

Die Geschichte des Internet als Lernprozess

Hans Dieter Hellige

Forschungszentrum Arbeit – Umwelt – Technik (artec)

Universität Bremen

Enrique-Schmidt-Str. 7

D 28334 Bremen

Hellige@artec.uni-bremen.de

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 Technikgenese-forschung auf die Internet-Entwicklung angewandt.

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 Traditions-konstruktion 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, Vinton G. Cerfs Bericht "How the Internet Came to Be" von 1993 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." [K196] 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 [BL99, S. 14 f.]. 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, erfolgt auch hier die Begriffsfestlegung auf die eigene Prioritätsauffassung hin und entsprechend variieren die Entstehungszeitpunkte des Internets:

Erfindungsdatum	Internet-Pionier	Internet-Auffassung
1959/64	Baran	Universales paketvermitteltes Kommunikationsnetz für Daten
1960/63	Licklider	Sprach- und Videokommunikation Time-Sharing-Zentralennetz für Informationsversorgung und interaktives Problemlösen
1962/64	Kleinrock	Paketvermitteltes Datenübertragungs-Modellsystem
1965/68	Davies	Nationales Paketdaten-Infrastrukturnetz für Time-Sharing-Systeme
1967/69	Roberts	Resource-Sharing-Netzwerk auf Packetvermittlungsbasis
1973/74	Kahn/Cerf	Internetwerkprotokoll für heterogene Paketvermittlungsnetze
1979/80	Truscott/Bellovin/Ellis	Kommunikations- und Informationsverteilungssystem in der Selbstorganisation der Nutzer (Usenet)
1979/71	Nelson	Weltbibliothek vernetzter Hypermedia-Dokumente („Docuverse“)
1989/90	Berners-Lee	Verknüpfung von Internet und Hypertext zum WWW, globales Wissens- und Kooperationsmedium
1991/93	Gore	Nationale/globale Informationsinfrastruktur (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. Es gibt nicht *den* „system builder“, den großen Integrator, den Thomas P. Hughes als die Schlüsselfigur bei der Genese großtechnischer Netzwerke annimmt, sondern eine ganze Kette von Systemarchitekten, Promotoren und Innovationsinstanzen. Das Internet ist eine komplexe Systemerfindung, die in mehreren Stufen 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 Sys-

teme, insbesondere großtechnische Netzwerke sind das Ergebnis mehrstufiger Genese-prozesse, 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 etwa sechs bis acht 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 über die optische und elektrische Telegraphie vom "optischen Internet" oder dem "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]. Eine ähnliche Sogwirkung ist auch in den bisherigen historischen Gesamtdarstellungen zur Geschichte des Internets zu beobachten. Auch hier dominiert die heroische, auf Erfinder, Forscher und Gründerfirmen zentrierte Perspektive.

So konzentrieren Katie Hafner und Matthew Lyon ihre beinahe romanhafte Schilderung der Ursprünge des Internet von 1996, in zweiter Auflage von 1999, ganz auf die MIT-Community und die Firma BBN, die die Arpanet-Protokolle geschaffen haben. Das Arpanet und das aus ihm hervorgehende Internet werden bei ihnen linear aus den Visionen und genialen Lösungen einer kleinen Forscher- und Ingenieurelite heraus entwickelt. Es sind hier einige "wizards", Zauberer, die Weltgeschichte schreiben. [HL96, 99]. Auch bei Arthur L. Norberg und Judy O'Neill dominiert die Siegerperspektive, auch wenn hier die Weitsichtigkeit der militärischen Forschungsförderungszentrale ARPA, speziell deren informationstechnischer Abteilung (IPTO) als Innovationstreiber im Zentrum stehen [NO96]. M. Mitchell Waldrops Geschichte des Personal und Internet-Computing hat eine ähnlich institutionelle Perspektive, allerdings ganz fokussiert auf die eminente Rolle von Joseph Licklider und Robert Taylor [Wa01]. Demgegenüber entwickelt John Naughton (1999) die Internet-Historie als eine ganze Kette herausragender Einzelpersonen, die „heroes“ und „visionaries“ von Norbert Wiener bis zu Berners-Lee, „who laid the foundations of the post-modern world“ [Na99]. Bei diesen Büchern wie auch in "Casting the Net" von Peter Salus erscheinen Arpanet und Internet überwiegend als Datenübertragungstechniken, Netzwerkarchitekturen und Protokollwelten. Die Nutzer der Technik und ihre Anwendungen treten demgegenüber stark in den Hintergrund. In dem ganz aus der Grassroots-Perspektive geschriebenen Buch "Netizen" von Ronda und Michael Hauben dagegen sind die „user“ der Mittelpunkt der Geschichte des Internet, wobei sie sich ganz auf das Internet-Teilnetz Usenet und die Newsgroups konzentrieren [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. Für Robert H. Reid wiederum sind die „Architects of the Web“, Pioniere wie Marc Andreessen, Kim Polese, Mark Pesce und Jerry Yang, die 1994/95 der Kommerzialisierung des Internet zum Durchbruch verhelfen, die eigentlichen Helden der Internet-Evolution [Re97].

