

Lehrstuhl für Geschichte der Technik
Rheinisch Westfälische Technische Hochschule Aachen

Die Entstehung des ARPANET und seiner Protokolle

Studienarbeit

vorgelegt von
Stefan Kinkartz

Aachen, im Juli 1998

Die Entstehung des ARPANET und seiner Protokolle bis 1972

1. Einleitung

2. Das Umfeld bei der Entstehung des ARPANET

2.1 Das SAGE Projekt

2.2 Die ARPA und ihre Projekte bis 1967

2.3 Das Netzwerk der National Physical Laboratories

2.4 Die RAND Reports

2.5 ARPA Project Plan 723

3. Das ARPANET

3.1 BBN und der Interface Message Processor

3.2 NWG, NIC, NMC und NCC

3.3 Die Entstehung der Requests for Comments

3.4 ARPANET Protokolle

3.4.1 IMP-IMP Protocol

3.4.2 Host-Host Protocol

3.4.3 User-Level Protocol

3.5 Der öffentliche Durchbruch

4. Zusammenfassung

5. Quellennachweise

5.1 Literaturverzeichnis

5.2 Abbildungsverzeichnis

5.3 Abkürzungsverzeichnis

1. Einleitung

Im Rahmen dieser Studienarbeit soll die Entstehung des "Advanced Research Projects Agency Computer Network" (ARPANET) dargestellt werden. Das Ziel des ARPANET war die Bereitstellung von vorhandenen Hard- und Softwareressourcen der ARPA Vertragspartner in einem Ressource-Sharing Network. Die Entwicklung des Ressource-Sharing unter Leitung der ARPA begann 1962 mit Gründung des "Command and Control Research Office". Eine offizielle Ausschreibung des ARPANET erfolgte im Sommer 1968, und die Implementation begann im Herbst 1969. Einen Abschluß dieser ersten Entwicklungsphase bildet die öffentliche Demonstration des ARPANET auf der International Computer Communications Conference (ICCC) im Oktober 1972 in Washington D. C.

Im Gegensatz zu vielen anderen militärischen Forschungsprojekten im Bereich der Informationsverarbeitung, war das ARPANET eines der wenigen Projekte, das erfolgreich und in kurzer Zeit realisiert wurde. Das ARPANET beeinflusste die Computerwelt seit den siebziger Jahren. Einen direkten Nachfolger dieses ARPANET benutzt heute fast jeder, der sich mit Computern in irgendeiner Weise beschäftigt: das Internet. Die Entwicklung des Internet und dessen Protokoll-Stack TCP/IP begann bereits nach der ARPANET Demonstration auf der ICCC.

Obwohl zur Zeit des ARPANET die Computerwelt aus zentralen, meist nicht interaktiven Rechenanlagen bestand, gelang es den ARPANET-Entwicklern aus der Rechenmaschine Computer, das Kommunikationsmedium Computer zu entwickeln. Das ARPANET ermöglichte seinen Benutzern die interaktive Nutzung von Hard- und Softwareressourcen der über Amerika verteilten Computer vom eigenen Terminal aus.

Im Mittelpunkt dieser Arbeit stehen weniger die technischen Details dieses Netzwerkes, als vielmehr die Einflüsse und Wechselwirkungen, die es ermöglicht haben, ein solches Projekt in so kurzer Zeit erfolgreich durchzuführen. Darüber hinaus soll die Standardisierung des ARPANET, soweit sie denn vorhanden ist, dargestellt werden.

2. Das Umfeld bei der Entstehung des ARPANET

Die Computerwelt bestand in der Entstehungszeit des ARPANET, im wesentlichen aus Mainframes und der mit ihnen verbundenen batchorientierten Arbeitsweise (Stapelverarbeitung). Die Mainframes waren proprietäre Systeme, d. h. weder Hard- noch Software waren untereinander austauschbar, und der im Betriebssystem implementierte Funktionsumfang schwankte von Hersteller zu Hersteller. Eine gute Beschreibung der Arbeitsweise dieser Zeit lieferte Lawrence G. Roberts:

"In 1964 only large mainframe computers existed, each with its own separate set of users. If you were lucky the computer was time-shared, but even then you could not go far away since the terminals were hardwired to it or connected by local phone line. Moreover, if you wanted data from another computer you moved it by tape and you could forget wanting software from a different type of computer. Thus most users were tied by their computer and terminal to a very restricted environment."
[Roberts,1988:143]

Die nächst kleineren Rechnersysteme, die Minicomputer, waren erst gegen Ende der sechziger Jahre im größeren Umfang verfügbar. An verfügbare Mikrocomputer, dachte zu dieser Zeit noch niemand.

Es gab jedoch auch Visionäre, die eine andere Art der Rechnernutzung vorhersagten. Einer der bedeutendsten war Vannevar Bush, der in seinem 1945 erschienen Artikel: "As We May Think" [Bush,1945] den "Memex" beschrieb. Der Memex war eine mechanische, auf Mikrofilm basierende, persönliche Informationsverarbeitungsmaschine, die eine ähnliche Verbreitung finden sollte, wie heutzutage ein PC. Eine interaktive Kommunikation mit dem Benutzer sollte beim Memex über zwei graphischen Displays erfolgen.

Diese Vision der interaktiven Computernutzung war ein Ziel der Computerentwickler in den fünfziger Jahren. Eines der größten Projekte, das sich mit der interaktiven Computernutzung beschäftigte war das SAGE Projekt.

2.1 Das SAGE Projekt

In den fünfziger Jahren war die amerikanische Luftüberwachung den neuen Anforderungen, die durch die gestiegene Geschwindigkeit der Langstreckenbomben entstanden waren, nicht mehr gewachsen. Die Luftüberwachung bestand aus einer manuellen, dezentralen Überwachung mit fernmündlicher Nachrichtenübertragung. Eine zeitgemäße Luftüber-

wachung erforderte zentrale Kommunikations- und Verarbeitungswege. [Harrington,1983:370; Hellige,1992:375]

Aus diesem Grund wurde 1949 das SAGE (Semi Automatic Ground Environment) Projekt im Auftrag der US Luftwaffe begonnen. Mit diesem Projekt war die Gründung eines Labors am Massachusetts Institute of Technologie (MIT) verbunden, das die Entwicklung dieses Systems durchführen sollte: das Lincoln Laboratory. [Wildes,1985:283]

Die Basis von SAGE bildet die digitale Übertragung von Radarbildern der über die USA verteilten Radarstationen über ein "Slowed-Down-Video"-System und Telefonleitungen zu einem zentralen Computer. Dort erfolgte die Auswertung der Radarbilder durch die Operateure. Im Gegensatz zu der batchorientierten Arbeitsweise der damaligen Zeit, sollte die Datenverarbeitung bei SAGE interaktiv erfolgen. Die Interaktion mit den menschlichen Operateuren fand mit Hilfe graphische Anzeigegeräte, wie der "Lightgun" statt. Eine erste aber einfache Mensch-Maschine Schnittstelle war damit realisiert. [Harrington,1983:373; Hellige,1992:378]

Die Entwicklung der dazu benötigten neuen Techniken erfolgte im Lincoln Laboratory des Massachusetts Institute of Technologie. So entwickelte sich das Massachusetts Institute of Technologie zu einem Zentrum der Forschung und Entwicklung im Bereich des Time-Sharing und der Software für Time-Sharing Systeme. Am Lincoln Laboratory wurden erste Time-Sharing Systeme, für die TX-0 und TX-2 Computer entwickelt, [Wildes,1985:301] die später von Digital Equipment Corporation (DEC) kommerziell in der PDP-Serie verkauft wurden. Die Entwicklung von höheren Programmiersprachen und die dabei benötigten Konzepte des Compilers und Interpreters erfolgte ebenfalls am Massachusetts Institute of Technologie. [Wildes,1985:340]

In Bezug an die Anforderungen eines Lüftüberwachungssystems war SAGE eine Fehlentwicklung. Die in der Entwicklungsphase des Projekts aufkommenden Interkontinentalraketen erforderten eine höhere Systemleistung, als der Computer und die Datenübertragung über Telefonleitungen von SAGE sie bieten konnte. Auch die Programme und die Mensch-Maschine Schnittstellen von SAGE waren nicht so robust und bedienerfreundlich wie ein solch komplexes System sie erforderte.

In seiner Zeit, war SAGE jedoch eines der innovativsten Projekte der Computerentwicklung, und mit dem Massachusetts Institute of Technologie und den Lincoln Laboratory wurde die Plattform für spätere Entwicklungen gegründet.

2.2 Die ARPA und ihre Projekt bis 1967

Die USA sahen ihren technologischen Vorsprung gegenüber Rußland durch den Erfolg von Sputnik I im militärischen Bereich gefährdet, und gründeten daher 1958 die "Advanced Research Projects Agency" (ARPA) durch das "Department of Defense" (DoD).

Das Ziel der ARPA war einfach definiert:

"Since that time DARPA's [ARPA's] mission has been to assure that the U.S. maintains a lead in applying state-of-the-art technology for military capabilities and to prevent technological surprise from her adversaries." [www.darpa.mil, "DARPA Over the Years"]

Da die ARPA keine eigenen Forschungseinrichtungen besaß, wurden die von ihr initiierten Projekte an Universitäten oder Forschungseinrichtungen der Industrie durch ausgewählte Vertragspartner durchgeführt. [O'Neill,1995:76]

Information Processing Techniques Office

Eines dieser Projekte startete 1961 unter dem Namen "Command and Control Project". Es beschäftigte sich mit der Sammlung, Auswertung und Beurteilung von strategischen Daten mit Hilfe des Computers. Joseph C. R. Licklider wurde 1962 auf Wunsch der ARPA Direktor des neu gegründeten "Command and Control Research Office".

Die wissenschaftliche Karriere von Licklider begann im Electronical Engineering Department des Massachusetts Institute of Technologie [Licklider,1988:4], von dem er in das Lincoln Laboratory wechselte. Bei seiner Arbeit am Lincoln Laboratory lernte er Wesley (Wes) Clark, den Konstrukteur des TX-2 Computers kennen, der ihm Rechenzeit an diesem System zur Verfügung stellte. Bei seiner Tätigkeit im Psycho-Acoustic Laboratory des Massachusetts Institute of Technologie arbeitete Licklider mit Richard H. Bolt und Leo Beranek zusammen. [Licklider,1988:7] Neben ihrer Tätigkeit am Massachusetts Institute of Technologie arbeiteten Bolt und Beranek in ihrem Unternehmen Bolt, Beranek, and Newmann (BBN), einem Spin-Off des Massachusetts Institute of Technologie, zu der auch Licklider wechselte. Er wurde Vizepräsident von BBN und war an der Entwicklung eines Time-Sharing Systems auf Basis der DEC PDP-1 beteiligt. [Wildes,1985:345]

Lickliders Ziele im Rahmen des Command and Control Research Projektes waren:

"I [Licklider] wanted interactive computing; I wanted time-sharing. I wanted: Computers are as much for communication as they are for calculation."
[Licklider,1988:26]

Um dies stärker zu betonen, nannte er das "Command and Control Research Office" in "Information Processing Techniques Office" (IPTO) um, dessen Direktor er bis 1964 war. In dieser Zeit startete er Projekte im Bereich der Grundlagenforschung des "Interactive Computing". [Licklider,1988:28] 1963 legte Licklider auch die Grundlagen für die Entwicklung von Computernetzwerken. Dazu startete Licklider zwei Forschungsprojekte [ARPA,1963a,1963b] und verfaßte das "Memorandum to Members and Affiliates of the Intergalactic Network". [Licklider,1963] In diesem Memorandum teilte er den Mitgliedern des intergalaktischen Netzwerkes, den Vertragspartner der ARPA, seine Gründe und Visionen eines Computernetzwerkes mit. Zu dieser Zeit engagierte er auch seinen späteren Nachfolger: Ivan Sutherland.

Ivan Sutherland war ebenfalls Absolvent des Massachusetts Institute of Technologie, der seine Doktorarbeit über: "Sketchpad-A Man-Machine Graphical Communication System" für die von Wes Clark entwickelte TX-2 geschrieben hatte. Er war der Pionier der Computergraphik. [www.sun.com: Search "Ivan Sutherland"].

In seiner Zeit als ARPA Direktor, von 1964 bis 1965, startete Sutherland vier große Projekte. Ein Projekt über modular aufgebaute Computer, das Supercomputer-Projekt ILLIAC IV, ein experimentelles Computernetzwerk bei der "University of California at Los Angeles" (UCLA) und natürlich ein Projekt über Computergraphik. [Sutherland,1989:11] Sein damaliger Assistent bei der ARPA, Robert Taylor, wurde 1966 neuer IPTO Direktor.

Robert Taylor wechselte nach seinem Studium der Psychoakustik in Austin, Texas zur NASA. Nach seiner Tätigkeit als Systemingenieur leitete er das "NASA Headquarters Office of Advanced Research and Technology". In diesem Zusammenhang finanzierte Taylor zum Beispiel die Arbeiten von Doug Engelbart am Stanford Research Institute. Kontakt zur ARPA bekam Taylor durch seine Mitarbeit in einem ARPA Komitee, das sich aus Geldgebern der Computerforschung zusammensetzte.

Das Netzwerkprojekt

Für sein 1966 begonnenes Netzwerkprojekt benötigte Robert Taylor einen Leiter. Sein Wunschkandidat war Lawrence G. Roberts, der zu dieser Zeit am Lincoln Laboratory arbeitete. Erfahrungen mit Computernetzwerken besaß Roberts durch seine Teilnahme an einer von der ARPA finanzierten Studie: "Cooperative Network of Time-Sharing

Computers". Im Rahmen dieser Studie war der TX-2 des Lincoln Laboratory und der Q32 der System Development Corporation (SDC) in Santa Monica über eine Wählleitung miteinander verbunden worden. Das Ergebnis dieser Studie zeigte, daß sowohl "Time Sharing" wie auch "Resource Sharing" zwischen den Computern möglich war und bestätigte somit Lickliders Vorstellungen eines Computernetzwerkes.

Nach mehreren erfolglosen Versuchen Taylors wechselte Roberts, nach massivem Druck des ARPA Direktors Hertzfeld auf den Leiter der Lincoln Laboratories, doch zur ARPA:

"So I went to see Herzfeld and I said, "Do we still support 51% of Lincoln Lab?" He said, "Yes." I said, "Do you remember this ARPANET... this networking project (I don't think we called it the ARPANET yet) that I'm trying to get off the ground?" He said, "Yes, how is it coming?" I said, "Well, I want this program manager out at Lincoln Labs. His name is Larry Roberts, and he keeps turning me down. He's really the right guy to run this thing." I said, "Would you call (I think it was) Jerry Dinneen (who was the director of Lincoln Lab at the time)... Would you call him and tell him that it's in Lincoln Lab's and ARPA's best interests for him to tell Larry Roberts to come down and do this?" He said, "Sure." [Taylor,1989:27]

Roberts sah in dem von der ARPA geschaffenen Umfeld, die ideale Voraussetzung für ein experimentelles Computernetzwerk. Die ARPA finanzierte zu diesem Zeitpunkt die Computerforschung im Bereich der Hard- und Software an wenigen ausgezeichneten Universitäten und Forschungseinrichtungen der Industrie. Die durch die ARPA finanzierten Forschungsgruppen wurden "Principal Investigators" (PI) genannt. Die vorhandenen Computerressourcen der Principal Investigators sollten in einem Netzwerkprojekt benutzt werden. [Roberts,1988:145]

Auf dem jährlich stattfindenden Treffen der Principal Investigators im Frühjahr 1967, stellte Roberts seinen ersten Netzwerkplan vor. Die Computer der Principal Investigators sollten mit Wählleitungen an einen zentralen Computer angeschlossen werden, der die Vermittlung im Netzwerk übernahm. Die Datenübertragung im Netzwerk sollte nach Roberts Vorstellungen mit "circuit-switching" erfolgen. [Salus,1995:21]

Die Funktionsweise eines "circuit-switching" Netzwerkes ist mit der einer Telefonanlage zu vergleichen. Ein Gesprächsteilnehmer baut über die Telefonzentrale eine Verbindung zu seinem Gesprächspartner auf. So lange beide miteinander telefonieren, bleibt die physikalische Verbindung bestehen. Ein beim Circuit-Switching wesentlicher Aspekt ist, daß für die Verbindung zweier Gesprächspartners immer die gleichen Leitungen verwendet werden. Der Ausdruck "Switching" (Schalten) wird benutzt, da eine Anzahl von Eingängen der Telefonanlage mit einer Anzahl von Ausgängen im Telefonnetz dynamisch verbunden

wird. Für den Fall, das zwei Kommunikationspartner nicht direkt miteinander verbunden werden können, benötigt man Station C als Vermittlung zwischen Station A und Station B. Station A baut zuerst mit Station C eine Punkt-zu-Punkt Verbindung auf, dann Station C mit Station B und über die Reihenschaltung mehrere Punkt-zu-Punkt Verbindungen können Station A und Station B kommunizieren. Der wesentliche Nachteil beim Circuit-Switching ist die exklusive Nutzung einer Leitung durch einen Benutzer. [Greene,1972:136]

Lickliders Plan fand nicht bei allen Principal Investigators Unterstützung, da sie die benötigten Netzwerkfunktionen zur Kommunikation mit dem zentralen Computer in ihren Hosts implementieren mußten, was zu dieser Zeit einen enormen Aufwand bedeutet. [O'Neill,1995:78] Auch die Idee, die eigene Rechenleistung mit anderen zu teilen, stieß auf Ablehnung seitens der Principal Investigators:

"[...] the universities in general did not want to share their computers with anybody. They wanted to buy their own machines and hide in the corner." [Roberts,1989:11]

Dennoch begannen die Principal Investigators an der Verwirklichung von Roberts Plänen zu arbeiten und gründeten dazu die "Communications Group". [O'Neill,1995:78] Eine Verweigerung der Mitarbeit bedeutete für die Principal Investigators auch finanzielle Einbußen, da ihre Arbeit von der ARPA finanziert wurde. [Heart,1990:12]

Das Netzwerk und die Minicomputer

Die konstruktivste Kritik an den Roberts-Plänen übte Wes Clark, ein ehemaliger Mitarbeiter des Lincoln Lab beim SAGE und Whirlwind Projekt, Konstrukteur der TX-2, Betreuer von Roberts Doktorarbeit am Massachusetts Institute of Technologie und mittlerweile Professor an der Washington University in St. Louis, einem Principal Investigators. Er überzeugte Roberts davon, die Idee eines zentralen Computers zugunsten von Minicomputern als Netzwerk-Schnittstelle der Hosts aufzugeben:

"[...] Wes told me [Roberts] that he thought of a better approach, than I had outlined in terms of integrating the software into each machine. He would separate it into mini-computers outside the machine, so that it was separable from the machine, in that respect. He had worked on the only minis in existence. I don't know that any minis would have ever been built if it were not for Wes at that point in time. So he thought it was a good idea, and we all agreed. I thought that was good." [Roberts,1989:13]

"[...] Wes said to Larry, "Why don't you just have a small (Wes believed in small computers)... Why don't you have a small computer at each site to do all of this?" [Taylor,1989: 20]

Erwähnenswert ist der Ort, an dem die Unterhaltung zwischen Clark und Roberts stattgefunden hat: im Taxi zum Flughafen. Ein Beweis dafür, daß Entscheidungen im Zusammenhang mit dem ARPANET teilweise nicht in langen Debatten, sondern bei Gesprächen am Rande von Treffen fielen.

