioneller Akteure zurückbildet, so dass am Ende doch noch die restriktiven Zukunftsszenarien triumphieren könnten, wie sie Licklider als Warnung



und Kahn und Cerf als Modell für das universale "Digital Library System" entworfen. Die weitere Entwicklung der Technik und Anwendungen im Netz der Netze wäre dann vor allem von starken wirtschaftlichen Interessen bestimmt und nicht mehr wie bisher das Ergebnis eines weitgehend offenen Lernprozesses sich selbst organisierender Akteure.

Der spektakuläre Aufstieg der Blogosphäre und der User-Plattformen Napster, eBay, YouTube, MySpace, Flickr hat jedoch in den letzten Jahren gezeigt, welche Dynamik die Open-Source-Bewegung und die Selbstorganisation der User den kommerziellen Monopolisierungsbestrebungen von Software- und Contentanbietern entgegenzusetzen vermochten. Allerdings geriet auch diese neue Welle selbstorganisierter Dienste, die Tim O'Reilly unter dem Schlagwort "WEB 2.0" zusammengefasst hat [OR05], schon wenige Jahre nach ihrer Entstehung in kommerziellen Besitz und in den Bannkreis neuer Service-orientierter Unternehmensmodelle. Die Nutzer kreieren in diesem weltumspannenden Informations-Selbstbedienungsladen zwar die Web-Inhalte und führen alle anfallenden Arbeiten selber aus. Doch organisiert und kommerziell ausgebeutet werden diese Plattformen nun von großen Internet- und Medienunternehmen. Auf der anderen Seite stehen jedoch die Social Communities und kollaborativen Wikimedia-Gruppen, insbesondere die große durch die User erstellte und selbstverwaltete 'Weltwissensbank' Wikipedia, die sich wie andere Aktivitäten der Free-Software-Bewegung bis heute einer Kommerzialisierung widersetzen konnten. Es bleibt abzuwarten, welche Akteure die weitere Internet-Evolution in der Zukunft dominieren werden, basisdemokratische User bzw. Social Communities oder Monopolmacht anstrebende Web-Companies. Angesichts der noch auch nach fast 40 Jahren ungebrochenen technischen und sozialen Entwicklungsdynamik im Netz der Netze ist es derzeit jedenfalls schwer abschätzbar, ob die neuen Social Web-Initiativen und Open-Source-Bewegungen der totalen Kommerzialisierung des Internet einen Riegel vorgeschoben haben oder ob sie durch die Schaffung ständig neuer Plattformen lediglich den Boden für immer weiter ausgreifende Vermarktungskonzepte und die kollektive Nutzer-Intelligenz einbeziehende Geschäftsmodelle bereiten.



Abb. 11: "Web 2.0 is Made of People": Karikatur von Mark Alan Stamaty von 2006  
<http://www.flickr.com/photos/ross/120012157/>

## Literaturverzeichnis

- [Ab99] Abbate, J. E.: *Inventing the Internet*. Cambridge, MA 1999 (Diss.-Fassung 1994).
- [Ad96] Adam, John: *Architects of the net of nets*. In: *IEEE Spectrum* 33 (1996) 9, S.57-63.
- [Ba64a] Baran, P.: *On distributed communications*. RAND Corporation Research Documents, 11 Bde. 1964 (<http://www.rand.org/publications/RM/baran.list.html>).
- [Ba64b] Baran, P.: *On distributed communication networks*. In: *IEEE Transactions on Communication Systems*, COM-12, 1964, S. 1-9.
- [Ba77] Baran, P.: *Some Perspectives on Networks. Past, Present and Future*. In: *Information Processing 77, IFIP Congress Series, Vol. 7* (1977), S. 459-464.
- [Ba90] Paul Baran, OH 182. Oral history interview by Judy O'Neil, 5 March 1990, Menlo Park, Cal. Charles Babbage Institute, University of Minnesota, Minneapolis (im folgenden zit.: CBI); im Internet unter: <http://www.cbi.umn.edu/oh> (0h182pb.pdf)
- [BC78] Bachman, C. W.; Canepa, M.: *The Session Control Layer of an Open System Interconnection*. In: *IEEE Compcon 78, Fall, Sept. 1978*, S. 150-156.