Einzig das Buch "Inventing Internet" von Janet Abbate stellt 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 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 [Ab99]. Doch letztlich hat auch sie erst zum Teil Anschluss an die Theorien und Methoden gefunden, die die historische und soziologische Technikgeneseforschung anhand früherer großtechnischer Systeme und Netzwerke schon seit etwa zehn bis fünfzehn Jahren entwickelt hat.

So bestätigt die bisherige Geschichtsschreibung über das Internet und die Computernetze die historiographische Erkenntnis, daß Historiker neuer Technikzweige besonders zu traditionellen heroischen Sichtweisen und narrativen Darstellungsformen neigen, weil sie noch zu dicht an der Geschichtserzählung der Pioniergeneration und ihren Patentstreitigkeiten dran ist. Sie teilt damit 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

Demgegenüber widmen sich Historiker länger etablierter Techniken eher Strukturfragen, sozialen Konfigurationen und sie beziehen auch eher über die Invention und Innovation hinaus die Nutzungsphase und überhaupt den gesamten Technologielebenszyklus mit ein..

Infolge der theoretisch-methodischen Rückständigkeit trägt die Geschichtsschreibung über das Internet nur bedingt zur Bewertung von Akteurskonstellationen sowie zur Reflexion von Handlungs- und Gestaltungsalternativen bei. Sie versperrt sich insbesondere Lernprozesse über die anfangs erheblichen Anwendungslücken und Nutzungsprobleme der unvollständigen Systemlösung Internet. Es gilt daher in Zukunft, wie Jon Guice es schon 1998 gefordert hat, endlich das Know-how der historischen und soziologischen Technikforschung auch auf das Internet anzuwenden [Gu98]. Im Folgenden soll exemplarisch anhand zweier Fragestellungen der historischen Technikgeneseforschung angedeutet werden, welches Potential in den verschiedenen technikhistorischen und techniksoziologischen Forschungsansätzen für die aktuelle Technikbewertung steckt. 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. Neben der Leitbild*kontinuität* beanspruchen sie für ihre Infrastruktur- und Anwendungsvisionen zugleich die Leitbild*originalität*. Beides widerspricht jedoch den Beobachtungen in anderen Kommunikations- und Informationstechniken, etwa beim Telefon, Radio und vielfach auch beim Computing. 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 illustrieren.

Al Gore beansprucht für sich, den Begriff Information-Highway bzw. Super-Highway geprägt und propagiert zu haben. Er verweist darauf, dass er bereits 1979 und dann wieder ab 1989 den Begriff in die Debatte geworfen hat, wobei das von seinem Vater im Kongress geförderte Interstate-Highway-Netz der 50er Jahre das Vorbild hierfür gewesen sei [Go89]. 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 Übertragungstrecken, die physikalischen Highways, je ganz aufzugeben.