Durch die Verwendung der Minicomputer als Netzwerkschnittstelle für die inkompatiblen Mainframes, wurde deren Kommunikationsprobleme umgangen. Die Minicomputer waren identisch, und die Netzwerkfunktionen mußten nicht mehr an jedes Betriebssystem angepaßt werden. Lediglich für die Kommunikation zwischen Minicomputer und Host mußte eine individuelle Anpassung erfolgen. Neben den Vorteilen der Minicomputer im Bereich der Hardwareanpassung, brachten sie noch einen entscheidenden Funktionsvorteil in das Netzwerk ein. Die Logik des Netzwerkes war nicht mehr an einer zentralen Stelle gebündelt, die bei einem Ausfall das gesamte Netzwerk zum Erliegen brachte.

Die Kommunikation vieler Minicomputer in einem Circuit-Switching Netzwerk hatte aber auch einen entscheidenden Nachteil. Zur Realisierung des komplett vermaschten Netzwerkes auf Basis der dezentralen Minicomputer wurden $\frac{n \cdot (n - 1)}{2}$ Telefonverbindungen benötigt.

Damit war das Konzept des "Circuit Switching" aus Kostengründen nicht mehr tragbar.

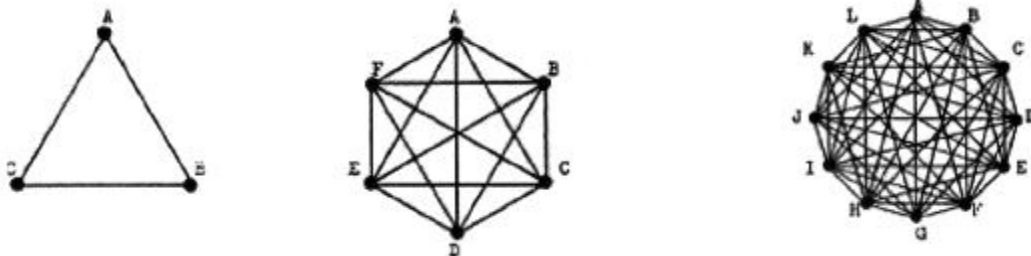


Abb. 1: Verbindungen im komplett vermaschten Netzwerk mit drei, sechs und zwölf Stationen

Message Switching Network Proposal

Roberts griff den Vorschlag von Clark dennoch auf und baute die Minicomputer als "Interface Message Processor" (IMP) in den Netzwerkplan ein, der den Principal Investigators als "Message Switching Network Proposal" vorgestellt wurde. [Salus,1995:21]

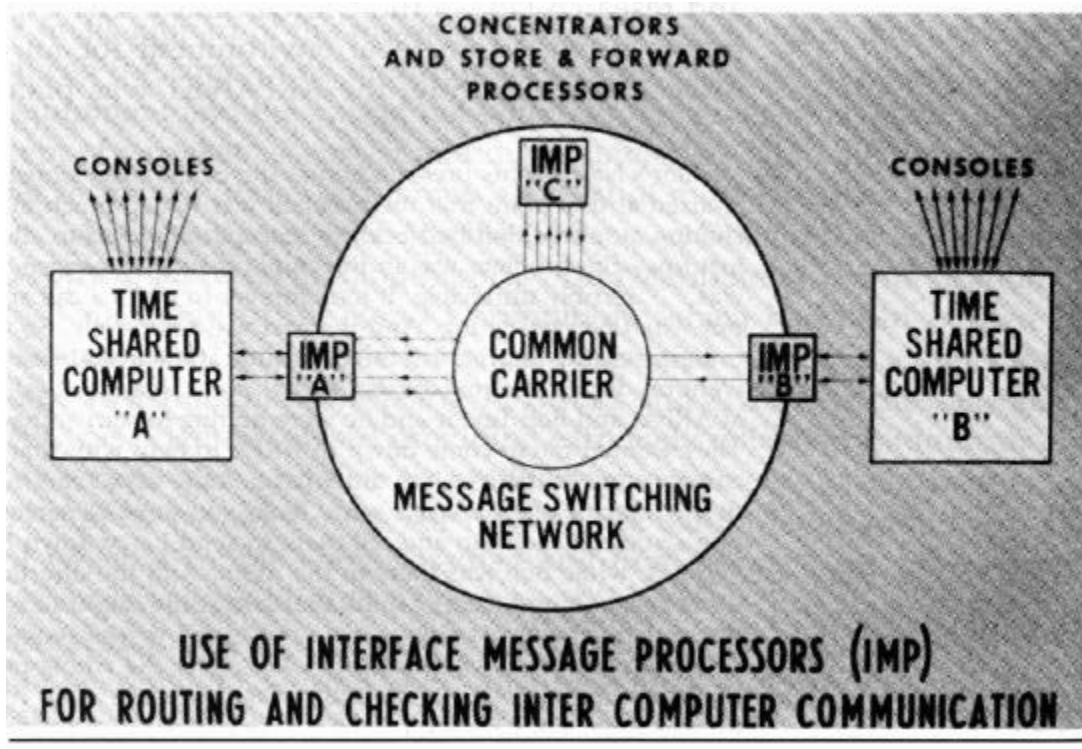


Abb. 2 früher Entwurf des ARPANET

Wie der Titel: "Message Switching Network Proposal" andeutete, wechselte Roberts die Funktionsweise des Netzwerkes von Circuit-Switching zum "Message Switching". Beim Message Switching werden die zu übertragenden Daten in Form von Messages gesendet. Die Message enthält neben den Nutzdaten alle Informationen, die benötigt werden, um die Message vom Sender zum Empfänger zu übertragen. Eine Verbindung zwischen zwei Kommunikationspartnern wird nur für die Übertragungsdauer der Message aufgebaut. Eine Reihenschaltung von Punkt-zu-Punkt Verbindungen, wie beim Circuit-Switching, kommt beim Message Switching nicht mehr vor. Station A sendet seine Message an den nächsten Empfänger: Station C. Daß sie diese Message an Station C senden muß, weiß Station A aus ihrem "Routing" (Wegwahl) Algorithmus. Station C empfängt die Message, speichert sie in einem Zwischenspeicher ab, kontrolliert die Steuerungsinformationen, erkennt den eigentlichen Empfänger der Message, ermittelt mit dem Routing-Algorithmus den neuen Weg und sendet die Message an Station B weiter. Da die Messages in jeder Station gespeichert und eventuell weitergeleitet werden, werden diese Netzwerke auch "store-and-forward" Netzwerke genannt. Durch den Routing Algorithmus ist es möglich, daß verschiedene Messages von einem Sender zum Empfänger unterschiedliche Wege benutzen. Die Technik des Message-Switching geht auf die manuelle Telegramm- und Telegraphentechnik zurück. Eine Telegraphenstation empfing ihre Nachrichten über einen Lochstreifendrucker. Die empfangenen Nachrichten, die für andere Stationen bestimmt

waren, legte der Operateur wieder in einen Lochstreifenleser ein und sendet sie weiter. Einen großen Entwicklungssprung machte diese Technik in den vierziger und fünfziger Jahren als die Lochstreifendrucker und -leser am Leitungsende durch Bandeinheiten abgelöst wurden. Zum Durchbruch kam das Message-Switching durch die Verwendung von Computern, die das Switching und Routing automatisierten. Erste kommerzielle Implementierungen erfolgten durch Collins Radio Company, IBM 1050 data communications system (1963) und einer englischen Lösung für den ICT 1900 Computer (1966). [Campbell-Kelly,1988:224]

Wie Abbildung zwei erkennen läßt, benutzte diese Netzwerk noch eine "Common Carrier" (gemeinsames Medium), die Wählleitungen des öffentlichen Telefonnetzes.

Im Oktober 1967 fand das ACM Symposium on Operating System Principles in Gatlinburg, Tennessee statt, wo Roberts seinen Plan vom ARPANET der Öffentlichkeit vorstellte. Das ARPANET sollte folgende Aufgaben übernehmen:

- Load sharing : Send program and data to remote computers to balance load.
- Message service : Electronic mail service (mailbox service)
- Data sharing : Remote access to data bases.
- Programm sharing : Send data, program remote (e.g., supercomputer)
- Remote service : Log-in to remote computer, use its programs and data

[Roberts,1988:146]

Noch wichtiger für die Entwicklung des ARPANET war die Begegnung mit Donald Davies vom National Physical Laboratory (NPL) in Teddington, England, der auf diesem Symposium über das "NPL Data Communications Network" berichtete und Roberts von den Vorteilen des "Paket Switching" berichtet.

2.3 Das Netzwerk der National Physical Laboratories

Donald Davies und Larry Roberts hatten sich bereits 1965 auf einem Meeting am Massachusetts Institute of Technologie anlässlich eines Vortrags über Time-Sharing kennengelernt. In der Zeit bis zu ihrem erneuten Treffen auf dem ACM Symposium arbeiteten beide unabhängig voneinander an ihren Netzwerkplänen:

"This was the first time that either Davies or I knew anything about each other's work since our 1965 contact." [Roberts,1988:147]

Ebenso wie Roberts war Davies an der interaktiven Computernutzung interessiert. In der Diskussion informierte Davies Roberts auch über seine Pläne zum Bau eines Netzwerkes auf der Basis von "packet-switching". [Roberts,1988:144]

Die Dimensionen der Time-Sharing Systeme der amerikanischen Entwickler, fand Davies in England nicht vor. Die dadurch aufkommende Nutzung der Time-Sharing Systeme, durch an Telefonleitungen angeschlossenen Terminals, kam in dem Umfang, wie sie in den USA benutzt wurden, für Davies nicht in Frage. Denn im Gegensatz zu England, wo die Leitungsnutzung entgeldpflichtig waren, war die Nutzung in den USA kostenlos. In Untersuchungen stelle Davies fest, daß die Terminals bei Ein-/Ausgabeoperationen die Bandbreite der Leitungen nur minimal nutzten. Einen Ausweg boten die mittlerweile verfügbaren Message-Switching Systeme, die aber noch Probleme durch die Verzögerungen bei der Datenübertragung hatten. Da bei der Kommunikation interaktiven Anwendungen zwischen Terminal und Computer kleine Datenmengen überwogen, beschloß Davies die Messages in kurze Blöcke mit etwa 50 Zeichen zu unterteilen. Wenn die Datenmenge länger als ein Block war, mußten mehrere Blöcke übertragen und beim Empfänger wieder zusammen gesetzt werden. [Campbell-Kelly,1988:225-226]

Bei der Berechnung des Antwortzeitverhaltens wendet er die Grundlagen der Warteschlangentheorie an:

"He estimated that a message switch based on a minicomputer would be able to process about 10,000 blocks per second. A simple application queuing theory showed that the average waiting time for each message would be on the order of two block times; this indicated that the transmission delay even through multiple switches would be comfortably under 0.1 second." [Campbell-Kelly,1988:226]

Auf einem Seminar im März 1963 stellte Davies dieses Netzwerkkonzept der Öffentlichkeit vor. Ein Besucher, Arthur Llewellyn vom Verteidigungsministerium erzählte Davies von einer Arbeit der RAND Corporation, die sich ebenfalls mit einem Netzwerk auf der Basis von Packet-Switching befaßte. Ohne Kenntnis dieser Arbeit entwickelte Davies ein Netzwerk mit fast identischen Eigenschaften. [Campbell-Kelly,1988:226]

In einer nicht veröffentlichten Ankündigung: "Proposal for a Digital Communication Network" verwendete Davies zum ersten Mal den Begriff Packet-Switching im Zusammenhang mit Datenkommunikation. Neben dem Packet-Switching definierte Davies in einer Veröffentlichung im April 1967 einen weiteren für Netzwerke typischen Begriff: "Protocol". [Campbell-Kelly,1988:226]

Der Unterschied zwischen Message-Switching und Packet-Switching ist einfach zu erklären. Eine Message beinhaltet immer die gesamte zu übertragende Datenmenge, bei einer Dateiübertragung z. B. die gesamte Datei. Im Gegensatz dazu ist ein Packet relativ kurz. Falls erforderlich werden die zu übertragenden Informationen auf mehrere Packets aufgeteilt. Die Übertragung der Packets erfolgt analog zur Übertragung der Messages, nur besitzt Packet-Switching zwei entscheidende Vorteile:

1. Der zum Zwischenspeichern benötigte Speicher kann wesentlich kleiner sein.
2. Ein Packet belegt eine Netzwerkverbindung kürzer als eine Message und benötigt damit weniger Bandbreite.

Mit diesen Plänen wollte Davies ein nationales englisches Netzwerk und ein "Local Area Network" (LAN) für das NPL erbauen. [Campbell-Kelly,1988:221] Mit der Realisierung wurde jedoch erst 1968 angefangen.

Den größten Einfluß hatte Davies mit seinen Ideen des Netzwerks aber auf Larry Roberts:

"At the [ACM 1967] conference Larry G. Roberts gave his first public presentation of the ARPANET project. The proposed ARPA network described in this paper was similar in concept to telegraph switching, using multiple connections, initially at 2000 bit/second. It was said that "most of the connections will be dial-up" but later that "four-wire service is more economic and simpler to use." There was no reference to partitioning messages into blocks or packets, nevertheless Roberts [in a letter to an NPL employee] states that the technology of packet switching had been adopted. The use of short packets and higher communication rates to reduce store and forward delay does not appear in this paper. Scantlebury¹ recalls discussions with Roberts and others after the lectures in which Jack Dennis and Peter Denning supported him in arguing the merits of packet switching in the form being developed at NPL. This discussion persuaded Roberts that it would be worthwhile to use 50 Kbit/second leased lines in the ARPA project.

Scantlebury returned to England convinced that the NPL group was significantly ahead." [Campbell-Kelly,1988:232]

Darüber hinaus berichtete Roberts, daß Davies ihm von den RAND Reports erzählte, die Davies nach Veröffentlichung seiner Arbeit "Proposal for Development of National Communication Service for On-Line Data Processing" als Kopie erhalten hatte. [Roberts,1988:144]

¹ Mitarbeiter von Davies, der den Vortrag auf dem ACM Symposium gehalten hatte.