- [BF99] Berners-Lee, T.; Frischetti, M.: *Weaving the Web*. San Francisco 1999; deutsche Ausgabe: *Der Web-Report*. München 1999.
- [BS80] Boggs, D. R.; Shoch, J. F.; Taft, E.A.; Metcalfe, R. M.: *Pup: An Internetwork Architecture*. In: *IEEE Transactions on Communications, VOL Com-28, No.4*, S. 612-624.
- [Ca05] Castells, Manuel: *The Internet-Galaxy: Reflections on Internet, Business and Society*, Oxford, New York 2001; dt. Ausgabe: *Die Internet-Galaxie. Internet, Wirtschaft und Gesellschaft*. Wiesbaden 2005.
- [CC77] Cerf, V. G; Curran, A.: *The Future of Computer Communications*. In: *Datamation* 23 (1977) 5, S. 105-114.
- [CC83] Cerf, V. G; Cain, E.: *The DoD Internet Architecture Model*. In: *Computer Networks*, 7 (1983), S. 307-318.
- [Ce75] Cerf, V. G: *An Assessment of the ARPANET Protocols*. In: *Network Systems and Software (Infotech State of the Art Report 24)*, Maidenhead 1975, S. 462-4.
- [Ce79] Cerf, V. G: *DARPA Activities in Packet Network Interconnection*. In: K. G. Beauchamp (Hrsg.), *Interlinking of Computer Networks*, Dordrecht, Boston, London 1979, S. 287-305.
- [Ce80] Cerf, V. G: *Protocols for Interconnected Packet Networks*. In: *Computer Communication Review* 10 (1980) 4, S.10-57.
- [Ce81] Cerf, V. G: *Packet Communication Technology*. In: Kuo, F. F. (Hrsg.): *Protocols and Techniques for Data Communication Networks*. Englewood Cliffs, N. J. 1981, S. 1-34.
- [Ce90] Vinton G. Cerf, OH 191. Oral history interview by Judy E. O'Neill, 24 April 1990, Reston, Va. CBI; im Internet unter: <http://www.cbi.umn.edu/oh> (0h191vgc.pdf)
- [Ce93] Cerf, V. G: *How the Internet Came to Be*. In: Aboba, Bernhard (Hrsg.), *The Online User's Encyclopedia, Readings, Mass. u.a. 1993*; Netzversion: <http://cra.org/research.impact>
- [CK74] Cerf, V. G.; Kahn, R. E.: *A Protocol for Packet Network Intercommunication*. In *Transactions on Communications*, COM-22 (1974) 5, S.637-648.
- [CK78] Cerf, V. G.; Kirstein, P. T.: *Issues in Packet Network Interconnection*. In: *Proceedings of the IEEE* 66 (1978) 11, S. 1386-1408.
- [CL83] Cerf, V. G.; Lyons, R.E.: *Military Requirements for Packet Switched Networks and Their Implications, for Protocol Standardization*. In *Computer Networks* 7 (1983), S.293-306.
- [CK88] Campbell-Kelly, M.: *Data Communications at the National Physical Laboratory (1965-1975)*. In: *Annals of the History of Computing* 9 (1988) 3/4, S. 221-247.
- [Cl90] Wesley Clark, OH 195. Oral history interview by Judy E. O'Neill, 3 May 1990, New York, CBI; im Internet unter: <http://www.cbi.umn.edu/oh> (0h195wc.pdf)
- [Cr91] Stephen Crocker, OH 233. Oral history interview by Judy E. O'Neill, 24 October 1991, Glenwood, Md. CBI; im Internet unter: <http://www.cbi.umn.edu/oh> (0h233sc.pdf)
- [Da68] Davies, D. W.: *The Principles of a Data Communication Network for Computers and Remote Peripherals*. In: *Information Processing '68, IFIP Congress Series, 2 Bde. Am-*

- sterdam 1968, Bd. 2, S. 709-715.
- [Da72] Davies, D. W.: Packet Switching in a Public Data Network. In: Information Processing 72, IFIP Congress Series, Bd. 5, 1972, S. 622-627.
- [Da97] Davies, D. W.: Early Thoughts on Computer Communications. In: Ramani, S.; Verma, P. (Hg.): The Computer Communication Revolution, ICC Press 1997, S. 189-193.