Zieht man frühere Belege von Highway-Metaphern in der Computerkommunikation hinzu, so entstehen auch Zweifel am Originalitätsanspruch Gores, denn Highway-Metaphern lassen sich bereits 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 JANUS-System von 1968 gefunden, hier noch in der Bedeutung eines Standardprotokolls der Atomforschungszentren zur Verknüpfung aller „devices“ in verteilten Computersystemen [HB68]. 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: "Telecommunication Highways" verbinden 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 dem 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 entschieden 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 [He96]. So wurden bereits in den späten 50er und den 60er Jahren Technikszenarien und Nutzungsvisionen formuliert, die erst sehr viel später umgesetzt oder in Angriff genommen wurden: Telebanking, 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 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 verband anfangs das „Library of the Future“-Konzept mit der Idee des Netzes der „Thinking Centers“ und der „Man Computer Symbiosis“ zu einem umfassenden Modell der Wissensversorgung und des kooperativen interaktiven Problemlösens [Li65]. Im Zentrum seiner Nutzungsvisionen standen 1962 „computer-aided teaching and learning“ sowie „computer-aided planning and design“ [LC62]. In der zweiten Hälfte der 60er Jahre löste er sich aufgrund der Erfahrungen des MAC- und INTREX-Projektes am MIT 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]. 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. Für Leonard Kleinrock, der unter Hinweis auf sein 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 paketbasierten „multi-terminal communication net“ [Kl61]. Mithilfe einer Verknüpfung von 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 [Kl64]. Mit seinen theoretischen Modellen und Messkonzepten wies er erstmals die von der gesamten Telekommunikations-Community bisher bestrittene Machbarkeit von Packet-Switching-Systemen nach. Bei seinen Nutzungsvorstellungen für diese neue Netzarchitektur orientierte er sich 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. He96, S. 226 ff.].

Auch der Chefdesigner 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 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 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 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 Firma Telenet X-25-

Dienste anbot, nannte er „Electronic Funds Transfer“, „integrated corporate data networks“ und den nationalen Datenabruf 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 mobilen Hand Held Personal Terminals auszustatten und so den Computerzugriff flächendeckend anzubieten [Ro72].

Selbst Robert Kahn, der 1972 als erster das Internetworking-Problem erkannte und das erste Architekturmodell des Internets entwarf, ging kaum über das Resource-Sharing-Konzept hinaus. Sein Hauptinteresse war darauf gerichtet, durch optimale Topologie und Funktionsschichtung die Gefahr von Blockaden und Zusammenbrüchen beim Massenzugriff auf das Netz und Zentralressourcen zu verhindern. Das Internet war für ihn ein „marketplace“ für computer-related-services großer kommerzieller oder institutioneller Time-Sharing-Zentren [Ka77, Ka78]. Er machte sich auch besonders militärische Anforderungen einer mobilen und satellitengestützten Computernutzung und erhöhten Robustheit und Ausfallsicherheit zueigen. Er traf sich da ganz mit Vinton G. Cerf, mit dem er 1972/73 die ersten TCP-Protokolle entwarf und der seit dem Ende der 70er Jahre die Rolle eines Chefkoordinators der Internet-Protokollentwicklung einnimmt. Denn auch für Cerf war das Hauptziel des Arpanet: „to share preexisting programs and data“ [CK74]. Er kritisierte sogar alle euphorischen Zukunftsvisionen der Time-Sharing-Community in der zweiten Hälfte der 60er Jahre und entwarf 1976 für das Internet bis zum Ende der 80er Jahre ein sehr begrenztes Einsatzszenario. 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.

Bezieht man Cerfs Vorträge und Aufsätze zwischen 1978 und 1983 mit ein, so scheinen ihm militärische Nutzungsaspekte sogar noch wichtiger gewesen zu sein. Er betonte jedenfalls 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 computer-

gestützten 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 als der späteren Internetwelt.

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 Computernetzen in die Debatte einschaltete. In ihnen breitete er die gesamte Palette möglicher Nutzungen 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. In einer allmählichen Evolution werde durch zunehmende „user initiative“ aus dem traditionellen Zeitungsmedium eine „user-dominated interaction with a whole-world knowledge base“ hervorgehen [LV78, S. 1336 Li79]. 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 zusammen mit den Kontrollbedürfnissen von Behörden und Militärs ein offenes Netzwerk hintertrieben und die innovative Entwicklung der Computerkommunikation mit traditionellen Verwendungsmustern und Organisationsstrukturen blockierten [Li79].

Die bei allen entscheidenden Architektur- bzw. Protokolldesignern feststellbare Leitbildfixierung war höchst folgenreich für die ersten 1 1/2 Jahrzehnte des Arpanet und Internet. Da für 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.

Statt Resource-Sharing wurde der wildwüchsig von dem Forschungspersonal entwickelte Mailedienst schnell die wichtigste Anwendung des Arpanet. Da hierbei der Eigenbedarf vorherrschte, begnügten sich die Forscher 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 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. Das Arpanet war überhaupt noch kein Kommunikationsmedium, als solches mußte es 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 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 laienge-rechtere PC-Bedienung.