2.4 Die RAND Reports

Die RAND (Research and Development) Corporation war eine von der United States Air Force gegründete Forschungseinrichtung. Am SAGE Projekt war RAND im Bereich der Programmierung beteiligt. Eines ihrer Ziele war die Förderung der Forschung im Bereich der Sicherheit der USA. [www.rand.org,"About RAND"] Innerhalb dieses Forschungsgebietes hatte die Luftwaffe einen Forschungsauftrag über "command and control" im militärischen Umfeld vergeben. Die Resultate veröffentlichte Paul Baran 1964 unter dem Titel "On Distributed Communications". [Baran,1964]

Darin beschrieb Baran die Fähigkeit eines aus mehreren hundert Stationen bestehenden "Distributed Adaptive Message Block Network", nach einem gegnerischen Angriff weiter funktionsfähig zu bleiben. [Baran,1964, Volume I, Kapitel I]

Dieses Ziel erreichte sein Netzwerk durch die verteilte Struktur, in der die Endgeräte über Multiplexer [Baran,1964, Volume VIII] an Vermittlungsstellen [Baran,1964, Volume VII] angeschlossen wurden. Switching mußte aus Kostengründen benutzt werden, da ein komplett vermaschtes Netzwerk $\frac{n \cdot (n-1)}{2}$ Verbindungen benötigte. [Baran,1964, Volume V] Die Vermittlungsstellen waren untereinander nicht über Leitungen sondern über Funkstrecken verbunden. [Baran,1964, Volume VI]

"In the Distributed Adaptive Message Block Network, all traffic from each originating circuit is chopped into small blocks of data called Message Blocks. Each Message Block is "rubber stamped" with the symbols of the end destination, the originating station, and some other housekeeping data. These Message Blocks are transmitted from Switching Node to Switching Node, eventually reaching the desired end station by a reasonably efficient path." [Baran,1960, Volume IV, Kapitel III]

Das für das Switching notwendige Routing hatte Baran in einer Simulation auf einem IBM Rechner getestet. [Baran,1964, Volume II, Summary] Er verwendete das sogenannte "Hot-Potato Routing". Dabei versuchte jede Station die "Message Blocks" wie eine heiße Kartoffel schnellst möglich über eine freie Verbindung zu versenden, um den damals teuren Speicher zum Zwischenspeichern in den Stationen minimal zu halten:

"In the distributed network routing scheme under consideration, the policy is used that if the preferred path is busy, the in-transit Message Block is not stored, but rather sent out over a less efficient, but non-busy link. This rapid passing around of messages without delay, even if a secondary route must be chosen, is called a "hot-potato" routing doctrine. (Each node tries to get rid of its messages as if they were "hot potatoes" and the node is not wearing gloves.)" [Baran,1964, Volume IV, Kapitel III]

Auch die aus militärischer Sicht wichtige Verschlüsselung der Daten wurde berücksichtigt. [Baran,1964, Volume IX]

Bei den Daten, die über das "Distributed Adaptive Message Block Network" übertragen wurden, handelte es sich nur um Sprache, ein Computernetzwerk war nicht Gegenstand des Forschungsprojekts gewesen. [Baran,1964, Volume IV, Kapitel III]

In ihrem Umfang waren die RAND Reports die zu diesem Zeitpunkt umfassendste Arbeit zum Thema Packet-Switching. Zwar erwähnte Baran den Ausdruck Packet-Switching oder Packet nicht, seine "Message Blocks" waren aber weitgehend identisch mit Davies "Packets". Baran hatte theoretisch nachgewiesen, daß es möglich war, ein verteiltes Netzwerk auf Basis des Packet-Switchings zu bauen:

"A new system has been described offering much promise in solving many military communications problems. It is, however, a difficult system to understand and further research is necessary in order to achieve sufficient confidence in the notion to permit investment of large sums for its construction." [Baran,1964, Volume XI, Kapitel VI]

An dieser Stelle sieht das ARPANET wie eine logische Weiterentwicklung und praktische Realisierung des "Distributed Adaptive Message Block Network" von Baran aus. So nannte Larry Roberts auf dem Principal Investigators-Treffen 1968 das ARPANET eine "Demonstration of the distributed network recommended in the RAND study". [O'Neill,1995:79]

Die Bedeutung der RAND Reports für die Implementierung der Netzwerkprotokolle Anfang der siebziger Jahre wird in der Literatur hingegen anders bewertet. So hatte Vinton G. Cerf die RAND Reports zu dieser Zeit nicht gelesen, obwohl Paul Baran der Betreuer seiner Abschlußarbeit war [Cerf,1990:11], Robert E. Kahn verglich die RAND Reports mit: "Sort of like Jules Verne imagining the submarine in the 1800s." [Kahn,1990:15] und Frank Heart von BBN meinte: "It wasn't helpful in the small. It didn't help the guy writing the code write his code." [Heart,1990:21]

2.5 ARPA Program Plan 723

Nach dem ACM Symposium, im Oktober 1967, gründete Roberts die "network working group", eine informelle Gruppe, die ARPA bei der Erstellung eines Planes für das ARPANET helfen sollte. Beim ersten Treffen der "network working group" waren folgende

ARPA Vertragspartner anwesend: A. Bushan und R. Stotz vom Massachusetts Institute of Technology, Wes Clark von der Washington University St. Louis, G. Culler von der University of California Santa Barbara, L. Gallenson von der System Development Corporation, R. Kahn und T. Stollo von BBN, L. Kleinrock von der University of California at Los Angeles, M. Langtry vom California Institute of Technology, M. Pirtle von der University of California Berkley, E. Shapiro vom Stanford Research Institute, F. Westervelt von der University of Michigan, H. Magnuski von Bell Telephone Laboratories sowie B. Wessler und Larry Roberts von der ARPA. Der Plan umfaßt die Spezifizierung der Anforderungen die an das Netzwerk gestellt werden. [Shapiro,1967]

Im Dezember 1967 vergab Roberts einen Forschungsauftrag an das Stanford Research Institute zum Entwurf des "design and specification of a computer network" [ARPA Order No. 1137]. Die Arbeit wurde von Elmer Shapiro durchgeführt und in Abschnitten der "network working group" als Arbeitsgrundlage vorgestellt. Der offizielle Abschlußbericht wurde im Dezember 1968 unter dem Titel: "A Study of Computer Network Design Parameters" von Stanford Research Institute veröffentlicht. [Salus,1995:25]

Doch schon vor dem Abschlußbericht des Stanford Research Institute schrieb Roberts den ARPA Program Plan 723: "Resource Sharing Computer Network", den er am 3. Juni 1968 dem ARPA Direktor vorgelegte.

Die inoffizielle Budgetfreigabe des Computernetzwerkes hatte Larry Roberts Vorgesetzter, der IPTO Direktor Robert Taylor, schon fast ein Jahr vorher vom ARPA Direktor erhalten:

"First I went to Herzfeld and said, this is what I want to do, and why. That was literally a 15 minute conversation. And he said, "You've got it." He said, "How much money do you need to get off the ground?" I think I said a million dollars or so, just to get it organized. There was no ARPA order written or anything for months, maybe even a year later. Larry Roberts actually wrote the ARPA order long after we'd already gotten going." [Taylor,1989:18]

Der ARPA Program Plan 723 beinhaltete im wesentlichen zwei Dinge. Zum einen die Aufgabe des ARPANET, zum anderen die technischen Spezifikationen der IMPs und des Netzwerks, das sie miteinander verband. [Hardy,1996] Diese Spezifikationen wurden Ende Juli 1968 in einem Request for Quotation (RFQ) oder Request for Proposal (RFP) an 140 Unternehmen versandt, die als Anbieter in Frage kamen. [Salus,1995:26]

Die RFQ/RFP war so formuliert, daß ein Anbieter zwar viel Freiraum für die Implementierung hatte, aber die wesentlichen Eigenschaften des Netzwerkes: Packet-Switching, Paketgröße und Schnittstellen nicht ändern konnte. [Roberts,1988:149] Auch die ersten Standorte wurden in der RFQ/RFP spezifiziert:

1. University of California Los Angeles (SDS SIGMA 7 mit SEX Betriebssystem)
2. Stanford Research Institute (SDS940 mit Genie Betriebssystem)
3. University of California Santa Barbara (IBM S/360/75 mit OS/MVT Betriebssystem)
4. University of Utah (DEC PDP-10 mit Tenex Betriebssystem)

Falls das Netzwerk erfolgreich war, erhielt der Anbieter eine Option auf die Einrichtung weitere Standorte. [RFC1000:1]

3. Das ARPANET

Durch Verwendung der IMPs als Schnittstelle zu den Hosts war die Kommunikation im ARPANET und deren Realisierung in zwei Bereiche geteilt. Für den ersten Bereich, das "Subnet" bestehend aus IMPs und Telefonleitungen [Heart,1970:552] war der Anbieter der RFP/RFQ zuständig. Für die Computer der Vertragspartner die mit den IMPs verbundenen waren, den Hosts [Carr,1970:590], waren die Vertragspartner selber zuständig.

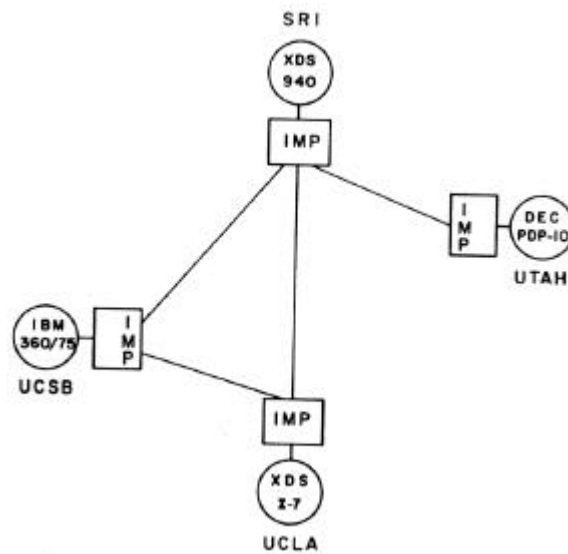


Abb. 3: Das ARPANET laut RFQ / RFP

Die IMPs wurden untereinander mit 50 kBit Standleitungen verbunden. [Heart,1990:13] Für die Kommunikation zwischen zwei Hosts forderte die RFQ/RFP folgende Eigenschaften:

- Der sendende Host gab eine Message an den IMP weiter. Diese Message konnte eine variable Länge haben, das Ende einer Message mußte durch ein "end of a message" signalisiert werden. [Heart,1970:553]
- Die IMP Software zerlegte die Message in Packets [Heart,1970:554], erweiterte sie um einen "leader" und schützte die Message mit einer Prüfsumme zur Fehlererkennung. [Heart,1970:553-554]
- Das Packet wurde dann über die Standleitungen zum Ziel-IMP gesendet. Der aktuell kürzeste Weg zum Ziel-IMP wurde durch einen Routing Algorithmus ermittelt. [Roberts,1988:149]
- Der Ziel-IMP kehrte den Vorgang des Senden-IMP um. Er setzte die Message aus den empfangenen Packets zusammen und gab diese an den Ziel-Host weiter.

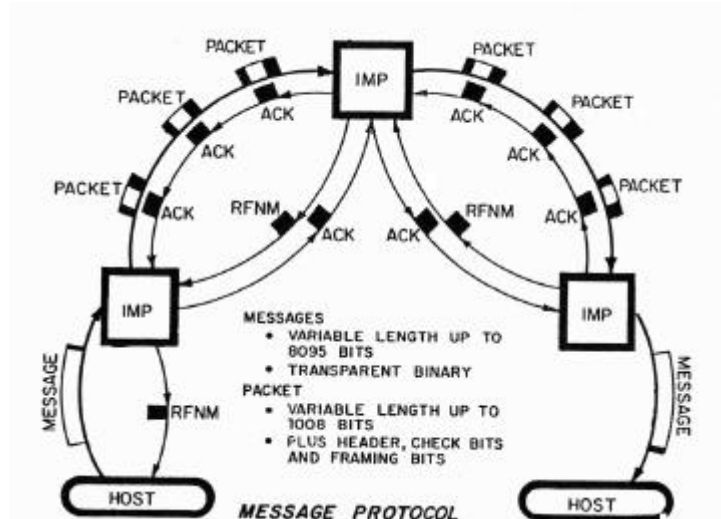


Abb. 4: Packets und Messages im ARPANET

Von den 140 Firmen, die die RFQ/RFP erhalten hatten, gaben zwölf ein Angebot ab. Dabei haben einige Anbieter schon von vornherein auf ein Angebot verzichtet, da sie keine Minicomputer in ihrer Produktpalette hatten, die für ein Angebot mit ausgewogenem Preis-/Leistungsverhältnis erforderlich waren. [Roberts,1988:149]

Im Januar 1969 wurde der Vertrag nach einem Auswahlverfahren unter den zwölf Anbietern an BBN vergeben.

Neben der in Kapitel 2.2 erwähnten Verbindung zwischen Licklider und BBN, kannten sich Larry Roberts und die BBN Mitarbeiter des IMP Projekts, William Crowther, Frank Heart, Severo Ornstein und Dave Walden, aus ihrer gemeinsamen Zeit am Massachusetts Institute of Technology. [O'Neill,1995:79] Daher kann davon ausgegangen werden, daß dies bei der Vergabe des Auftrags an BBN ein wichtiger Faktor war. Denn alle zu diesem Zeitpunkt am ARPANET beteiligten Personen kannten sich schon aus einer Zeit am Massachusetts Institute of Technology vor diesem Projekt. Die einzige Ausnahme war Robert Taylor.

Darüber hinaus boten die von der ARPA festgelegten Bewertungskriterien genügend Spielraum für eine solche Entscheidung. Die Auswahl und Funktionalität der Hardware wurde nur mit 25 % bewertet. Die restlichen 75% waren für eher subjektive Kriterien wie Problemverständnis, Qualifizierung der Mitarbeiter, und Reputation des Anbieters reserviert. [Salus,1995:33]

3.1 BBN und der Interface Message Processor

Da BBN eine Forschungsfirma und kein Hardwarehersteller wie z.B. IBM war, hatte BBN gegenüber den Mitbewerbern den Vorteil, daß sie auf keine bestimmte Hardware festgelegt waren. Sie konnten den Minicomputer verwenden, der ihnen am besten geeignet schien:

"We had design capability, but we had no capability to build hardware at that time. So we had to find a sub-contractor who would not only supply the computer but who would be willing to do the special hardware pieces that were required. That was extremely tricky, because many manufacturers don't do that." [Heart,1990:10]

Einige Zeit vor der RFQ/RFP erstellte BBN unter der Leitung von Alexander McKenzie, einem ehemaliger Honeywell Mitarbeiter, und Dave Walden eine internen Studie über die Verwendbarkeit von Minicomputern für ein Datenbanksystem. Dabei stellte sich die Honeywell 516 als am universellsten verwendbar heraus:

"[...] it [the Honeywell 516] offered the widest range of I/O and peripheral equipment from a single vendor, of all the different mini-computers. Others were faster, or had more interrupt registers, or better precision arithmetic, or different other advantages. But the advantage to the Honeywell 516 was that it had a complete line of disk drives, and tape drives, and terminal multiplexers for terminal access, and all that sort of thing." [McKenzie,1990:6]

Obwohl die Honeywell 516 viele Funktionen besaß, die für einen IMP nicht benötigt wurden, "disk drives, and tape drives, and terminal multiplexers for terminal access" [McKenzie,1990:6], entschied sich BBN diesen Computer als IMP zu verwenden.

Für diese Entscheidung wurden fünf Gründe genannt:

1. BBN kannte die Honeywell aus der Studie. [McKenzie,1990:6]
2. Honeywell unterhielt die "Computer Control Corporation", die Honeywells Minicomputer nach Kundenspezifikationen modifizierte. [Heart,1990:10]
3. Die geographische Nähe zwischen BBN und Honeywell. [Heart,1970:557]
4. Für eine Ausschreibung der IMP Hardware seitens BBN gab es keine Zeit. [McKenzie,1990:27]
5. Es gab keine Gründe, die gegen die Honeywell sprachen. [McKenzie,1990:27]

Die offizielle Beschreibung des IMPs veröffentlichte BBN im BBN Report No. 1822. [BBN,1969] Eine detaillierte Beschreibung des Honeywell 516 Minicomputers gab Frank

Heart in seinem Bericht auf der AFIPS Spring Joint Computer Conference 1970. [Heart,1970] Ein schematische Darstellung der Hardware zeigt Abbildung 5.

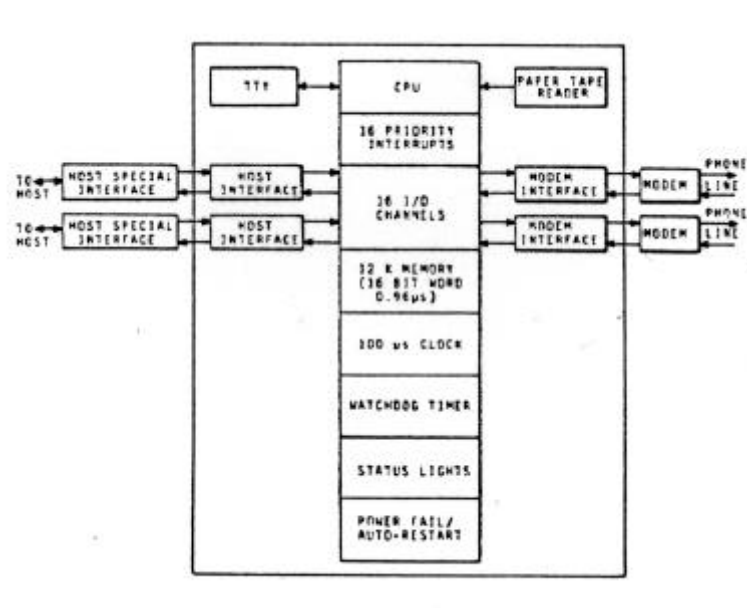


Abb. 5: Die IMP Hardware

Die Ansprüche an die Verfügbarkeit eines IMPs waren sehr hoch. Ihre Verfügbarkeit sollte größer sein als die der Hosts. [Heart,1970:565] Um die Ausfallzeiten eines IMP möglichst gering zu halten, modifizierte BBN die Honeywell 516:

1. Im Normalbetrieb besaß die Honeywell keine beweglichen Teile, außer den zur Kühlung notwendigen Lüftern. Peripheriegeräte wurden nur im Wartungs- oder Fehlerfall angeschlossen. [Heart,1970:558]
2. Der Bereich der zulässigen Betriebstemperatur war vergrößert worden, die Stoß- und Vibrationsfestigkeit und die Empfindlichkeit gegenüber Einflüssen durch elektromagnetische Strahlung und Schwankungen der Netzspannung waren erhöht worden. Trotz dieser Maßnahmen, erfüllte die Honeywell nicht alle Anforderungen, die das Militär in den "MIL specs" für elektronische Geräte forderte. [Heart,1970:558]

Ein Betrieb mit mehreren Modems und Hosts an einem IMP war möglich. Die Summe der angeschlossenen Modems und Hosts durfte aber sieben nicht übersteigen, die Anzahl der Modems fünf nicht übersteigen. Damit konnten zwei Hosts und fünf Modems, drei Hosts und vier Modems, etc. [Heart,1970:558] angeschlossen werden. Sowohl Modem, wie auch Host Schnittstelle waren bitseriell ausgelegt und konnten im Vollduplexbetrieb Daten senden und empfangen.