- [DB73] Davies, D. W., Barber, D. L. A.: Communication Networks for Computers. London, New York, Sydney, Toronto 1973.
- [DBS68] Davies, D. W., Bartlett, K. A.; Scantlebury, R. A.; Wilkinson, P. T.: A Data Communication Network for Real-Time Computers. In: 4th IEEE International Conference on Communications. Conference Record, New York 1968, S. 728-733.
- [En70] Engelbart, D. C.: Intellectual Implications of Multi-Access Computer Networks. In Proceedings of the Interdisciplinary Conference on Multi-Access Computer Networks, Austin, TX, April 1970, als Netzversion: <http://www2.bootstrap.org/augment-5255.htm>
- [Fr90] Howard Frank, OH 188. Oral history interview by Judy E. O'Neill, 30 March 1990, Fairfax, Va. CBI; im Internet unter: <http://www.cbi.umn.edu/oh> (0h188hf.pdf)
- [Fr00] Friedewald, M.: Vom Experimentierfeld zum Massenmedium: Gestaltende Kräfte in der Entwicklung des Internet. In: Technikgeschichte 67 (2000) 4, S. 331-361.
- [FFC70] Frank, H.; Frisch, I. T.; Chou, W. W.: Topological Considerations in the Design of the ARPA Computer Network. In: AFIPS, Bd.36, SJCC 1970, S. 581-587.
- [FKK72] Frank, H.; Kahn, R. E.; Kleinrock, L., Computer Communication Network Design. Experience with Theory and Practice. In: AFIPS, Bd. 40, SJCC 1972, S. 255-270.
- [GB94] Gore, Al; Brown, Ron: Global Information Infrastructure. Agenda for Cooperation, Washington, D.C 1994.
- [GC02] Gillies, J.; Cailliau, R.: How the Web Was Born: The Story of the World Wide Web. Oxford, New York 2000; deutsche Ausgabe: Die Wiege des Web. Die spannende Geschichte des WWW. Heidelberg. 2002.
- [Go89] Gore, A.: National High-Performance Computer Technology Act of 1989 Newsletter, zit. in: Williams, F.: The Information Infrastructure in Technopolis: The Intelligent Network. In: Gibson, D. V.; Kozmetsky, G.; Smilor, R. W., The Technopolis Phenomenon. Smart Cities, Fast Systems, Global Networks, Boston 1992, S. 87-102.
- [Go91a] Gore, A.: Infrastructure for the Global Village. In: Scientific American (1991) 9, S. 108-111.
- [Go91b] Gore, A.: Information Superhighways. The Next Information Revolution. In: The Futurist 28 (1991) Jan/Febr., S. 21-23.
- [Go93] Gore, Al: Remarks by Vice President Al Gore at National Press Club, December 21, 1993 <http://metalab.unc.edu/nii/goremarks.html>; wiedergedruckt in: Grote, C. u. a. (Hrsg.), Kommunikationsnetze der Zukunft. Leitbilder und Praxis. Dokumentation einer Konferenz am WZB, WZB Discussion Paper FS II 94-103, Wissenschaftszentrum Berlin 1994, S. 17-26.
- [Go96] Gore, Al: Global Information Initiative, Remarks to G-7 Meeting on the Global Information Initiative, Brüssel Febr. 1995, gedruckt in: Targowski, A. S., Global Information Infrastructure. The Birth, Vision, and Architecture, Harrisburg, PA, London 1996, S. I-1-4.
- [Gu98] Guice, J.: Looking Backward and Forward at the Internet. In: The Information Society 14 (1998), S. 201-211.
- [Ha96] Hardy, I. R.: The Evolution of ARPANET email. History Thesis Paper University of California at Berkeley, Spring 1996.; im Internet unter der URL <http://www.ifla.org/documents/internet/hari1.txt> (zuletzt gesehen 31.7.2006).
- [HB68] Hooton, I. N.; Barnes, R.C.M.: A standardized data highway for online-computer applications. In: AFIPS, Bd. 33, Fall Joint Computer Conference 1968, S. 1077-1087.