Es ist daher kein Zufall, dass alle wesentlichen gebrauchtorientierten 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“ von Thomas P. Hughes postuliert, 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]. Die Geschichtsmächtigkeit des "Netzes der Netze" basiert vielmehr 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 „grad-student conference“ [Wa01, S. 282] angestoßene Bündnis zwischen Uniform und Turnschuh, das dem Internet seine überragende historische Bedeutung verlieh.

3 Die Genese der Netzwerkarchitektur und das Problem der Technikprägung

Der 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 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 m. E. 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. Andererseits resultierten aus militärischen Anforderungen Designmerkmale eines offenen Netzes, die für die allgemeine bzw. globale zivile Nutzung günstiger waren als die im zivilen Bereich entstandenen Architekturen. So zeigt die Entwicklung von Netzarchitektur-Konzepten eine Entwicklung von rein militärischen Ansätzen zu Dual-Use-Konzepten und, damit einhergehend, eine zunehmende Durchmischung militärischer und ziviler Gestaltungsmerkmale.

Am Beginn stand der für ein Atomkriegsszenario entwickelte Paketnetz-Ansatz von Paul Baran von der RAND Corporation. Zwischen 1959 und 1964 auf dem Höhepunkt des Kalten Krieges entstanden, sollte er die ausfallgefährdeten zentralistischen Netzarchitekturen der SAGE-Ära durch „highly survivable system structures“ ablösen [Ba64, Bd. V, S.1]. Denn man erkannte in Simulationsstudien die extreme Verwundbarkeit der konventionellen Fernmeldenetze. Diese waren mit ihrer Sterntopologie und den hierarchischen Vermittlungsknoten und durchgeschalteten Übertragungsstrecken nach reinen Wirtschaftlichkeitskriterien optimiert und daher nicht geeignet, im Kriegs- oder Spannungsfall mit plötzlich massenhaftem Nachrichtenaufkommen fertig zu werden [Ba64, Bd. 2, S. 1]. Baran entwickelte daher für sein Atomkrieg-taugliches Netzwerkkonzept nach dem Vorbild neuronaler Strukturen ein dezentrales maschenartiges „Store-and-Forward-Netz“, in dem größere Nachrichten in kleine „standard format message blocks“ aufgeteilt 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 [Ba64, Bd. 1, Foreword; Bd. V, S. 3]. Dieses war aber eine so hypertrophe, ja paranoide Alles-auf-einen-Streich-Lösung, dass sie überhaupt nicht finanzierbar war. Sie wurde nicht nur von der etablierten Telekommunikations-Community als nicht machbar bekämpft, sondern auch vom Militär fallengelassen.

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. 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. Sein genialer Schachzug war dabei: Eine junge Elite von Computer Scientists – er nannte sie schon 1962 sein „Intergalactic Network“ - sollte für sich selber ein Forschungswerkzeug schaffen, das sie von sich aus zur Kooperation und Ressourceneinsparung bringt [Wa01, S. 259 ff.]. Damit wurde ein sich selbst organisierendes *soziales* Netzwerk die Basis für das zu schaffende *technische* Netzwerk. Träger der Entwicklung waren so vor allem junge Assistenzprofessoren und Hochschulabsolventen, 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 wollten, 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. Kennzeichen der Architekturgnese ist die Kombination von stärker militärisch orientierten *Topologie- und Latenzaspekten* mit der *Funktionsschichtung* der europäischen Netzwerkansätze. Der Wille, möglichst schnell über ein Kommunikationsmedium für den Eigengebrauch in der Forschung zu verfügen, förderte die Tendenz zur Quick-and-dirty-Lösung. Der Blick auf den Auftraggeber, das Department of Defense, wiederum zwang zu wirklich offenen Standards und zur Vermeidung des Netzchaos der Computer-freaks.