Die Kommunikation über ein Modem verwendete 8-Bit-Worte. Es arbeitete synchron, d. h. es konnte aus einer Bitfolge, die jeder Übertragung voranging, den Takt erzeugen, der zur Synchronisation zweier Modems notwendig war. Zur Erkennung von Übertragungsfehlern erzeugte die Hardware eine 24-Bit-Prüfsumme. Der Empfänger erzeugte aus den empfangenen Daten ein eigene Prüfsumme und verglich diese mit der empfangenen Prüfsumme. Damit war eine Fehlererkennung gewährleistet. [Heart,1970:558-559] Der von vielen gefürchtete "Buffer overflow" (die Hardware besaß weniger Speicher als die Speicherung eines Packets benötigte) [Roberts,1988:150], wurde durch die Festlegung einer maximalen Paketlänge umgangen. Somit war der maximal benötigte Speicherplatz bekannt. [Heart,1970:559]

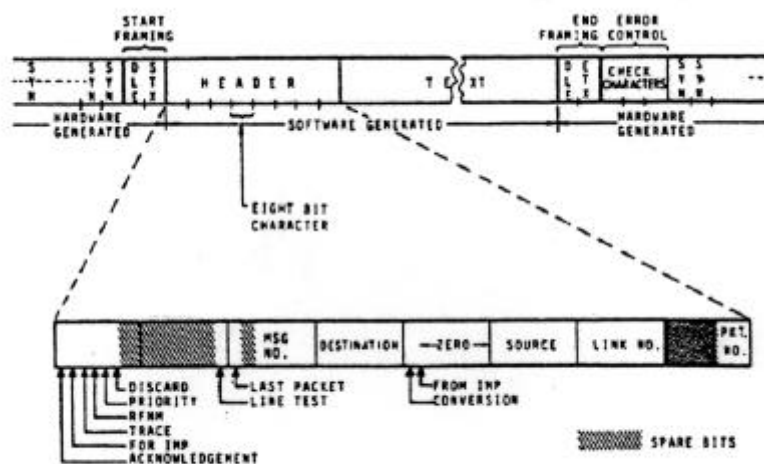


Abb. 6: Der Aufbau eines Packets

Die Hostschnittstelle erforderte hingegen eine Anpassung an jeden Host. Um dies zu ermöglichen, teilte BBN die Schnittstelle in zwei Teile. Ein Teil beinhaltete das "Host Interface", den anderen Teil bildete das für jeden Host angepaßte "Host Special Interface" . [vergl. Abb. 5] Die Verwendung der bitseriellen Datenübertragung reduzierte die Kosten der Schnittstelle, und die Probleme mit den unterschiedlichen Wortlängen der einzelnen Host verlagerten sich in den Bereich der Host Software:

"In those days, even byte sizes weren't standardized. That's interesting to note, because in the original protocols we tried to determine whether or not there was a common unit of data. We thought there were 18-bit machines, 36-bit machines, 32-bit machines, and somebody pointed out that there was a 75-bit machine in Israel, which I never knew much about." [Crocker,1991:12]

Die unterschiedlichen Übertragungsraten, die die verschiedenen Host erforderten, ermöglichte eine asynchrone Datenübertragung. Eine "Ready for Bit/There's your Bit handshake procedure" [Heart,1970:553] erlaubte eine Anpassung der Übertragungs-

geschwindigkeit durch eine verstellbare Wartezeit zwischen der Übertragung der einzelnen Bits.

In der hier vorgestellten Form wurden die ersten vier IMPs 1969 an die Teilnehmer des ARPANET ausgeliefert.

Auf der AFIPS Spring Joint Computer Conference 1972 [Ornstein,1972] stellt BBN eine Erweiterung des IMP vor. Bislang basierten alle IMPs auf der Honeywell 516. Da Honeywell aber mittlerweile mit der 316 einen zur 516 kompatiblen Minicomputer zum halben Preis anbot, konnte BBN die IMP Funktionen auch in diesen Minicomputer implementieren. Der IMP auf Basis der Honeywell 316 kam vor allen Dingen da zum Einsatz, wo nicht die gesamte Bandbreite des ARPANET genutzt wurde, denn die Honeywell 316 stellte nur zwei Drittel der Bandbreite der Honeywell 516 zur Verfügung. Die ersten IMPs auf Basis der Honeywell 316 wurden Ende 1971 in der Tinker Air Force Base, McClellan Air Force Base und dem Environmental Technical Applications Center installiert. [vergl. Abb. 8]

Eine wesentliche Erweiterung des ARPANET-Konzeptes ermöglichte die Honeywell 316 ebenfalls. Der Zugang zum ARPANET, dem "resource sharing network", erforderte bislang einen "node" (Knoten), bestehend aus einem oder mehreren Hosts und einem IMP. Damit konnte ohne den Besitz von Ressourcen, kein Resource Sharing gemacht werden. Für die Anbindung von Usern ohne Ressourcen an das ARPANET beschrieb Ornstein drei Möglichkeiten:

1. Der User wählte sich direkt in den gewünschten Host ein.
2. Der User wählte sich in einen nahegelegenen Host ein und baut dann eine Verbindung mit dem gewünschten Host auf.
3. Der User war über seinen lokalen "TIP" mit anderen IMPs verbunden.

Nach Ornsteins Meinung stellten die ersten beiden Möglichkeit eine "non-solution" [Ornstein,1972:245] dar. Denn eine Verbindung mit dem Netzwerk benötigte einen weiteren Kommunikationsweg, der zusätzlichen, für jeden Host individuellen, Implementierungsaufwand bedeutete. Darüber hinaus belastete die Umsetzung der Messages, in den Zeichensatz des Terminals, den Host enorm, und verschenkte somit wertvolle Rechenleistung.

Mit dem "Terminal IMP" oder "TIP" war eine Teilnahme am ARPANET ohne eigenen Knoten möglich und Änderungen an den vorhandenen Knoten nicht notwendig. [Ornstein,1972:245] Der "Terminal IMP" war ein IMP auf Basis der Honeywell 316, der über einen zusätzlichen "Multi-Line Controller" (MLC) verfügte. An diesen konnten bis zu 63 Terminals lokal oder über Modem angeschlossen werden. Eine Anpassung an die einzelnen Terminals erfolgte per Software. Damit war der TIP, ebenso wie der IMP, hardwareunabhängig aufgebaut.

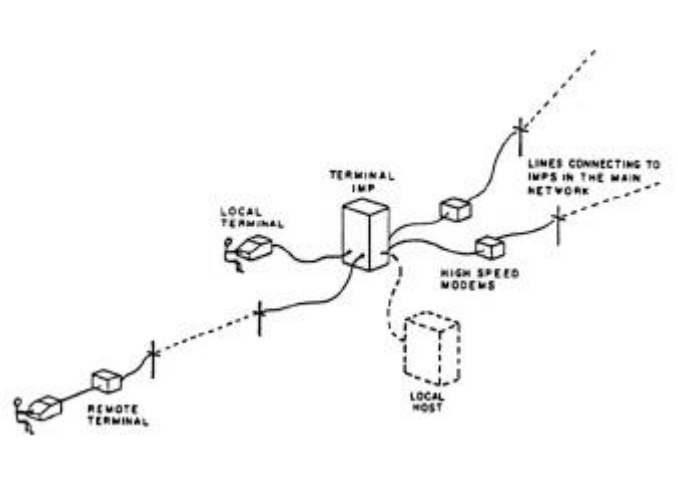


Abb. 7: Der TIP

Die ersten TIPs wurden im Dezember 1971 bei der University of Southern California, N.A.S.A. Ames Research Center, Global Weather Central, Rome Air Development Center, MITRE Corporation und dem National Bureau of Standards aufgestellt. [vergl. Abb. 8]

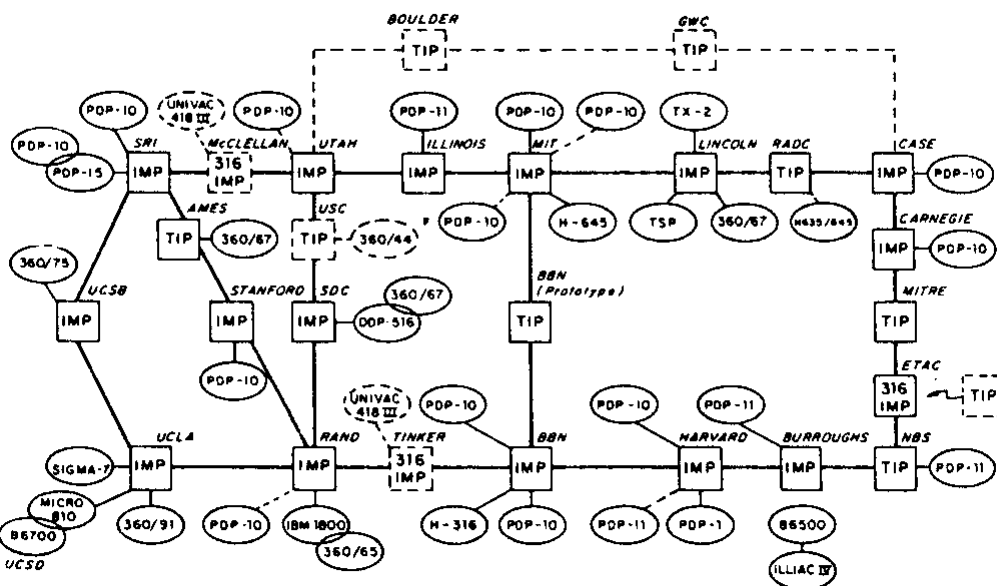


Abb. 8: Das ARPANET im Dezember 1971

AMES	N.A.S.A. Ames Research Center
BBN	Bolt Beranek and Newman
BURROUGHS	Burroughs Corporation
CARNEGIE	Carnegie Mellon University
CASE	Case Western Reserve
ETAC	Environmental Technical Applications Center
GWC	Global Weather Central
HARVARD	Harvard University
ILLINOIS	University of Illinois
LINCOLN	M.I.T. Lincoln Laboratory
MC CLELLAN	McClellan Air Force Base
MIT	Massachusetts Institute of Technology
MITRE	MITRE Corporation
NBS	National Bureau of Standards
NCAR	National Center for Atmospheric Research
RADC	Rome Air Development Center
RAND	RAND Corporation
SDC	System Development Corporation
SRI	Stanford Research Institute
STANFORD	Stanford University
TINKER	Tinker Air Force Base
UCLA	University of California at Los Angeles
UCSB	University of California at Santa Barbara
USC	University of Southern California
UTAH	University of Utah

3.2 NWG, NIC, NMC und NCC

Während BBN Anfang 1969 das Subnet mit den IMPs plante, delegierte Larry Roberts einige Aufgaben, die für den reibungslosen Betrieb des Netzwerks benötigt wurden, an ausgewählte Principal Investigators. [O'Neill,1995:79]

Bei der Vorbereitung des ARPA Program Plans No. 723 wurde Roberts von der "network working group", einem Zusammenschluß aller beteiligten Vertragspartner der ARPA unterstützt. Diese Gruppe wurde von Roberts im Sommer 1968, also parallel zur Veröffentlichung der RFQ/RFP, zur offiziellen "Network Working Group" (NWG) erklärt. Die NWG bestand 1969 aus: "Steve Carr of Utah, Jeff Rulifson and Bill Duvall at Stanford Research Institute, and Steve Crocker and Gerard Deloche at UCLA. Membership is not closed." [RFC3:1] Die NWG wuchs im Laufe der Zeit von den anfänglichen fünf Mitgliedern auf über 300 Mitglieder an. Die Aufgabe der NWG war "the HOST software, the strategies for using the network, and initial experiments with the network". [RFC3:1] Die Treffen der NWG fanden meistens parallel den AFIPS National Computer Conferences im Frühjahr oder Herbst statt. Treffen einzelner Arbeitskreise fanden auch in kürzeren Zeiträumen, meistens alle drei Monate, statt.

Aus Gründen der Dokumentation wurde das "Network Information Center" (NIC) am Stanford Research Institute unter der Leitung von Doug Engelbart eingerichtet. Die Aufgabe des NIC bestand zuerst in der Archivierung und Verteilung von "NWG Notes" und "Requests For Comments". Aus diesem Grund mußten alle Beteiligten, die vom NIC diese Dokumente erhielten, einen "Station Agent" und einen "Technical Liaison Contact" vorweisen. Der "Station Agent" erhielt vom NIC eine "small library of documents", der "Technical Liaison Contact" diente dazu, Nachfragen vom oder an das NIC zu bearbeiten. [RFC95:1] Seit Juli 1971 fiel auch die Verbreitung von "basic manuals or handbooks are produced by Network participants" in den Aufgabenbereich des NIC. [RFC185] Ab Oktober 1971 standen die Dokumente des NIC auch online zur Verfügung. Die User konnten in einer Telnet Sitzung über das ARPANET diese Dokumente einsehen. [RFC223] Die Dokumente wurden im NLS System von Stanford Research Institute vorgehalten. Erst 1973 wurde die Dokumentation in Form von "on-line documents" als "NLS files" von John Postel gefordert. [RFC580] Darüber hinaus veröffentlicht das NIC Listen, in denen die bis dato veröffentlichten RFCs dokumentiert und kommentiert waren [RFC160, 170, 200] und die offizielle ARPA Network Mailing Lists [RFC95, 155, 168, 211, 300, 329, 363, 402].

An der University of California at Los Angeles richtete Roberts das "Network Measurement Center" (NMC) ein. Aufgabe des NMC war es, Verfahren zur Leistungsmessung im ARPANET zu entwickeln. Aus diesem Grund wurde der erste IMP bei der University of California at Los Angeles installiert. Das NMS wurde von Leonhard Kleinrock geleitet. Kleinrock war zu diesem Zeitpunkt die Kapazität im Bereich der "Queing Systems" (Warteschlangensysteme und deren Theorie) [Kleinrock,1976] und der Netzwerktheorie [Kleinrock,1964]. Zu seinen Mitarbeitern zählten Stephen D. (Steve) Crocker, Vinton G. (Vince) Cerf und John Postel.

Wie auch bei der Vergabe des IMP Auftrags an BBN, griff Roberts bei der Gründung des NMC auf ihn bekannte Personen zurück. Kleinrock und Roberts kannten sich aus einer gemeinsamen Zeit, 1957-1963, am Lincoln Laboratory. Im Rahmen eines "Staff Associate Programm" machten sowohl Kleinrock wie auch Roberts ihren "Master" und "Ph.D." Abschluß am Massachusetts Institute of Technologie. Kleinrocks Interesse galt der theoretischen Analyse von Computernetzwerken, die in diesem Rahmen entstandenen Publikationen fanden keine Bedeutung, da sie ihrer Zeit zuweit voraus waren, und der Analyse von Time-Sharing Systemen. Sowohl Roberts wie auch Kleinrock wurden bei Ihren Arbeiten von Wes Clark und dessen TX-2 unterstützt. [Kleinrock,1990:4-5]

Vertragsbestandteil zwischen BBN und der ARPA war die Einrichtung des "Network Control Center" (NCC). [Heart,1990:24] Das NCC war für: "trouble shooting, and diagnosis, and repair of the ARPANET" zuständig. [McKenzie,1990:5] Um Messungen am Subnet durchführen zu können installierte BBN eigens einen PDP-1D Computer. [RFC301] Ab dem 21. Juni 1972 war das NCC rund um die Uhr zu erreichen. [RFC356]

3.3 Die Entstehung der Requests for Comments

Die Entstehung der Request for Comments war sehr eng mit den ersten Treffen der Network Working Group 1969 verflochten. Zu dieser Zeit war der erste IMP noch nicht ausgeliefert, aber die Diskussion über die Fähigkeiten und die Funktionsweise des kommenden Netzwerkes war im vollen Gange:

" The first few meetings were quite tenuous. We had no official charter. Most of us were graduate students and we expected that a professional crew would show up eventually to take over the problems we were dealing with. Without clear definition of what the host-IMP interface would look like, or even what functions the IMP would provide, we focused on exotic ideas." [RFC1000:2]

Da die Ideen, die bei diesen Treffen besprochen wurden, dokumentiert werden sollten, kam die Network Working Group sehr bald zu der Entscheidung, diese schriftlich festzuhalten:

"[...] it became clear to us that we had better start writing down our discussions."
[RFC1000:3]

Stephen D. Crocker war das Mitglied der Network Working Group, das die Art und Weise dieser Dokumentation ausarbeitete. Eine seiner größten Ängste war, den offiziellen Protokollentwicklern durch diese Dokumentation zu nahe zu treten, denn die Network Working Group war sich zu dieser Zeit noch nicht bewußt, daß sie es sein würden, die die Protokolle des ARPANET entwickeln würden:

"I remember having great fear that we would offend whomever the official protocol designers were, and I spent a sleepless night composing humble words for our notes."
[RFC1000:3]

Er legte besonderen Wert darauf, daß die Dokumentationen eine inoffiziellen und vorläufigen Charakter hatten. Dies führte dann auch zum Namen dieser Dokumente: "Request for Comments"(RFC). Dieser Name war unabhängig von den Ausdrücken Request for Proposal oder Request for Quotation entstanden, da Crocker diese Bezeichnungen nicht bekannt waren. [Crocker,1998]

Da Form, Inhalt und Verteilung der RFCs bestimmten Regeln unterliegen sollten, veröffentlichte Crocker in RFC 3 eine "Documentation Conventions".

Eine RFC konnte von jedem, der an der Entwicklung des ARPANET interessiert war veröffentlicht werden, wobei eine RFC alles beinhalten konnte, was in irgendeiner Form die Entwicklung des ARPANET betraf. Obwohl die RFCs als Dokumentation der Aktivitäten der Network Working Group gedacht waren, legte Crocker großen Wert darauf, daß hier jeder seine Meinung äußern durfte. Den Aufbau einer RFC stellte Crocker wie folgt dar:

"Every NWG note should bear the following information:

1. "Network Working Group"
"Request for Comments:" x where x is a serial number.
Serial numbers are assigned by Bill Duvall at SRI
2. Author and affiliation
3. Date
4. Title. The title need not be unique."

[RFC3:1]

Die Numerierung der RFCs erfolgte fortlaufend. Eine einmal veröffentlichte RFC hatte Bestand und wurde nicht wieder zurückgezogen. Den Abschluß der RFC 3 bildete eine Verteilerliste. An die dort aufgeführten Personen hatte jeder Autor einer RFC unaufgefordert eine Kopie zu senden.