- [He90] Frank Heart, OH 186. Oral history interview by Judy E. O'Neill, 13 March 1990, Cambridge, Massachusetts. CBI; im Internet unter: <http://www.cbi.umn.edu/oh> (0h186fh.pdf).
- [He92] Hellige, H. D.: Militärische Einflüsse auf Leitbilder, Lösungsmuster und Entwicklungsrichtungen der Computerkommunikation. In: Technikgeschichte, 59 (1992), 4, S. 371-

- 401.
- [He94] Hellige, H. D.: From SAGE via ARPANET to ETHERNET: Stages in Computer Communications Concepts between 1950 and 1980. In: Eda Kranakis (Hrsg.), *Beyond Hardware History: Studies in the Social History of Information Technology, History and Technology*, Bd. 11 (1994), S. 49-75.
- [He96a] Hellige, H. D.: Technikleitbilder als Analyse-, Bewertungs- und Steuerungsinstrumente: Eine Bestandsaufnahme aus informatik- und computerhistorischer Sicht. In: ders. (Hg.), *Technikleitbilder auf dem Prüfstand. Das Leitbild-Assessment aus Sicht der Informatik- und Computergeschichte*, Berlin 1996, S. 13-36.
- [He96b] Hellige, H. D.: Leitbilder im Time-Sharing-Lebenszyklus: Vom "Multi-Access zur "Interactive On-line Community". In: ders. (Hrsg.), *Technikleitbilder auf dem Prüfstand. Das Leitbild-Assessment aus Sicht der Informatik- und Computergeschichte*, Berlin 1996, S. 205-234.
- [He00] Hellige, H. D.: Weltbibliothek, Universalenzyklopädie, Worldbrain: Zur Säkulardebatte über die Organisation des Weltwissens. In: *Technikgeschichte*, Bd.67 (2000), Heft 4, S. 303-329.
- [He04] Hellige, H. D.: „Technikgeschichte und Heilsgeschehen“: Endzeiterwartungen in technischen Zukunftsszenarien für das Jahr 2000. In: Schöck-Quinteros, E.; Kopitzsch, F., Steinberg, H.-J. (Hg.): *Bürgerliche Gesellschaft – Idee und Wirklichkeit. Festschrift für Manfred Hahn* (Schriften des Hedwig Hintze-Instituts Bremen, Bd. 8), Berlin 2004, S. 361-374.
- [HH97] Hauben, M.; Hauben, R.: *Netizens: On the History and Impact of Usenet and the Internet*, Washington, Brüssel, Tokyo 1997.
- [HHH94] Helters, S.; Hofmann, U.; Hofmann, J.: Alles Datenautobahn- oder was? Entwicklungspfade informationstechnischer Vernetzung. In: Grote, Claudia u. a. (Hg.), *Kommunikationsnetze der Zukunft. Leitbilder und Praxis. Dokumentation einer Konferenz am WZB*, WZB Discussion Paper FS II 94-103, Wissenschaftszentrum Berlin 1994, S. 237-246.
- [HL97] Hafner, K.; Lyon, M.: *Where Wizards Stay up Late: The Origins of the Internet*, New York 1996, dt. Ausgabe: ARPA KADABRA. *Die Geschichte des Internet*. Heidelberg 1997.
- [HP99] Holzmann, G. J.; Pehrson, B.: *The Early History of Data Networks*, 2. Aufl. 1999.
- [Hu83] Hughes, Th. P.: *Networks of Power, Electrification in Western Society 1880-1930*, Baltimore 1983.
- [Hu87] Hughes, Th. P.: The Evolution of Large Technological Systems. In: Bijker, W. E.; Hughes, Th. P.; Pinch T. J., (Hrsg.), *The Social Construction of Technological Systems*, Cambridge, Mass., London 1987, S. 51-82.
- [Ka72] Kahn, R. E.: Resource-Sharing Computer Communications Networks. In: *Proceedings of IEEE*, 60 (1972) 11, S.1397-1407.
- [Ka75] Kahn, R. E.: The Organization of Computer Resources into a Packet Radio Network. In: *National Computer Conference 1975*, AFIPS Bd. 44, S. 177-186.
- [Ka90] Robert E. Kahn, OH 192. Oral history interview by Judy E. O'Neill, 24 April 1990, Reston, Va. CBI; im Internet unter: <http://www.cbi.umn.edu/oh/0h192rek.pdf>.