In der Entstehungsphase der Internetprotokolle geriet die Entwicklung zunächst wieder stärker unter militärische Einflüsse. 1975 übernahm das Militär das Arpanet sogar in direkte Obhut. Als IPTO-Chef in der DARPA verhinderte Cerf einen Internet-Standard, der auf einer durchgängigen logischen Verbindung beruhte, wie sie die Telekom-Netzbetreiber forderten, aber ebenso alle komplizierten Universalstandard-Aspirationen, wie sie die OSI-Community in Europa verfolgte. Militärischen Anforderungen entsprach auch die Aufteilung des bisherigen komplexen TCP-Protokolls in zwei Schichten: In eine robuste Datagrammschicht für unzuverlässige Übertragungsnetze, das IP-Protokoll, und das TCP-Protokoll, das nachträglich durch die Endsysteme eine sichere Übertragung gewährleistete. Doch die Idee hierfür kam selber aus dem zivilen Bereich, nämlich aus der Überbrückung lokaler Netzwerke der Ethernets, bzw. aus dem französischen Forschungsnetz Cigales, ein Hinweis darauf, wie vorsichtig man mit allzu direkten Präungsaussagen sein muss.

Alle wesentlichen Architekturmerkmale, für die militärische Gründe angeführt wurden, erwiesen sich im Nachhinein auch als vorteilhaft für die schnelle Realisierung eines weltweiten Computernetzes:

- Die Annahme unzuverlässiger Übertragungstrecken war nicht nur für das Gefechtsfeld günstig, sondern auch für Festnetze in den ehemaligen RGW-Staaten und Entwicklungsländern sowie in der Gegenwart vor allem für den mobilen Netzzugang.
- Die Unabhängigkeit der Protokolle von Eigenschaften der Transportschichten wirkte sich positiv bei der Einbeziehung neuer Übertragungstechniken aus.
- Die Reduktion der Netzfunktionalität zugunsten der Endsysteme vereinfachte 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 konsequent dezentrale Netzsteuerung als Garantie für die „survivability“ vermied trotz erheblichen Netzwachstums bis heute gravierende Netzzusammenbrüche.
- 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 allerdings nicht unproblematischen Folgen.

Das Internet erweist sich so im Nachhinein 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 war wesentlich das Resultat einer disparaten Akteurskonstellation und einer Koexistenz unterschiedlicher Leitbilder.

Das US-Militär wirkte darüber hinaus als machtvoll 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 Standardisierung wurde dadurch so komplex und vom guten Willen der konkurrierenden Akteure abhängig, dass sie dem militärischen Gebot der sofortigen Verfügbarkeit widersprach. Das Gateway-Prinzip des TCP/IP-Ansatzes erwies sich so als strategisch günstiger, da es lediglich die Übersetzungsprinzipien normte und das übrige unangetastet ließ.

Doch allein hätte es auch das Pentagon nicht geschafft, das Netz der Netze zu so umfassender Geltung zu bringen. Dies zeigt die Phase nach 1975, als der militärische Zugriff das Internet beinahe zur Strecke gebracht hätte. Das Militär konnte zwar die *Organisati-*

onslücke bei der Netzstandardisierung schließen, nicht aber die *Anwendungslücke*, die das Netzwachstum hemmte. Und hier kam der DARPA wieder das von Licklider initiierte Bündnis von Uniform und Turnschuh zu Hilfe. Angesichts der drohenden Konkurrenz durch die OSI-Initiative warben Cerf und Kahn ab 1980 intensiv bei den akademischen Subkulturen für ihre Protokolle. Diese füllten das Netz mit Leben und halfen auch gebrauchtorientierte Innovationen die Schwächen der bisher unvollständigen Systemlösung zu überwinden. Cerf und Kahn betrieben durch Einbeziehung immer neuer Nutzerpopulationen, durch die Liaison mit der UNIX-Culture und durch die LAN-Verkopplung eine derart geschickte Verkettung kritischer Massen, so daß das Internet nach und nach den gesamten Wissenschaftsbereich eroberte. Sie erzeugten damit eine so starke Anschlußbewegung, daß die US- Regierung die für 1986 bereits angekündigte Migration zu OSI nicht vollzog.