Die RFC 3, veröffentlicht im April 1969, war zwar nur bis zum Erscheinen der RFC 10 am 29. Juli 1969 gültig, aber in ihrer Form stellt die RFC 3 den ersten Standard dar, der in Form einer RFC veröffentlicht war. Zugleich war dies der erste Standard, der im Zusammenhang mit dem ARPANET definiert wurde.

Da RFC 3 aber weiterhin verfügbar blieb, wurde in RFC 10 mitgeteilt, daß RFC 3 durch RFC 10 "obsoleted" wurde. Es war also möglich mit einer späteren RFC eine bereits veröffentlichte RFC zu widerrufen. Ebenso konnte eine später veröffentlichte RFC eine bereits vorhandene RFC aktualisieren. Die aktualisierte RFC wurde dann als "updated" aufgeführt.

In RFC 10 wurde mitgeteilt, daß die Zuständigkeit für die Vergabe der RFC Nummern nun bei Steve Crocker lag, und die Verteilerliste um drei Einträge erweitert wurde. Weitere Änderungen der Verteilerliste fanden in RFC 16, 24, 27 und 30 statt. Zu dieser Zeit erfolgte

die Versendung der RFCs noch per Post: "All mailing should be airmail or first class, depending upon distance." [RFC95:2]

In diese Verteilerliste konnte sich jede "organization" eintragen lassen, die Interesse an der Entwicklung des ARPANET hatte. Die RFCs waren öffentliche Dokumente und jeder der im Besitz einer RFC war durfte diese weitergeben. Dies war und ist sogar gewünscht. [Crocker,1998]

Ab Februar 1971 übernahm das Network Information Center die Versendung der RFCs, für die bis zu diesem Zeitpunkt der Autor einer RFC verantwortlich war. [RFC95:1] Eine offizielle ARPA Network Mailing List vom Network Information Center war in RFC 95, 155, 168, 211, 300, 329, 363 und 402 veröffentlicht. Die Verwaltung und Vergabe der RFC Nummern wechselt ebenfalls zum Network Information Center. Ab Oktober 1971 konnten die RFC beim Network Information Center auch online, in einer Telnet Session, eingesehen werden.

Da der Pflegeaufwand der Mailing Lists stetig stieg, wurde schließlich auf die Verteilung der RFCs verzichtet, zumal das Network Information Center die RFCs auf ihrem Host zur Einsicht vorhielt.

Der Grundgedanke der RFCs wurde in keiner weiteren RFC geändert oder widerrufen. Die Entwicklungen des Internet werden noch immer in Form von RFCs publiziert, ebenso die mittlerweile gültigen Standards. Die RFCs sind auch heute noch öffentliche Dokumente, die jeder im Internet einsehen kann. Jeder kann eine RFC veröffentlichen. Hinweise wie dies zur Zeit machbar ist, finden sich auf alle Servern, die RFCs vorhalten. Auch die Verbreitung von RFCs unterliegt keiner Beschränkung. Lediglich von den RFCs aus den Anfängen des ARPANET sind heutzutage einige nicht mehr online verfügbar.

3.4 ARPANET Protokolle

Bei der Besetzung der Network Working Group ging Roberts ungewöhnliche Wege:

"We don't want to put all our eggs in the one basket of one contractor, to tell everybody how to do everything. Everybody has to be involved because there are good ideas everywhere, because ARPA wants people to feel like they have a stake in the outcome."
[McKenzie,1990:8]

Roberts verließ sich bei der Entwicklung des ARPANET nicht nur auf einen Vertragspartner, er hätte BBN auch die komplette Entwicklung übertragen können, er möchte das ARPANET in einem Team aus Vertragspartnern entwickeln. Seine Idee, die ARPA Vertragspartner in diese Entwicklung zu integrieren war deswegen so ungewöhnlich, da die Mitarbeiter der einzelnen Universitäten keine erfahrenen Leute im Netzwerkbereich waren. So bemerkte Vince Cerf:

"DARPA [ARPA] also set a crucial tone by making the research entirely unclassified and by engaging some of the most creative members of the computer science community who tackled this communication problem without the benefit of the experience (and hence bias) of traditional telephony groups." [Cerf,1995]

"[...] you know, we were just rank amateurs, and we were expecting that some authority would finally come along and say, "Here's how we are going to do it." And nobody ever came along, so we were sort of tentatively feeling our way into how we could go about getting the software up and running." [Cerf,1990:9]

Roberts wollte die Kreativität dieser "Amateure" benutzen, um die Funktionen des Netzwerkes zu definieren und implementieren. Denn der von Cerf erhoffte Experte würde nicht erscheinen, und so mußten die Mitglieder der Network Working Group die Protokolle selber entwickeln.

Die Anfänge des Entwicklungsprozesses verliefen parallel zur Entwicklung der IMPs bei BBN. Daher wußte keiner der Network Working Group wie das "Host-IMP Interface" aussehen würde oder welche Funktionalität der IMP lieferte. [RFC1000:2]

Nach einer Aussage von Crocker standen zu Beginn des Entwicklungsprozesses einige exotische Ideen. Die Mitglieder der Network Working Group dachten an "-- interactive graphics, cooperating processes, automatic data base query, electronic mail -- ", wußten aber nicht, wo und wie sie mit der Implementierung der Netzwerkdienste anfangen sollten. [RFC1000:2]

Einer der wesentlichen Vorteile der Network Working Group war das Fehlen konkreter Vorgaben durch die ARPA. Die Mitglieder der Network Working Group waren Studenten der beteiligten Universitäten, die an diesem Entwicklungsprojekt [Crocker,1991:11] arbeiteten. In die Rolle der Entwickler gedrängt, entwickelten sie ihren eigenen Stil:

"Another aspect is that because we thought of ourselves as researchers, we tended to ask larger questions. Instead of trying to make the work as short and simple as possible, we tended to consider grander aspects, such as how to do it right, how to get the full generality or the maximum flexibility out of something. So, in that sense, there was

some sharing of the vision, and that probably influenced the approach to these problems." [Crocker,1991:11]

Auf dieser Basis entstand nach mehreren Treffen im Herbst und Winter 1968/69 das Kommunikationskonzept des ARPANET. [Crocker,1998] Die Basis bildete ein: "layered set of protocols with general transport services on the bottom and multiple application-specific protocols on the top" [Crocker,1993] Nur bei der Anzahl der benötigten Schichten herrschte noch Unstimmigkeit. So beschrieb Crocker in RFC 1000: "The BBN folks [...] hadn't -- of course -- spent any time considering the thirty or forty layers of protocol above the link level". Der erste Entwurf des Schichtenmodells wurde am 7. April 1969 in RFC 1 veröffentlicht. Eine detaillierte Beschreibung der einzelnen Schichten lieferte RFC 1 zwar nicht, aber aus dem Zusammenhang wurde ersichtlich, daß die Network Working Group die Kommunikation in drei Schichten unterteilte.

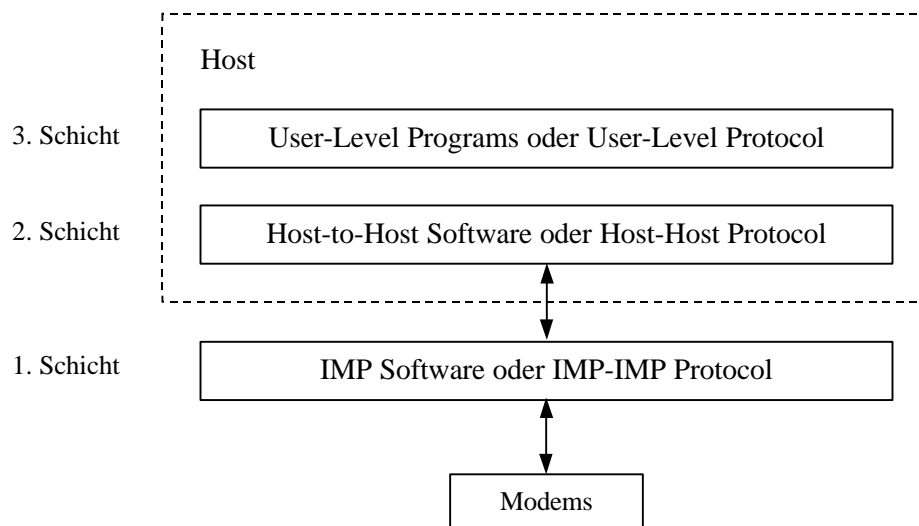


Abb. 9: Die drei Schichten der ARPANET Kommunikation

Die Funktionalitäten der ersten Schicht wurden durch die von BBN gelieferte IMP Software abgedeckt, die Funktionalitäten der Schichten zwei und drei sollte von den Mitgliedern der Network Working Group realisiert werden. Dadurch war die Zusammenarbeit zwischen den Entwicklern des IMPs, den BBN-Mitarbeiter Frank Heart, Bob Kahn, Severo Ornstein und Will Crowther, und der Network Working Group erforderlich. Denn die Schnittstellen der Protokolle mußten von beiden Seiten implementiert werden. Da BBN den von der ARPA in der RFQ/RFP vorgegebenen Zeitrahmen einhalten mußte, war es ihr Ziel, das Netzwerk möglichst schnell funktionsfähig zu haben. Auch der standesmäßige Unterschied zwischen den etablierten Computerwissenschaftlern bei BBN und den Studenten auf Seiten der

Universitäten sorgte für eine gewisse Spannung. [RFC1000:2] Der Zeitdruck auf Seiten von BBN und die grundlegenden Ideen der Studenten ergänzten sich dann aber doch positiv:

"With the pressure to get something working and the general confusion as to how to achieve the high generality we all aspired to, we punted and defined the first set of protocols to include only Telnet and FTP functions." [RFC1000:4]

3.4.1 IMP – IMP Protokoll

Zu den Aufgaben der IMP Software gehörte das Erzeugen der Packets aus den Messages, die Rekonstruktion von Messages aus Packets, das Bilden des "packet headers", das Senden und Empfangen von Packets über die Modems, das Routing der Packets und die Kontrolle des Subnets. Zusätzlich zu der Netzwerkfunktionalität umfaßte die IMP Software weitere "Support Software". Diese wurde zum Initialisieren eines IMPs, Testen und Debuggen der Software oder zur Host Emulation benötigt. Darüber hinaus enthielt sie auch noch Statistikfunktionen für den IMP und das Subnet, die für das Network Control Center benötigte Daten erhob.

Die Software zum Betrieb des Subnet, die IMP Software oder das IMP-IMP Protokoll, bestand aus fünf Programmen. Das "task program" konvertierte Messages in Packets und Packets in Messages. Mit dem "modem program" steuerte die Software die Kommunikation zwischen IMP und Modem. Für die IMP-to-Host und Host-to-IMP Kommunikation war das "Host program" zuständig. Ein "time-out program" forderte nach Ablauf einer Zeitscheibe ohne "Ready for Next Message" (Empfangsbestätigung), die erneute Übertragung eines Packets an. Das "link program" verwaltete die Verbindungstabelle eines IMPs. [Heart,1970:559]

Routing

Da beim Packet Switching kein vorgegebener Weg zwischen sendendem IMP und empfangendem IMP existierte, mußte für jedes zu übertragende Packet ein Weg gewählt werden. Die Auswahl des Weges erfolgte durch den Routing Algorithmus. Er wählte den Weg, von dem er annahm, daß die Übertragungszeit eines Paketes minimal war. Ein Weg war für einen IMP eine Kommunikationsverbindung zu einem anderen IMP, die über eine an ein Modem angeschlossene Standleitung führte. Wenn am IMP zum Beispiel drei Modems angeschlossen waren, besaß er drei mögliche Wege eine Kommunikation aufzubauen.

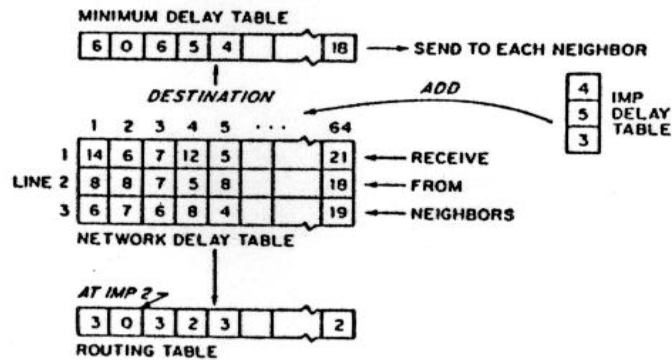


Abb. 10: Tabellen des Routing Algorithmus

Die Wegwahl traf eine "fast and simple table lookup procedure", bei der aus einem Tabelleneintrag der optimale Weg hervorging. Diese Informationen speicherte der IMP im "Routing Table". Der "Routing Table" war eine einzeilige Tabelle mit 64 Spalten. Jeder IMP, der im Subnet vorhanden sein konnte, hatte einen Eintrag im "Routing Table". Ein Tabelleneintrag, in allen hier aufgeführten Tabellen, enthielt die zu erwartende Übertragungsdauer zu dem zur Spalte korrespondierenden IMP.

Der "Network Delay Table" bestand aus 64 Spalten, für jeden IMP eine und aus einer Zeile für jedes am IMP angeschlossene Modem. Bei einem IMP mit drei Modems besaß der "Network Delay Table" drei Zeilen. Der Tabelleneintrag in Spalte fünf, Zeile zwei stellte die zu erwartende Übertragungsdauer zu IMP Nummer fünf über Modem zwei dar.

Der "Minimum Delay Table" war eine einzeilige Tabelle mit 64 Spalten, in dem die Spaltenminima des "Network Delay Table" gespeichert wurden, und der eigene Eintrag zu Null gesetzt wurde. Der "Minimum Delay Table" von IMP Nummer zwei enthielt eine Null in der Spalte zwei.

Im "IMP Delay Table", einer einspaltigen Tabelle, mit einer Zeile für jedes am IMP angeschlossene Modem, speicherte jeder IMP die Übertragungsdauern zu seinen direkten Nachbarn.

Die Aktualisierung des "Routing Table" erfolgte alle 2/3 Sekunden. Jeder IMP des Subnets bildete seinen "Minimum Delay Table" und sendete ihn über seine Modemverbindung an die direkt benachbarten IMPs. Damit empfing jeder IMP über jede an ihn angeschlossene Leitung einen "Minimum Delay Table". Dieser wurde in der zur Modemnummer korrespondierenden Zeile des "Network Delay Table" eingetragen. Seinen direkten Nachbarn

erkannte ein IMP aus den Nullwerten eines jeden empfangenen "Minimum Delay Table". Aus dem eigenen und den empfangenen "Minimum Delay Table" konnte der IMP den "IMP Delay Table" bilden. Zu jeder Spalte des "Network Delay Table" addierte die Software den "IMP Delay Table". Der "Routing Table" beinhaltete die zu den Spaltenminima des "Network Delay Table" korrespondierenden Modemnummern. [McQuillan,1977:272]

Sollte zum Beispiel ein Packet an IMP Nummer drei übertragen werden, verwendete der IMP das Modem, das in Spalte drei des "Routing Table" hinterlegt war. Wenn IMP Nummer drei kein direkter Nachbar des sendenden IMPs war, empfing der benachbarte IMP das Packet, ermittelte den Empfänger des Packets und aus seinem "Routing Table" die nächste Modem Verbindung. Dieser Vorgang wiederholte sich solange, bis der Empfänger erreicht war.

Dieser sehr einfache Algorithmus hatte zwei Nachteile. Es wurde nur eine Verbindung zu einem empfangenden IMP unterstützt und eine Optimierung der Wegwahl erfolgte immer nur im Umfeld eines IMPs. [McQuillan,1977:272-273]

Die Vorteile lagen aber gerade in der Einfachheit des Algorithmus. Kein IMP brauchte Informationen über die gesamte Netzwerktopologie, Ausfälle von IMPs oder Leitungen waren automatisch berücksichtigt und die Netzwerkbelastung durch den Routing Algorithmus betrug nur zwei Prozent der Bandbreite einer 50 kBit Leitung. [McQuillan,1977:273]

Da für die Identifikation eines Hosts nur 8-Bit zur Verfügung standen, konnte das ARPANET maximal $2^8 = 256$ Hosts umfassen. Auch die Anzahl der IMPs war auf 64 limitiert. Damit war die Topologie des ARPANET wesentlich einfacher, als die heutige Topologie des Internet. Ein Beweis für die Effizienz des Routing Algorithmus findet sich in den RFCs. Es war keine RFC zum Thema Routing in dieser Zeit veröffentlicht worden.

Gleiches galt auch für das IMP-IMP Protokoll. Die von den BBN Entwicklern implementierte Version war sehr weit entwickelt. Änderungen des Protokolls erfolgte sehr selten. In RFC 270 wurden zwei Seiten des über dreihundert Seiten dicken BBN Reports No. 1822 aktualisiert. Eine weitere Anpassung des Protokolls erforderte ein geändertes Host-Host Protokoll. [RFC394]

3.4.2 Host – Host Protokoll

Die Aufgaben des Host-Host Protokolls konnte in zwei Bereiche unterteilt werden. Bei der Kommunikation mit dem IMP-IMP Protokoll, empfing und sendete das Host-Host Protokoll die Messages. Bei der Kommunikation mit den User-Level Protokollen stellte das Host-Host Protokoll die logischen Verbindungen zur physischen Verbindung zwischen Host und IMP her. Für beide Kommunikationen übernahm das Host-Host Protokoll den Auf- und Abbau der Verbindung und die Flußkontrolle.

Im Gegensatz zu BBNs IMP-IMP Protokoll lief die Entwicklung des Host-Host Protokolls in mehreren Phasen ab. Die erste Phase fand während dem Winter 1968/69 unter Beteiligung von Steve Carr von der University of Utah, Jeff Rulifson von Stanford Research Institute und Steve Crocker von der University of California at Los Angeles statt. Parallel dazu entwickelte Gerard DeLoche von der University of California at Los Angeles das Host-IMP Interface.