- [Ka95] Kahn, R. E.: The Role of Government in the Evolution of the Internet. In: *National Academy of Engineering* (Hg.): *Revolution in the U.S. Information Infrastructure*, Washington, D.C. 1995, S. 13-24.
- [KC72] Kahn, R. E.; Crowther, W. R.: Flow Control in a Resource-Sharing Computer Network. In: *IEEE Transactions on Communications*, 20 (1972) 3, S. 539-546.
- [KC88] Kahn, R. E.; Cerf, V. G.: An Open Architecture for a Digital Library System and a Plan for Its Development. *The Digital Library project. Vol 1: The World of Knowbots* (Draft), Corporation for National research Initiatives, März. 1988: im Internet unter: [http://www.cnri.reston.va.us/pub\\_archive.html](http://www.cnri.reston.va.us/pub_archive.html) [hdl:4263537/2091]
- [Kl61] Kleinrock, L.: *Information Flow in Large Communication Nets*. Proposal for a Ph.D. Thesis, MIT, Ms. May 1961; im Internet unter: <http://www.cs.ucla.edu/~lk/LK/Bib/REPORT/PhD/> (zuletzt gesehen: 30.7.2006).
- [Kl64] Kleinrock, L.: *Communication Nets: Stochastic Message Flow and Delay*, New York

- 1964; Reprint 1972.
- [Kl69a] Kleinrock, L.: UCLA to be the First Station in Nationwide Computer Network, UCLA, Office of Public Information, 3.7.1969; das Rundschreiben ist mitgeteilt in: ders., The First Days of Packet Switching, SIGCOMM Tutorial, 31.8.1990, im Internet unter der URL (zuletzt gesehen: 31.7.2006):  
<http://www.engineer.ucla.edu/stories/2004/internet1969.htm>
- [Kl69b] Kleinrock, L.: Models for Computer Networks. In: Proceedings of the International Communications Conference, Boulder, Colorado 1969, S. 21/9-16.
- [Kl76] Kleinrock, L.: Queueing Systems, 2 Bde. New York, London, Sydney, Toronto 1974/76, Bd. II: Computer Applications.
- [Kl78] Kleinrock, L.: Principles and Lessons in Packet Communications. In: Proceedings of the IEEE 66 (1978) 11, S. 1320-1329.
- [Kl79] Kleinrock, L.: On Resource Sharing in a Distributed Communication Environment. In IEEE Communications Society Magazine 17 (1979) 1, S. 26-34.
- [Kl90] Leonard Kleinrock, OH 190. Oral history interview by Judy E. O'Neill, 3 April 1990, Los Angeles, Cal. CBI; im Internet unter: <http://www.cbi.umn.edu/oh> (0h190lk.pdf).
- [Kl96] Kleinrock, L.: The Birth of the Internet. In: Leonard Kleinrock's Personal History. <http://millennium.cs.ucla.edu/LK/Inet/birth.html> (Stand 27.8.1996).
- [Ks96] Kleinstüber, H. J.: Der "Information Superhighway". Analyse einer Metapher. In: ders., (Hg.), Der "Information Superhighway". Amerikanische Visionen und Erfahrungen, Opladen 1996, S. 17-47.
- [LCC03] Leiner, B.M.; Cerf, V.G.; Clark, D.C. u.a.: A Brief History of the Internet, Version 3.32, 10.12.2003; unter der URL: <http://www.isoc.org/internet-history/brief.html> (zuletzt gesehen 31.7.2006).
- [LC62] Licklider, J. C.R.; Clark, W. E.: On-line Man-Computer Communication. In: AFIPS Bd.21, SJCC 1962, S. 113-123.
- [Li60] Licklider, J. C.R.: Man-Computer Symbiosis. In: IRE Transactions on Human Factors in Electronics, Bd.1, März 1960, S.4-11.
- [Li63] Licklider, J. C.R.: Memorandum for: Members and Affiliates of the Intergalactic Computer Network, Arpa, 23.4.1963; im Internet unter: <http://packet.cc/files/memo.html> (zuletzt gesehen 31.7.2006).