Es kam dadurch zu einer Sonderentwicklung in der Geschichte großtechnischer Netzwerke: die Massenausbreitung erfolgte hier nicht über kommerzielle Skalenerkonomieen oder öffentlich-rechtliche Monopole, sondern über den Wissenschaftssektor. Dieser verhalf den Benutzern und ihrer Selbstorganisation vorübergehend zum Sieg. Doch nun, nachdem Staat und Wissenschaft die Organisationslücke und die Anwendungslücke geschlossen haben und das offene Weltnetz hervorbrachten, übernimmt die Wirtschaft, die selbst dazu nicht in der Lage war, das Regiment in ihm. Doch damit beginnt ein neues Kapitel in der Geschichte des Netzes der Netze. Ob in ihm weiterhin das Netz der sich selbst organisierenden Akteure Geschichte macht oder ob die Wirtschaft das Netz vor allem für ihre Distributionszwecke nutzt und Politik und Militärs ihre Kontroll- und Herrschaftsaspirationen durchsetzen, so dass am Ende doch das restriktive Negativszenario Lickliders triumphiert, das wird sich schon bald zeigen.

Literaturverzeichnis

- [Ab99] Abbate, J. E.: *Inventing the Internet*. Cambridge, MA 1999.
- [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
- [BL99] Berners-Lee, T.: *Der Web-Report*. München 1999.
- [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 How the Internet Came to Be, in: Aboba, Bernhard (Hrsg.), *The Online User's*.
- [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.
- [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.
- [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.
- [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>
- [Fr00] Friedewald, M.: Vom Experimentierfeld zum Massenmedium: Gestaltende Kräfte in der Entwicklung des Internet, in: Technikgeschichte 67 (2000) 4, S. 331-361
- [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.
- [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", University of California at Berkeley, Spring 1996
- [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.
- [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. (Hrsg.), 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] Weltbibliothek, Universalenzyklopädie, Worldbrain: Zur Säkulardebatte über die Organisation des Weltwissens, in: Technikgeschichte, Bd.67 (2000), Heft 4, S. 303-329
- [HH97] Hauben, M.; Hauben, R.: Netizens: On the History and Impact of Usenet and the Internet, Washington, Brüssel, Tokyo 1997
- [HL96, 99] 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;
- [Ka77] Kahn, R. E.: The Organization of Computer Resources into a Packet Radio Network. In: IEEE Transactions on Communications, Vol COM-25 (1977), S. 169-178.
- [Ka78] Kahn, R. E.: Resource-Sharing Computer Communications Networks. In: Proceedings of IEEE, 55 (1978) 11, S.1397-1407.
- [KL61] Kleinrock, L.: Information Flow in Large Communication Nets. Proposal for a

- Ph.D. Thesis, MIT, Ms. May 1961; im Internet unter der URL:
- [KI64] Kleinrock, L.: *Communication Nets: Stochastic Message Flow and Delay*, New York 1964; Reprint 1972
- [KI69a] 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 Pcket Switching*, SIGCOMM Tutorial, 31.8.1990, im Internet unter der URL:
- [KI69b] Kleinrock, L.: *Models for Computer Networks*, in: *Proceedings of the International Communications Conference*, Boulder, Colorado 1969, S. 21/9-16
- [KI76] Kleinrock, L.: *Queueing Systems*, 2 Bde. New York, London, Sydney, Toronto 1974/76, Bd. II: *Computer Applications*
- [KI78] Kleinrock, L.: *Principles and Lessons in Packet Communications*, in: *Proceedings of the IEEE* 66 (1978) 11, S. 1320-1329
- [KI79] *On Resource Sharing in a Distributed Communication Environment*, in *IEEE Communications Society Magazine* 17 (1979) 1, S. 26-34
- [KI96] 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)
- [LC62] Licklider, J. C.R.; Clark, W. E.: *On-line Man-Computer Communication*. In: *AFIPS Bd.21, SJCC* 1962, S. 113-123.
- [Li65] *Man-Computer Symbiosis*, in : *IRE Transactions on Human Factors in Electronics*, Bd.1 März 1960),S.4-11.
- [Li65] Licklider, J.C.R.: *Libraries of the Future*, Cambridge, Mass. 1965
- [Li79] *Potential of Networking for Research and Education*. In: Greenberger, Martin (Hrsg.), *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
- [LT68] Licklider, J.C.R.; Taylor, R. W., *The Computer as a Communication Device* , in: *Science and Technology*, Apr. 1968, wiedergedr. 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.
- [Na00] Naughton, J.: *A Brief History of the Future. The Origins of the Internet*, London 2000.
- [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.
- [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
- [Re97] Reid, R. H.: *Architects of the Web. 1000 Days that Built the Future of Business*. New York, Chichester, Weinheim 1997.
- [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*, Febr. 1974, 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.
- [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.

- [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.
- [St99] Standage, T.: 1999