Der erste Entwurf

In der am 7. April 1969 veröffentlichten RFC 1 präsentierte Steve Crocker die erste Definition des Host-Host Protokolls durch die Network Working Group. Eine Message wurde als übertragene Information zwischen zwei Hosts definiert, ihre Länge betrug maximal 8080 Bits. Der Header beinhaltete folgende Informationen:

"Destination	5 bits
Link	8 bits
Trace	1 bit
Spare	2 bits" [RFC1:2]

Das Feld Destination gab die Adresse des Ziel-Hosts an, der Link spezifizierte die Nummer der logischen Verbindung, und Trace diente dem Network Measurement Center dazu, Netzwerkanalysen durchzuführen. Jeder Host besaß 32 logische voll duplex Verbindungen, die Links, über die die User-Level Protokolle Daten empfangen oder senden konnten. "Link 0" diente zum Verbindungsaufbau, die restlichen 31 Links konnten zur Kommunikation benutzt werden. Dabei unterschied RFC 1 zwischen zwei Arten der Verbindungen. Eine "TTY-like connection", die einer Terminalverbindung mit geringem Datendurchsatz entsprach und eine "file-like connection", die Dateiübertragung mit hohem Durchsatz ermöglichte. [RFC1:4]

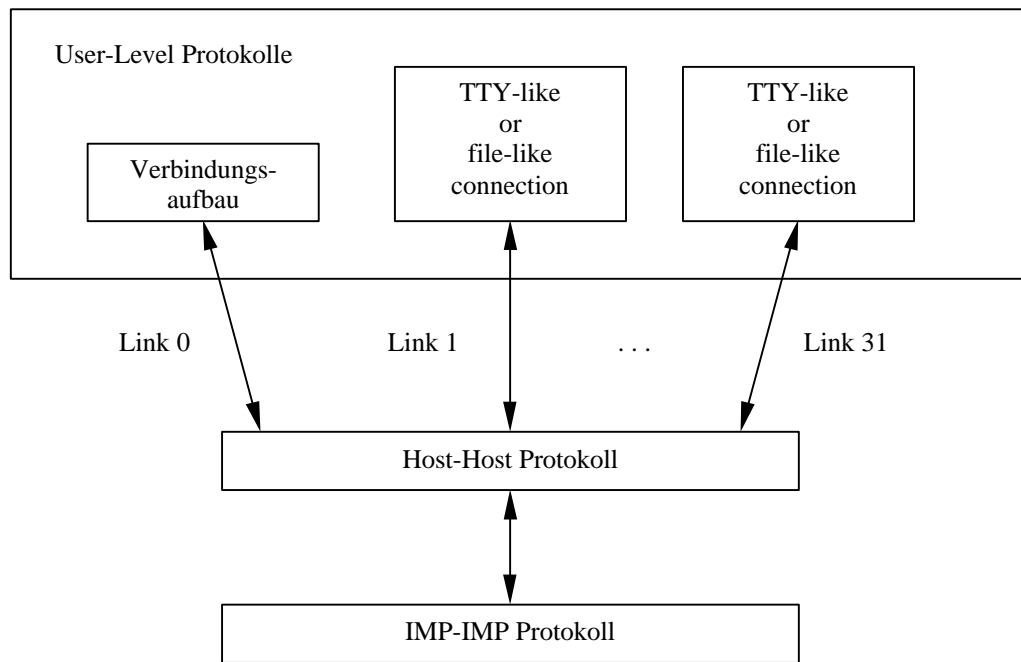


Abb. 11: Aufbau des Host-Host Protokolls nach RFC 1

Den Ablauf der Kommunikation zwischen zwei Hosts beschrieb Crocker wie folgt:

"Each HOST operating system must provide to its user level programs a primitive to establish a connection with a remote HOST and a primitive to break the connection. When these primitives are invoked, the operating system must select a free link and send a message over link 0 to the remote HOST requesting a connection on the selected link. The operating system in the remote HOST must agree and send back an accepting message over link 0." [RFC1:5]

Vom Betriebssystem des Hosts wurde gefordert, den Auf- und Abbau der Verbindung zu gewährleisten. Damit war das Host-Host Protokoll nicht vom Betriebssystem des Hosts unabhängig.

Zur Absicherung der Host-Host Verbindungen forderten die Entwickler eine Host-Host Fehlerkontrolle, obwohl bereits die IMP-Software Fehlererkennung beinhaltete:

"The point is made by Jeff Rulifson at SRI that error checking at major software interfaces is always a good thing. He points to some experience at SRI where it has saved much dispute and wasted effort. On these grounds, we would like to see some HOST to HOST checking. Besides checking the software interface, it would also check the HOST-IMP transmission hardware. (BB&N claims the HOST-IMP hardware will be as reliable as the internal registers of the HOST. We believe them, but we still want the error checking.)" [RFC1:4]

Die in RFC 1 beschriebenen Eigenschaften der Host-Software stellten eine Diskussionsgrundlage für die ARPANET Entwickler dar, keinesfalls einen Standard:

"Very little of what is here is firm and reactions are expected." [RFC1:1]

Eine Diskussion der Host Software fand in RFC 9 statt. Doch schon in RFC 11 wurde ein neues Host-Host Protokoll vorgestellt. Das in RFC 11 beschriebene Host-Host Protokoll ermöglichte 256 Links. In RFC 18, vom September 1969, wurde die Änderung des "Link 0" bekanntgegeben. Über "Link 0" tauschten IMPs jetzt ihre Kontrollnachrichten aus, Hosts benutzten dazu "Link 1". Die Implementation der University of California at Los Angeles unterstützte aber nur 64 Links, da Steve Crocker keine Notwendigkeit für mehr als 62 nutzbare Verbindungen sah. [RFC25]

Simplex Verbindungen und Sockets

Bei einem Treffen der Network Working Group am 17. März 1970 stellte Steve Crocker einen neuen Vorschlag für das Host-Host Protokolls vor. Das neue Protokoll änderte das in RFC 11 beschriebene Protokoll in zwei wesentlichen Eigenschaften. Eine Verbindung basierte nicht mehr auf vollduplex Links, wie in RFC 1 beschrieben, sondern auf "simplex connections". Eine detaillierte Beschreibung der Änderungen enthielt RFC 33, eine Implementationsanleitung wurde angekündigt, eventuelle Änderungswünsche sollten schnellstens bei Steve Crocker vorgetragen werden. [RFC37] Am 18. Juni 1970 stellte die Network Working Group in RFC 54 einen offiziellen Protokollentwurf zur Diskussion. Die in RFC 33 und RFC 37 angekündigten Änderungen wurden hier detailliert beschrieben.

Das zentrale Programm, das die Funktionalität des Host-Host Protokolls abbildet, die Host Software, bekam in diesen Entwürfen den Namen: "Network Control Program" (NCP).

Eine "connection" war eine Kommunikationsverbindung zweier Prozesse. Die Verbindung bestand aus einem "link" und einem "socket". "Link 1" war der "control link", über den die Flußsteuerung stattfand. Die Links 32 bis 255 konnten experimentell benutzt werden und waren für eventuelle Erweiterung reserviert. Die Kommunikation der User-Level Protokolle erfolgte über die Links 2 bis 32. Ein Socket bildete das Endstück einer Verbindung. Die Benutzung der Sockets erfolgte immer paarweise, da Aufgrund der simplex Verbindungen ein Prozeß eines User-Level Protokoll ein sendendes und empfangendes Socket benötigte. [RFC54:1-2]

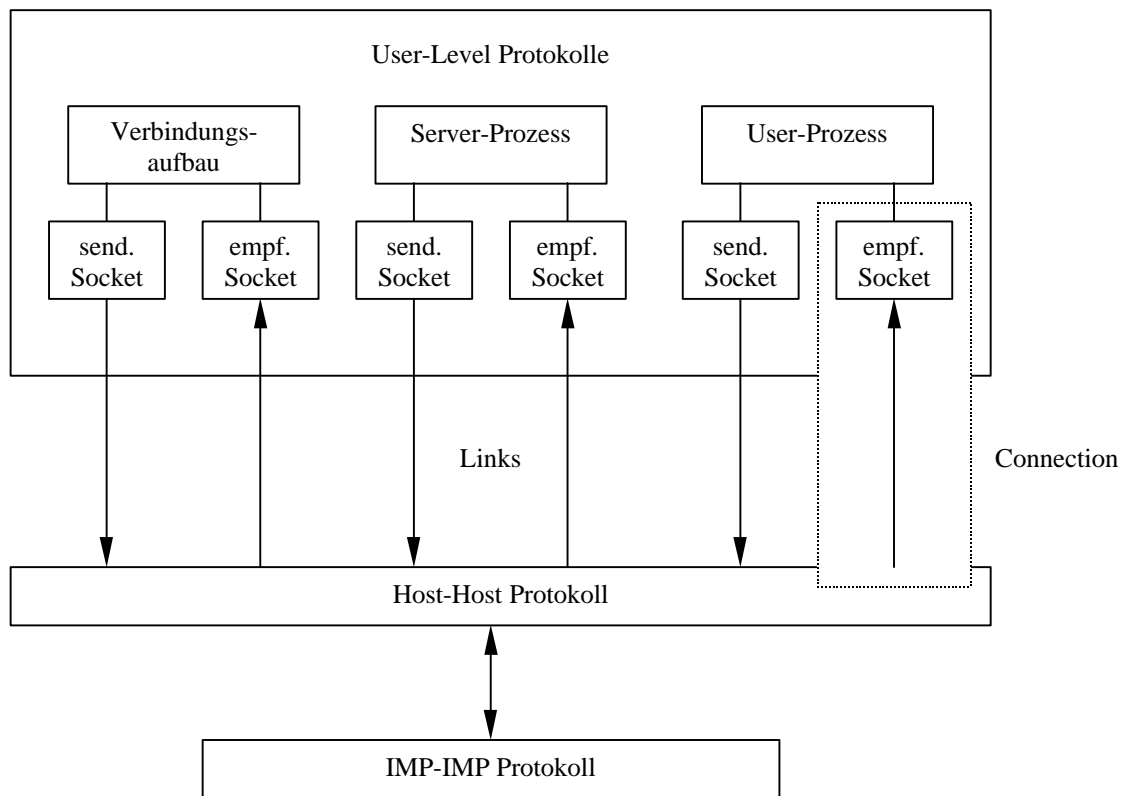


Abb. 12: Aufbau des Host-Host Protokolls nach RFC 54

Zur eindeutigen Identifizierung im Netzwerk besaß ein Socket eine 40 Bit lange Adresse. Die ersten 24 Bit identifizierten den Benutzer und den "Home Host" des Benutzers. Die nächsten 8 Bit gaben die Nummer des Hosts an, in dem das Socket lag. Ein 8 Bit Feld, "AEN" (another eight bit number), nummerierte das Socket. Das letzte Bit (Least Significant Bit = LSB) von AEN unterschied zwischen sendendem und empfangendem Socket. Ein Socket mit einer geraden Nummer, $LSB = 0$, war ein Empfänger, ein ungerades Socket, $LSB = 1$, stellte einen Sender dar. [Carr,1970:591]

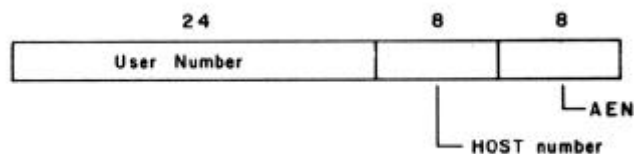


Abb. 13: Ein Socket

Um eine bessere Anpassung der Messages an die unterschiedlichen Wortlängen der Hosts zu erreichen, wurde der Aufbau einer Message verändert. Die Message war nun ein 8096 Bit langer Bitstrom. Der Header wurde von 16 Bit auf 32 Bit vergrößert. Der Header enthielt

vier 8 Bit lange Felder zur Identifizierung von Host, Message, Link und Flag. Die Ausrichtung auf die Wortgrenze erfolgte mit dem "marking". Der "text", der Inhalt einer Message, begann auf der Wortgrenze des Hosts und endete mit einem "padding". Das Padding füllte die Message bis an Wortgrenze auf. [Carr,1970:590]

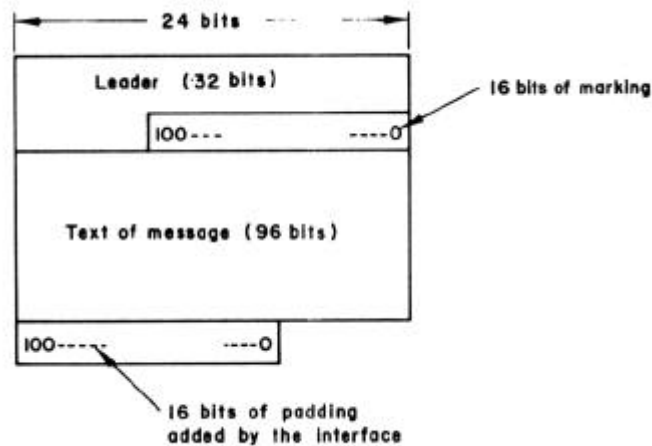


Abb. 14: Messageformat eines 24-Bit Computers nach RFC 54²

Der Text konnte sowohl Daten für User-Level Protokolle beinhalten, wie auch die zur Flußkontrolle und Steuerung benötigten "Network Control Commands".

Nach Veröffentlichung von RFC 54 fand eine rege Diskussion über das neue Protokoll statt. Von besonderem Interesse waren die Marking- und Paddingfelder einer Message. In RFC 64 kam die Anregung, die Anpassung der Wortgrenzen ins IMP-IMP Protokoll zu verlegen. In RFC 67 schlug W. Crowther von BBN vor, den Header und den Text als separate Messages an den IMP zu übertragen und dort Marking und Padding vorzunehmen. Einen Algorithmus zur Berechnung der Länge des Padding in Abhängigkeit von der Wortgrenze stellte Steve Crocker in RFC 70 vor.

Ein entscheidender Einschnitt in der bis dahin lebhaften Host-Host Protokollentwicklung fand mit der Veröffentlichung von RFC 72 am 28. September 1970 statt. Das Entwicklerteam des Massachusetts Institute of Technology beklagte den schnellen Wechsel der Implementationen im Bereich des Host-Host Protokolls. Dadurch würde die Entwicklungszeit unnötig verlängert, da fast fertige Implementation wieder verworfen werden müßten, um die neuesten Änderungen zu berücksichtigen.

² Im Gegensatz zur Abbildung 14, der die RFC 54 zu Grunde liegt, wird das Marking in RFC 54 als Folge von Nullen mit abschließender Eins dargestellt. [RFC54:4]

Das Massachusetts Institute of Technology betrachtete das Host-Host Protokoll als brauchbar und statt weitere Änderungen aus theoretischen Überlegungen zu berücksichtigen, sollten praktische Erfahrungen gesammelt werden. Aus diesen Erfahrungen könne das Protokoll besser geändert werden. Die Reaktion auf diese Vorschläge gab Steve Crocker in RFC 73:

"It seems to me most important to gain experience using the network before making changes to the protocol which are not dictated by necessity. [...] With respect to changes, in general, I believe that changes are necessary to improve the efficiency, provide greater flexibility, and guarantee reliability. Many of us can suggest changes now, but I suspect that clearer ideas will emerge from usage." [RFC73:11]

Vom Bitstream zum Bytestream

Am 23. März 1971 stellte das "Host-Host Protocol Glitch Cleaning Committee" eine neue Protokollversion vor. Mit dieser Version fand der Wechsel vom Bitstrom zum Bytestrom statt. Die Anpassung an die unterschiedlichen Wortlängen der Hosts wurde durch die Variable "byte size" S erreicht. Dies brachte aber eine Modifizierung des Messageaufbaus mit sich. Die Bytgröße, S, konnte zwischen 1 und 255 Bit lang sein. Aus der Länge des Textfeldes in Byte C und der Bytgröße S konnte die Anzahl der Bits eines Textes berechnet werden. Mit den Feldern M1, M2 und M3 fand die Ausrichtung auf Wortgrenzen statt. Bei der Übertragung von "Network Control Commands" war die Bytelänge auf 8 Bit festgelegt, und die Textlänge auf 120 Bytes limitiert. Den Aufbau einer Message zeigt Abbildung 15.

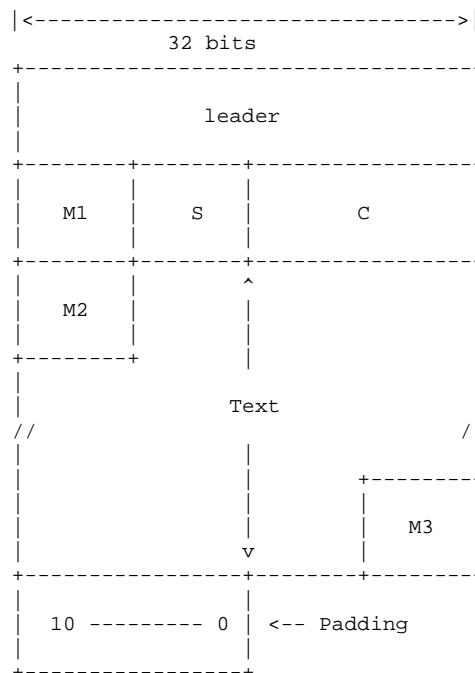


Abb. 15: Messageformat eines 32-Bit Computers nach RFC 107

Neben der Implementierung der Bytelängen im Host-Host Protokoll fand ein erneuter Wechsel der Linknummer statt. Der Control Link wechselte wieder von "Link 1" zu "Link 0". "Link 191" wurde für Netzwerkmessungen des Network Measurement Center reserviert.