- [Li65] Licklider, J.C.R.: Libraries of the Future, Cambridge, Mass. 1965.
- [Li74] Licklider, J.C.R.: Potential of Networking for Research and Education. In: Greenberger, Martin (Hg.), Networks for Research and Education, Cambridge, Mass. 1974, S. 44- 50.
- [Li79] Licklider, J.C.R.: Computers and Government. In: Dertouzos, M. L.; Moses, J. (Hg.): Future Impact of Computers: A Twenty Year View. Cambridge, Mass. 1979, S. 87-126.
- [Li88] J. C. R. Licklider, OH 150. Oral history interview by William Aspray and Arthur L. Norberg, 28 October 1988, Cambridge, Mass., CBI; im Internet unter: <http://www.cbi.umn.edu/oh> (0h150jcl.pdf).
- [LT68] Licklider, J.C.R.; Taylor, R. W.: The Computer as a Communication Device. In: Science and Technology, Apr. 1968; wiedergedruckt in: In Memoriam Joseph C.R. Licklider 1915-1990, Digital Research Center August 1990.
- [LV78] Licklider, J.C.R.; Vezza, A.: Applications of Information Networks. In: Proc. IEEE 66 (1978) 11, S.1330-1346.
- [Ma71] Martin, J.: Future Developments in Telecommunications. Englewood Cliffs, N.J. 1971.
- [Ma78] Martin, J.: The Wired Society, Englewood Cliffs 1978.
- [MW91] McKenzie, A. A.; Walden, D. C.: Arpanet, the Defense Data Networks, and Internet. In: Froehlich, F. E.; Kent, A. (Hg.): The Froehlich/Kent Encyclopedia of Telecommunications, 18 Bde. New York 1991-99, Bd. 1, S. 341-376.
- [Na99] Naughton, J.: A Brief History of the Future. The Origins of the Internet, London 1999.
- [Ne81] Nelson, Th., H., Literary Machines: The Report on, and of, Project Xanadu concerning word processing, electronic publishing, hypertext, thinkertoys, tomorrow's intellectual revolution, and certain other topics including knowledge, education and freedom, Swartmore 1981.
- [N096] Norberg, A. L.; O'Neill, J.: Transforming Computer Technology. Information Processing for the Pentagon 1962-1986. Baltimore, MD 1996.

- [OH65] Overhage, C.F.J.; Harman, R. J.: The On-Line Intellectual Community and the Information Transfer system at M.I.T. in 1975, Intrex, Cambridge, Mass. 1965, S. 5-51; abgedruckt in: Kochen, M. (Hrsg.): The Growth of Knowledge, New York, London, Sydney 1967, S. 77-95.
- [ON92] O'Neill, J.: The Evolution of Interactive Computing through Time-sharing and Networking. Phil. Diss University of Minnesota 1992.
- [ON95] O'Neill, J.: The Role of ARPA in the Development of the ARPANET, 1961-1972. In: Annals in the History of Computing 17, (1995) 4, S. 76-81.
- [Or90] Ornstein, Severo, OH 183. Oral history interview by Judy E. O'Neill, 6 March 1990, Woodside, Cal., CBI; im Internet unter: [http://www.cbi.umn.edu/oh\(0h183so.pdf\)](http://www.cbi.umn.edu/oh(0h183so.pdf)).
- [OR05] O'Reilly, Tim, What Is Web 2.0. Design Patterns and Business Models for the Next Generation of Software (30.9.2005); unter URL (zuletzt gesehen: 11.11.2006): <http://www.oreillynet.com/lpt/a/6228>
- [Pa93] Pattay, W.P.: Die technologischen Ursachen für die wachsende Bedeutung internationaler Normen oder Entwicklungs- und anwendungsfördernde Strukturen für Telekommunikationssysteme, Diss. Bremen 1993.
- [Po73] Pouzin, L. (Hg.): Network Architectures and Components. In: Proceedings of the 1st European Workshop on Computer Networks, Arles April/Mai 1973, S. 227-265.
- [Po82] Pouzin, L. (Hg.): The CYCLADES Computer Network. Towards Layered Network Architectures (Monograph Series of the International Council for Computer Communications, Bd. 2), Amsterdam 1982.