Die in RFC 107 vorgestellten Änderungen sollten von jedem ARPANET Teilnehmer schnellst möglich implementiert werden. Der geschätzte Zeitpunkt der Fertigstellung sollte an Steve Crocker gemeldet werden. In RFC 111 wies Steve Crocker nochmals auf die Notwendigkeit der Implementation des Host-Host Protokolls nach dem in RFC 107 spezifizierten Standard hin.

Zur Unterscheidung der möglichen Implementationen der Host-Host Protokolle forderte die Harvard Universität in RFC 135 die Einführung von Versionsnummern und eine Abfrage im NCP, um mit den verschiedenen Version kommunizieren zu können. [RFC135:5]

Eine Änderung im Bereich der Sockets gab RFC 147 vom 7. Mai 1971 bekannt:

"A 32 bit socket is divided into an 8 bit "home" field, a 16 bit "user" field and an 8 bit "tag" field. The tag consists of a 7 bit "plug" and a one bit "polarity" where a "0" olarity indicates a receive socket and a "1" polarity indicates a send socket. Thus a user on one host system may run processes with up to 128 send sockets and 128 receive sockets. This procedure allows for 256 hosts and 65,536 users per host." [RFC147:3]

Zur Benutzeridentifikation mußte eine charakteristische Benutzerangabe des Hosts, Prozeß ID, Jobnummer, etc. in das Feld "user" geschrieben werden, dazu erfolgte eine Umwandlung dieser Daten vom Textformat in eine 16 Bit Binärzahl.

3.4.3 User-Level Protocols

Bei der Entwicklung der User-Level Protokollen, den Anwendungen des ARPANET, standen zunächst zwei Funktionen im Vordergrund:

"It was clear we needed to support remote login for interactive use -- later known as Telnet -- and we needed to move files from machine to machine [later known as FTP]."
[RFC1000:3]

Decode Encode Language

Einen abstrakten Ansatz zur Implementation des Telnet Protokolls beschrieb Steve Crocker bereits in RFC 1. Dort stellte er eine maschinenunabhängige Sprache vor, "Decode-Encode Language" (DEL) genannt, die eine Bildschirmsitzung an einem Host vereinfachte. Da die

Funktionalitäten eines Terminals je nach Host verschieden waren, bestand die Notwendigkeit, diese für jede Verbindung individuell anzupassen. Jeder Host sollte eine solche in DEL formulierte Beschreibung haben und über einen DEL Compiler verfügen. Beim Verbindungsaufbau einer Bildschirmsitzung sendete der entfernte Host den zur Anpassung benötigten DEL-Code an den lokalen Host. Dieser kompilierte das DEL Programm und fügte es in seine lokale DEL-Umgebung ein. Somit entstand für jede Verbindung zur Laufzeit eine speziell angepaßte Umgebung, die alle Funktionen des entfernten Hosts unterstützte. Falls eine Erweiterung im Funktionsumfang eines Terminals erfolgte, mußte nur der DEL Code geändert werden, und jeder Benutzer konnte die neuen Funktionen nutzen, ohne seine eigene Implementation anzupassen.

Neben diesem funktionellen Vorteil bot diese Lösung eine Minimierung der Netzwerkbelastung. Eine Eingabe im entferntem Terminal wurde lokal bearbeitet, bis ein Signal zur Verarbeitung der Eingabe erfolgte. Dadurch mußte nicht jedes eingegebene Zeichen über das Netzwerk übertragen werden, sondern eine Reihe von Zeichen konnte in einer Message untergebracht werden. [RFC1:7-10]

Eine Funktions- und Sprachdefinition von DEL erfolgte am 2. Juni 1969 in RFC 5 durch Jeff Rulifson von Stanford Research Institute:

"The Decode-Encode Language (DEL) is a machine independent language tailored to two specific computer network tasks:

accepting input codes from interactive consoles, giving immediate feedback, and packing the resulting information into message packets for network transmission.

and accepting message packets from another computer, unpacking them, building trees of display information, and sending other information to the user at his interactive station." [RFC5:1]

In der Funktionalität verfeinerte Rulifson das Konzept von Crocker weiter, unterteilte die Kommunikation beim Verbindungsaufbau in mehrere Prozesse und definierte die Syntax von DEL.

Da in der Zeit vom Sommer 1969 bis zum Winter 1970/71 die Entwicklung des Host-Host Protokolls im Vordergrund stand, fand zu dieser Zeit die Entwicklung von User-Level Protokollen kaum statt. Vielmehr stellten einigen RFCs grundlegende Konzepte über die Funktionalität und den Aufbau dieser Protokolle vor. Eine Aufteilung des Protokolls in zwei verschiedene Prozesse, männlich und weiblich genannt, schlug RFC 56 vor. Da das Host-Host Protokoll in der in RFC 54 vorgestellten Version keine vollduplex Verbindungen mehr

beinhaltete, sondern auf simplex Verbindungen basierte, war die Einführung der sogenannter Prozesse eine notwendige Maßnahme zur Anpassung der User-Level Protokolle an die Host-Host Protokolle. Später wurde dieses Konzept durch Server- und User-Prozesse berücksichtigt. Ein Server-Prozeß stellte einem User-Prozeß einen Dienst des Hosts zur Verfügung. Der User-Prozeß wurde von einem Benutzer (User) am lokalen Host gestartet und nahm dann Kontakt mit dem Server-Prozeß eines entfernten Hosts auf. Ebenso wurde ein Protokoll zur Anmeldung an einem entfernten System gefordert, das von allen User-Level Protokollen benutzt werden konnte. In RFC 54 noch "Logger Protocol" genannt, später als "Initial Connection Protocol" (ICP) realisiert. Nach einem Treffen von Steve Crocker und Mitarbeitern von BBN und Massachusetts Institute of Technologie beschrieb Crocker in RFC 66 seine Gedanken zu: "3rd Level Ideas and Other Noise".

Die erste Remote Job Entry Implementation

Neben diesen generellen Konzepten, fand eine Entwicklung von Einzellösungen statt. So bot University of California at Santa Barbara im Oktober 1970 ein "On-Line System" zur Benutzung an. [RFC74] University of California at Los Angeles stellte im Januar 1971 seine Lösung eines "Remote Job Entry" (RJE) vor. [RFC88] Für das Konzept des Resource-Sharing-Netzwerks war RJE eine wichtige Komponente. Zwar konnte durch die Verbreitung der Time-Sharing Systeme die Programmentwicklung interaktiv erfolgen, für rechenintensive Anwendungen wurden aber weiterhin Batch-Systeme benötigt. Eine rechenintensive Anwendung umfaßte nicht nur hohe Rechenleistung im Sinne von arithmetischen Operationen, sie besaß auch viele Schreib-/Lesezugriffen, wie sie bei der Verarbeitung großer Datenmengen vorkamen. Damit eine Verarbeitung im Batchbetrieb erfolgen konnte, mußte die Umgebung der Anwendung vor dem Programmstart definiert werden, die Dateien mußten vorhanden sein und die Art und Weise der Ergebnisablage mußte festgelegt werden. Diese Parameter wurden in einer Jobbeschreibung hinterlegt. Batchverarbeitung bedeutet, daß während der Verarbeitungszeit keine Anfragen des Jobs an den Benutzer erfolgten. Der Job lief im Hintergrund und erst das Ergebnis war für den Benutzer wieder sichtbar. Zwischen Job und Benutzer fand, im Gegensatz zur interaktiven Verarbeitung, keine Kommunikation statt. Mit dem Remote Job Entry Protocol konnten Jobs zur Batchverarbeitung an ein entferntes System übergeben werden, während man gleichzeitig interaktiv am lokalen System arbeiten konnte.

Die eigentliche Entwicklung der User-Level Protokolle fand erst ab 1971 statt, da zu diesem Zeitpunkt das Host-Host Protokoll so gut wie standardisiert war.

Logische Einheiten

Einen interessanten Ansatz zu User-Level Protokollen stellte George H. Mealy von der Harvard University am 27. Dezember 1970 in RFC 91 vor. Er verglich die Kommunikation der User-Level Protokolle in einem Netzwerk mit einem Spezialfall von Input/Output-Operationen bei einem einzelnen Computer. Bei der Implementierung des Host-Host Protokolls machten die Entwickler an der Harvard Universität eine wichtige Entdeckung. Eine Netzwerkverbindung über das Host-Host Protokoll behandelte jede Verbindung wie ein "logical device", eine logische Einheitenbeschreibung zur Emulation der Terminal Funktionen. Die Beschreibung der Fähigkeiten einer Einheit (device) stammte aus dem Betriebssystem der IBM S/360. Da für alle Einheiten des Computer eine Beschreibung vorhanden sein mußte, verhielt sich das "logical device" für lokale und entfernte Einheiten gleich. Somit konnte der Netzwerkbenutzer die Funktionen des Betriebssystems, wie ein lokaler Benutzer verwenden. [RFC91:1] Für das User-Level Protokoll war nur das Textfeld, zwischen dem Ende des Marking und dem Anfang des Padding, einer Message von Bedeutung. Damit waren die vorhandenen IMP-IMP - und Host-Host Protokolle von dem vorgeschlagenen User-Level Protokoll nicht beeinflusst. Eine Implementierung dieses User-Level Protokolls erfolgte in Harvard und ermöglichte die Benutzung einer IBM S/360 und einer DEC PDP-10.

Telnet

Den ersten Entwurf eines Telnet Protokolls präsentierte Stanford Research Institute im Februar 1971. [RFC97] Die Pläne des Network Information Center, seine Informationen On-Line zugänglich zu machen, erforderten eine Definition eines einheitlichen Telnet Protokolls. [RFC1000:139] RFC 103 beinhaltete einen Verbesserungsvorschlag bei der Implementierung der "program interrupt functions". Eine "program interrupt function" war zum Beispiel das aus dem DOS-Betriebssystem bekannte "Strg + C". Im Gegensatz zu diesem Programmabbruch, besaß der "program interrupt key", "break key" oder "help request button" eines Hosts erweiterte Funktionen. Die Unterbrechungsfunktion in den Hosts wechselte in einen übergeordneten Eingabemodus, in dem eine Abfrage weiterer Informationen zum laufenden Programm erfolgte. Daher waren diese Funktionen sehr wichtig. Das in RFC 97 vorgestellte Telnet Protokoll läßt die Verarbeitung der "program interrupt functions" im Falle einer Endlosschleife nicht zu. RFC 103 schlug vor, die Verlegung der Verarbeitung der Unterbrechungsfunktion in das Network Control Programm zu verlegen. Durch Kennzeichnung der "program interrupt functions" mit einer speziellen Message war die Funktionalität gewährleistet.

Remote Job Entry bei der University of California at Santa Barbara

Im März 1971 erfolgte eine weitere Implementation eines RJE Protokolls an der University of California at Santa Barbara. Damit waren im ARPANET zwei verschieden RJE Implementationen verfügbar, eine an der University of California at Los Angeles, die andere an der University of California at Santa Barbara. Eine gemeinsame Implementationsgrundlage existiert nicht. [RFC105]

"Pressure from the Chairman"

Da die Entwicklung der Protokolle und ihre Implementierung nicht schnell genug voranging, übte die Network Working Group unter Leitung von Steve Crocker in RFC 111 vom 31. März 1971 massiven Druck auf die Entwickler aus. Die Implementierung folgender Funktionen wurde gefordert:

- "(a) implementation of an NCP according to the specifications in Document #1 as modified by RFC #107;
- (b) implementation of a user-Telnet which enables local users to login to foreign Hosts;
- (c) implementation of a server-Telnet which enables foreign users to login on your Host;
- (d) documentation of the mechanism for connecting to and logging in to your Host;
- (e) documentation of the mechanism for obtaining job numbers, passwords, etc. to your Host;
- (f) documentation of the services available on your Host; and
- (e) regular operation at advertised hours." [RFC111:1]

Die Kontrolle und Tests der Implementierungen erfolgte durch John Heafner von RAND. Das Konzept der Server- und User - Prozesse berücksichtigte RFC 111.

Ein strukturierter Telnet-Ansatz

Parallel zu den Forderungen der Network Working Group begann das "User/Server Site Protocol Committee", bestehend aus Bob Long von System Development Corporation, John Melvin vom Stanford Research Institute, Ed Meyer vom Massachusetts Institute of Technologie und Tom O'Sullivan von der Raytheon Company Sudbury im März 1971 den ersten Telnet Standard zu entwickeln. Den Beginn machte ein Fragebogen, der von den ARPANET Teilnehmern beantwortet werden sollte. Durch diesen Fragebogen sollten die Anforderungen an eine Bildschirmsitzung und die Fähigkeiten verschiedenen Hosts ermittelt werden. [RFC106] Das Ergebnis der Umfrage präsentierte das Kommittee in RFC 112. Die ersten Arbeitsgrundlagen des Telnet Protokolls für das Network Working Group Treffen in

Atlantic City im April wurden in RFC 137 und RFC 139 veröffentlicht. Das Ergebnis, einen vorläufigen Telnet Protokoll Entwurf, enthielt RFC 158.

Initial Connection Protokoll

Die in RFC 54 geforderte Funktionalität eines "Logger Protocol" wurde mit der Vorstellung des offiziellen "Initial Connection Protocols" (ICP) in RFC 123 vom 20. April 1971 realisiert:

"a third level protocol which is initiated by a user process at one site in order to contact a server process at another site." [RFC123:1]

Der Server-Prozeß von ICP stellte ein definiertes Socket zur Verfügung, daß ständig auf einen ICP User-Prozeß wartete, der Verbindung mit ihm aufnehmen wollte. Wenn dies geschah, wurden über ICP die Socketnummern der Server- und User-Prozess Verbindung für das angeforderte User-Level Protokoll ausgetauscht. Nachdem die Socket Verbindungen ausgehandelt waren, beendete der ICP Server-Prozeß die Verbindung und die User-Level Protokolle konnten über die ausgehandelten Sockets miteinander kommunizieren. Die Übertragung von ICP Messages verwendete eine Bytegröße von 32 Bit. Die zur Kommunikation benötigten Befehle wurden in RFC 123 beschrieben, von Jon Postel in RFC 127 jedoch ergänzt. Auf ein Problem beim Aufbau einer weiteren ICP Verbindung, vor Beendigung einer bestehenden ICP Verbindung wies RFC 143 hin. Einen wesentlichen Fehler dieses Protokolls beschrieb A. Shoshani von der System Development Corporation in RFC 151. Eine fest definierte Bytegröße verstoße gegen die in RFC 107 eingeführte flexible Bytegröße des Network Control Programms. Das Aushandeln der Bytegröße werde von Network Control Programm durchgeführt, und müsse daher von ICP berücksichtigt werden. Ein Protokoll der dritten Schicht dürfe die Funktionen der unter ihr liegenden Schichten nicht ignorieren oder umgehen.

Den offiziellen ICP Standard präsentierte die am 14. Juli 1971 veröffentlichte RFC 197:

"At the Network meeting preceeding the SJCC '71, an "ICP Committee" was established. It's purpose was to get "something" working fast with minimum modifications to the current ICP so as to minimize complaints. (This seems like a good definition for almost everything!) Consequently, those who had objections to the current ICP were interviewed and a compromise was reached in the form of RFC #165. The ICP committee didn't have a chance to think about an alternative because of the above mentioned constraints. In this note we attempted a simple version of an ICP assuming that we can add commands to Host-Host protocol. We hope that this will be useful in the design of the next version of the Host-Host protocol." [RFC197:1]

Auch hier war der Zeitdruck, unter den die Entwickler standen, ausschlaggebend für die Definition eines Standards.

Dateiübertragung

In einem weiteren Alleingang stellte das Massachusetts Institute of Technologie in RFC 114 im April 1971 seine Version eines "File Transfer Programs" vor, die in den Hosts des Massachusetts Institute of Technologie implementiert wurde. Da die Aufteilung in einen Server- und User-Prozeß jedoch nicht strikt berücksichtigt wurde, konnte diese Implementation kein Standard werden. [RFC133] Desweiteren forderte die Harvard University in RFC 133 einen Dateizugriff auf Satzebene und die Implementation einer Funktion zum Anlisten aller Dateien in einem Verzeichnis. Eine Zusammenfassung aller Forderungen an ein "File Transfer Protocol" (FTP) listeten die RAND Mitarbeiter E. F. Harslem und J. F. Haefner in RFC 141 auf. Nach der Spring Joint Computer Conference veröffentlichte Vinton Cerf seinen Vorschlag eines "Data Managers", einem Server-Prozeß, der die für die Dateiübertragung benötigten Funktionen zur Verfügung stellte. [RFC163] Ein erster Standard zur Dateiübertragung wurde am 23. Juni 1971 vorgestellt. FTP benötigte zur Übertragung ein weiteres Protokoll, das "Data Transfer Protocol" (DTP). Ähnlich wie ICP, das von allen Protokollen des User-Levels benutzt wurde, stellte DTP den User-Level Protokollen, und damit auch FTP, allgemeine Dateiübertragungsfunktionen zur Verfügung. [RFC171] Die Funktionsweise von FTP definierte RFC 172 wie folgt:

"The file transfer protocol (FTP) is a user-level protocol for file transfer between host computers (including terminal IMP's), on the ARPA computer network. The primary function of FTP is to facilitate transfer of files between hosts, and to allow convenient use of storage and file handling capabilities of other hosts. FTP uses the data transfer protocol described in RFC 171 to achieve transfer of data. This paper assumes knowledge of RFC 171.