- [Re97] Reid, R. H.: Architects of the Web. 1000 Days that Built the Future of Business. New York, Chichester, Weinheim 1997.
- [RH00] Rojas, R.; Hashagen, U. (Hg.): The First Computers - History and Architectures. Cambridge, MA, London 2000.
- [Ro72] Roberts, L. G.: Extensions of Packet Communication Technology to a Hand Held Personal Terminal. In: AFIPS Bd.40, SJCC 1972, S.295-298.
- [Ro74] Roberts, L. G.: Data by the Packet. In: IEEE Spectrum, 11 (1974) 2, S. 46-51.
- [Ro78] Roberts, L. G.: The Evolution of Packet Switching. In: Proceedings of IEEE, 55 (1978) 11, S. 1307-13.
- [Ro88] Roberts, L. G.: The ARPANET and Computer Networks. In: Adele Goldberg, A History of Personal Workstations, Reading, Mass.1988, S. 143-171.
- [Ro88] Lawrence G. Roberts, OH 159. Oral history interview by Arthur L. Norberg, 4 April 1989, San Francisco, Cal. , CBI; im Internet unter: [http://www.cbi.umn.edu/oh\(0h159lgr.pdf\)](http://www.cbi.umn.edu/oh(0h159lgr.pdf)).
- [RW70] Roberts, L. G.; Wessler, B. D.: Computer Network Developments to Achieve Resource Sharing. In: AFIPS, Bd.36, SJCC 1970, S.543-549.
- [Sa95] Salus, P. H.: Casting the Net: From ARPANET to Internet and Beyond. Reading, Mass. 1995.
- [Sm72] Smith, R. L.: The Wired Nation. Cable TV. The Electronic Communications Highway. New York 1972.
- [St96] Stefic, M.: Internet Dreams. Archetypes, Myths, and Metaphors. Cambridge, MA, London 1996
- [St99] Standage, T.: Das viktorianische Internet: die erstaunliche Geschichte des Telegraphen und der Online-Pioniere des 19. Jahrhunderts. St. Gallen 1999.
- [St01] Stallings, W.: The Origins of OSI, 19.11.2001 unter der URL: <http://www.WilliamStallings.com/Extras/OSI.html> (zuletzt gesehen:31.7.2006)
- [Ta89] R. W. Taylor, OH 154. Oral history interview by William Aspray, 28 February 1989, San Francisco, Cal., CBI; im Internet unter: [http://www.cbi.umn.edu/oh\(0h154rt.pdf\)](http://www.cbi.umn.edu/oh(0h154rt.pdf)).
- [Ta98] Tanenbaum, A. S.: Computernetzwerke, 3. Aufl. München u.a. 1998.
- [Wa90] David C. Walden, OH 181. Oral history interview by Judy E. O'Neill, 6 February 1990, Cambridge, Mass., CBI; im Internet unter: [http://www.cbi.umn.edu/oh\(0h181dw.pdf\)](http://www.cbi.umn.edu/oh(0h181dw.pdf))
- [Wa01] Waldrop, M. M.: The Dream Machine. J. C. R. Licklider and the Revolution that Made Computing Personal, New York 2001.
- [WK97] Weyer, J.; Kirchner, U. u.a.: Technik, die Gesellschaft schafft. Soziale Netzwerke als Ort der Technikgenese. Berlin 1997.

- [WS68] Wilkinson, P. T.; Scantlebury, R. A.: The Control Functions in a Local Data Network. In: Information Processing '68, IFIP Congress Series, Amsterdam 1968, Bd. 2, S. 734-738.
- [YT78] Yatsuboshi, R.; Tsuda, T.; Yamaguchi, K.; Inoue, Y.: An In-House Configuration for Distributed Intelligence. In: Evolutions in Computer Communications, Proceedings of the 4th ICC, Kyoto 1978, S. 155-160.
- [Zi73] Zimmermann, H.: Protocols, Formalization, Hierarchy. In: Proceedings of the 1st European Workshop on Computer Networks, Arles April/Mai 1973, S. 267-283.
- [ZN78] Zimmermann, H.; Naffah, N.: On Open System Architecture. In: H. Inose (Hg.), Evolutions in Computer Communications, Proceedings of the 4th International Conference on Computer Communications, Kyoto 1978, S. 669-674.