The objectives of FTP are to promote sharing of files (computer programs and/or data), encourage indirect use (without login or implicit) of computers, and shield the user from variations in file and storage systems of different hosts, to the extent it is practical. These objectives are achieved by specifying a standard file transfer socket and initial connection protocol for indirect use, and using standard conventions for file transfer and related operations." [RFC172:1]

FTP unterstützte in dieser Version die Dateiverarbeitungsbefehle des Host-Betriebssystems. Bei den Einschränkungen bezüglich der Dateinamen mußte sich ein Benutzer nach den Konventionen des von ihm genutzten Computers richten. Einen Standard für Pfadnamen gab es nicht, Alexander McKenzie arbeitet aber zu diesem Zeitpunkt an einem Vorschlag für ein "network file systems", das dies ermöglichen sollte. Für die Nutzungsrechte an den Dateien war das Dateisystem des Hosts zuständig. FTP stellte nur eine Benutzeridentifizierung und ein Paßwort zur Verfügung, um eine Berechtigungsprüfung seitens des Hosts durchzuführen.

An den Aufbau der Dateien stellte FTP keine Anforderungen, jede Datei konnte übertragen werden. In einem Host gab es einen "daemon"-Prozess, der ein definiertes Socket abhörte, auf dem ICP eine voll duplex Verbindung aufbauen konnte. Die Datenübertragung erfolgte mit dem in RFC 171 beschriebenen "data transfer protocol". Sowohl FTP wie auch DTP besaßen eigene Flußsteuerungen.

Sowohl die FTP wie die DTP Spezifikationen hatten aber noch erhebliche Mängel, wie R. T. Braden in RFC 238 feststellte. Das Dateiende wurden beiden Protokollen durch einen Verbindungsabbruch signalisiert. So konnte keine Unterscheidung zwischen einer Verbindungsstörung und dem Dateiende stattfinden. Die Flußkontrolle beider Protokolle beinhaltete keinen Mechanismus für den Fall eines Datenverlusts bei der Übertragung. Beim Speichern von Dateien wurden bereits vorhandene Daten ohne Nachfrage überschrieben: ein in der Praxis nicht brauchbarer Standard. [RFC238]

Die Korrektur der Fehler erfolgte im neuen DTP und FTP Standard, der im November 1971 in RFC 264 (DTP) und RFC 265 (FTP) veröffentlicht wurde. Dieser Standard wurde am 8. Juli 1972 von RFC 354 abgelöst. Das File Transfer Protocol beinhaltet jetzt die Funktionen von DTP und stellte im betrachteten Zeitraum den letzten Standard dar.

"The objectives of FTP are

- 1) to promote sharing of files (computer programs and/or data),
- 2) to encourage indirect or implicit (via programs) use of remote computers,
- 3) to shield a user from variations in file storage systems among HOSTs, and
- 4) to transfer data reliably and efficiently. FTP, though usable directly by user at a terminal, is designed mainly for use by programs." [RFC354:1]

Mail Box Protocol

Zeitgleich mit der Entwicklung des File Transfer Protocols forciert das Network Information Center die Entwicklung des "Mail Box Protocol", um Network Information Center Dokumente über das ARPANET verteilen oder von den Autoren empfangen zu können. Die Benutzung von DTP/FTP zu diesem Zweck war sehr aufwendig, da der Aufbau des Dateisystems und die Befehle des Dateisystems auf jedem Host bekannt sein mußten. Das am 20. Juli 1971 vorgestellte Mail-Box-Protokoll benutzte das Network Control Programm, das Initial Connection Protokoll und Data Transfer Protokoll. Zur Datenübertragung verwendete es den 7 Bit ASCII Code. Die Wortlänge betrug 8 Bit. Den Anfang einer Message bildete ein "adress string", bestehend aus Name und Adresse des Senders und Empfängers, z. B. RWW@SRI-NIC, und einem Kommentarfeld. Ein Host konnte maximal 128 Mailboxen besitzen, jeder Mailbox konnte ein Drucker zugeordnet werden. [RFC196:1-2] Eine überarbeitete Version des ersten Protokolls enthielt RFC 221.

Auf eine Benachteiligung der Terminal IMP (TIP) Benutzer im Zusammenhang mit dem Mail Box Protocol verwies Alexander McKenzie von BBN. Da ein TIP keinen Plattenspeicher zum Ablegen der Nachrichten besaß und deswegen eine DTP Unterstützung nicht implementiert war, konnten keine Nachrichten abgelegt werden. McKenzie schlug die Einrichtung von gemieteten Mailboxen in größeren Hosts, wie zum Beispiel beim Network Information Center, vor. [RFC224:1]

Zusammen einer weiteren überarbeiteten Version des Mail-Box-Protokolls in RFC 278, nahmen die Entwickler auch Stellung zu dem TIP Problem:

"The problem of delivering mail to TIPs was discussed.

At the moment TIPs support only the Telnet Protocol, but it is planned to support the Data Transfer Protocol. TIPs will have an ASCII line printer available as an optional device. People desiring to send a mail item to a TIP with a printer can open a standard published socket and transmit to it with Telnet Protocol now, later also with the Data Transfer Protocol. The NIC's plans with regard to TIPs is not to do automatic network delivery to them. Messages to people using TIPs can be sent to them through the NIC and will be delivered as with everyone else directly to the person's initial file at the NIC. The TIP user can read the item online or obtain a hardcopy at his terminal with the Output Device Teletype command of NLS." [RFC278:2]

Nach diesem Standard erfolgte dann ab dem Dezember 1971 die Verteilung der Dokumente des Network Information Centers. Einen e-mail Standard wie wir ihn heute kennen, beinhaltete der Funktionsumfang des ARPANET zur damaligen Zeit nicht. Zwar besaßen fast alle Hosts ein internes Mailsystem, aber eine systematische Anbindung an das ARPANET erfolgte nicht. Roy Tomlinson von BBN entwickelte 1971 ein Mailsystem für das ARPANET, das jedoch nur in einem Computer mit TENEX Betriebssystem laufen konnte. Dazu benutzte er aus dem internen Mailsystem von TENEX den Befehl SNDMSG, den Kopierbefehl "CPYNET" aus FTP, und das Mail Box System des Network Information Center. [Hardy,1996] Eine Standardimplementierung erfolgte jedoch erst nach 1973.

Das offizielle Remote Job Entry Protokoll

Ein Bereich, der lange Zeit von der Standardisierung ausgeschlossen war, blieb das "Remote Job Entry Protocol" (RJE). Im September 1971 beklagt sich RAND über die beiden existierenden RJE-Versionen bei University of California at Santa Barbara und University of California at Los Angeles. Die Version der University of California at Santa Barbara vom März 1971 [RFC105] stellte eine sehr frühe Implementation dar, die keinen der aktuellen Standards unterstützt. Die Version von University of California at Los Angeles, vorgestellt im Januar 1971 [RFC88] und überarbeitet im Juli 1971 [RFC189], basierte auf aktuellen

Versionen von Telnet und des Data Transfer Protokolls. Um dem Benutzer die Anwendung von RJE zu vereinfachen, fordert RAND eine Standardisierung von RJE. [RFC231] Die Ausarbeitung eines RJE Standards dauerte bis zum Oktober 1972. Das in RFC 407 vorgestellte RJE Protokoll wies die Aufteilung in einen Server- und User-Prozeß auf. Der Verbindungsaufbau erfolgte über das Initial Connection Protokoll, die Kommunikation über das Telnet Protokoll. Zur Übertragung der "job-input files" und der "output files" verwendete RJE das File Transfer Protokoll.

Das endgültige Telnet Protokoll

Eine ebenso späte Entwicklung fand beim Telnet Protokoll statt. Eine Überarbeitung des in RFC 158 im Mai 1971 definierten Telnet Standards wurde erst beim Network Working Group Treffen in Cambridge im Oktober 1971 beschlossen:

"The Telnet committee has been reactivated to consider the following problems:

Clarification of the terminology half duplex, full duplex, character mode, line mode, ASCII, and echoing.

Clarification of the end of line convention. Especially to answer the question "Should there be a special end-of-line character?"

Clarification of the conditions for leaving Hide-your-input mode.

Clarification of the operation of Break and Synch.

Specification of a server-to-user Synch.

Clarification of the definition of the Network Virtual Terminal.

Preparation of a new document defining the Telnet protocol with the above improvements." [RFC295:3]

Das vom Telnet Komitee ausgearbeitete Protokoll wurde in RFC 318 veröffentlicht, und war bis in die 80er Jahre gültig.

3.5 Der öffentliche Durchbruch

Den vorläufigen Höhepunkt erlebte die Entwicklung des ARPANET mit der öffentlichen Vorstellung auf der International Computer Communications Conference Konferenz vom 24.-26.Oktober 1972 in Washington. Dazu wurde im Hilton ein Terminal IMP mit Terminals aufgestellt und mit dem ARPANET verbunden. In der Ankündigung dieser Demonstration formulierte ihr Organisator, Robert E. Kahn von BBN, die Ziele wie folgt:

"This demonstration will provide attendees with the opportunity to gain first hand experience in the use of a computer network. The theme of the demonstration will be on the value of computer communication networks, emphasizing topics such as data base retrieval, combined use of several machines, real-time data access, interactive cooperation, simulation systems, simplified hard copy techniques, and so forth. I am hoping to present a broad sampling of computer based resources that will provide attendees with some perspective on the utility of computer communication networks."
[RFC371:1]

Die Hoffnungen von Kahn wurden erfüllt. Der Verkehr im Netzwerk stieg während der Veranstaltung in bisher unbekannte Dimensionen. Pro Tag wurden 2.163.637 Packets durch das ARPANET gesendet, ein Wert der im gesamten Dezember 1973 mit 2.382.313 Packets nicht erreicht wurde.

Vor allen Dingen wurden durch diese Vorführung die Vorurteile gegenüber Packet-Switching ausgeräumt. Der von vielen befürchtete Buffer-Overflow, oder die Vorstellung von Packets, die für immer im Netz blieben, wurde widerlegt. [Roberts,1988:150]

Die Bedeutung der Demonstration für die Weiterentwicklung des ARPANET kommentierte Kahn wie folgt:

"The ARPANET demonstration at the ICCC conference was a major milestone in the development of packet switching. It convincingly demonstrated the concept in a realistic network environment and was the driving force in getting the research community to connect their machines to the network and use it." [Salus,1995:71]

4. Zusammenfassung

Die Idee eines Computernetzwerkes zur Nutzung der Ressourcen von ARPA Vertragspartnern entwickelte der Information Processing Techniques Office Direktor Joseph C. R. Licklider. Seine Nachfolger Ivan Sutherland setzte die Erforschung von Computernetzwerken zwar fort, aber zur Realisierung kamen Lickliders Visionen erst unter dem Information Processing Techniques Office Direktor Robert Taylor. Der von ihm engagierte Projektleiter Larry Roberts, setzte die Pläne dann als ARPA Computer Network in die Realität um.

Dabei waren die Einflüsse von Donald Davies und seinem englischen NPL-Netzwerk größer, als dies in der gängigen Literatur über die Entwicklung des ARPANET dargestellt wird. Von Davies und seinen Mitarbeitern übernahm Roberts das Konzept des Packet-Switching und sie überzeugten Roberts, die von ihm favorisierten Wählleitungen, durch 50 kBit Standleitungen zu ersetzen.

Der Einfluß der von Paul Baran verfaßten RAND Reports waren gering. Lediglich die vorherrschende Meinung, daß das ARPANET als strategisches Netzwerk für den Verteidigungsfall nach einem atomaren Erstschlag geplant war, war in diesen Berichten begründet. Das von Baran entwickelte Kommunikationsnetzwerk war genau zu diesem Ziel entwickelt worden.

Für die Entwicklung, Implementation und Kontrolle des ARPANET baute Larry Roberts ein Netzwerk aus ehemaligen Massachusetts Institute of Technologie Professoren, Doktoranden und Studenten auf. Der Vorschlag, den Interface Message Processor (IMP) in das Netzwerk zu integrieren bekam Roberts von Wes Clark, der Roberts Doktorarbeit am Massachusetts Institute of Technologie mit seinem Time-Sharing System TX-2 unterstützte. Die BBN Mitarbeiter des IMP Projekts, William Crowther, Frank Heart, Severo Ornstein und Dave Walden haben gemeinsam am Massachusetts Institute of Technologie studiert. Das Kontrollorgan des Netzwerkes, das Network Control Center, legte Roberts in die Hände von Leonhard Kleinrock, der gemeinsam mit Roberts seinen Dokortitel am Massachusetts Institute of Technologie erlangte und während der Entwicklung des ARPANET eine Professur an der University of California at Los Angeles besaß. Die Leitung der Network Working Group übernahm Steve Crocker, ein Student der University of California at Los Angeles, der Teile seiner Abschlußarbeit ebenfalls am Massachusetts Institute of Technologie durchführte, bevor er wieder zur University of California at Los Angeles

wechselte. Dieser Aufenthalt fiel in die Zeit, bevor Roberts vom Massachusetts Institute of Technologie zur ARPA wechselte.

Die Entwicklung der Protokolle war durch die Unterteilung des ARPANET in Subnet und Hosts ebenfalls in zwei Gruppen unterteilt. Die erfahrenen BBN Entwickler und die Studenten der Vertragspartner entwickelten die Protokolle des ARPANET. Der dadurch entstandene Entwicklungsprozeß war auch im Sinne der ARPA wie Stephen Crocker in einem Interview anmerkte:

"It was exactly the kind of solution that they like in that it involved a community of people, so that there was a mixture of competitive ideas. [...] People were talking to each other. And all this was happening without anybody having to summon people to a meeting or let formal contracts. [...] They were enthusiastic; the work was being done within the existing budgets and contracts." [Crocker,1991:15]

Ein für die ARPA angenehmer Nebeneffekt der Protokoll Entwicklung durch die Network Working Group, waren die geringen Kosten, denn:

"A few graduate students together was the cheapest possible way to make things happen." [Crocker 1991:11]

Aber durch den Entwicklungsstil der Network Working Group gerieten die Entwicklung der Host-Host- und der User-Level Protokolle unter Zeitdruck:

"I can certainly remember when Larry Roberts came to some Network Working Group meeting, where we were haggling about the details in the Network Control Protocol, the NCP protocol, and he said, basically, "You guys have spent enough time arguing about this. I want implementations in three more months. We can't stand to have any more delay, too many things are being held up." So whether we had implementations in three more months, or whether it was really five, I don't know. But the message was pretty clear. It was not "Do it this way" but "Come to a decision, damn it, you've been arguing long enough. All the ideas are out on the table; now you've just got to decide." [McKenzie, 1990:22]

Der Zeitdruck wurde durch die öffentliche Demonstration des ARPANET im Oktober 1972 auf der International Computer Communications Conference noch verschärft. Da Robert E. Kahn am 9. August 1971 in RFC 207 dieses Ereignis ankündigte, wurden zwischen dem Sommer 1971 und Herbst 1972 fast alle User-Level Protokolle nochmals überarbeitet:

"In the ARPANET period, we were driven by the need to get things working - especially in time for a very public demonstration [ICCC] of the ARPANET technology and applications in October 1972." [Cerf,1998]

Die auf dieser Basis geschaffenen ARPANET Protokolle bildeten keinen Standard, sondern entsprachen einer Einigung der Entwickler auf einen definierten Funktionsumfang. Eine Standardisierung in Form von offiziell anerkannten Standards hat bei der Entwicklung des ARPANET und dessen Protokollen nicht stattgefunden. BBNs Spezifikationen für den IMP, die in BBN Report No. 1822 veröffentlicht wurden, stellten einen Firmenstandard dar, aber auch der war von keiner offiziellen Stelle anerkannt worden. Die höchste Akzeptanz bei den Entwicklern fand der von Steve Crocker in RFC 3 vorgeschlagene Aufbau der Requests for Comments. Ihr Aufbau stellte einen der ersten internen Standards des ARPANET dar, der auch heute noch gültig ist.

Die Standardisierung des ARPANET wird von Steve Crocker wie folgt kommentiert:

"There is more than one idea of what it means for a protocol to be standard. If a single company develops a protocol and includes it in its product, and if the product is very widely used, then some would argue that the protocol is a standard. At the other extreme, if an official body gets together and passes a rule that a particular protocol is to be used, many would argue that that's what makes it a standard. The tradition of the Internet is somewhere in between. Today, in order for a protocol to become a standard, there must be good documentation, multiple implementations, and a working group which has reviewed and accepted the protocol.

In the early days of the Arpanet, the focus was on the practical aspects of making things work. There was very little formality, and essentially no bureaucracy. The early RFCs were published as a means of communicating ideas and results. Protocols which were widely adopted and used gradually became thought of as standards, but there was no intention ahead of time to create standards. [Crocker,1998]

5.1 Literaturverzeichnis

- ARPA, 1963a "ARPA, Program Plan No. 93: Computer Network and Time-Sharing Research", RG 330-78-0013, Box 1, Folder: "Program Plans", National Archives and Records Administration, 5. April 1963
- ARPA, 1963b "ARPA, Program Plan No. 95: Remote Stations and Programs for Computer Network", RG 330-78-9913, Box 1, Folder: "Program Plans", National Archives and Records Administration, 5. April 1963
- ARPA, 1968 "ARPA, Program Plan No. 723: Resource Sharing Computer Networks", RG 330-78-0013, Box 1, Folder: "Program Plans", National Archives and Records Administration, 3. Juni 1968
- Baran, 1964 Paul Baran: "On Distributed Communication ", 11 Bände, 1964 <http://www.rand.org/publications/RM/baran.list.html>
- BBN, 1969 "Internet Message Processor: Specification for the Interconnection of a Host and an IMP", BBN Technical Report No. 1822, Mai 1969, Revised May 1978
- Bush, 1945 Vannevar Bush: "As We May Think", in: *The Atlantic Monthly*, July 1945, <http://www.histech.rwth-aachen.de/www/quellen.html>
- Campbell-Kelly, 1988 Martin Campbell-Kelly: "Data Communications at the National Physical Laboratory (1965-1975)", in: *Annals of the History of Computing*, Volume 9, Number 3/4, 1988, S. 221-247
- Carr, 1970 Stephen C. Carr, Stephen D. Crocker, Vinton G. Cerf: "HOST-HOST Communication Protocol in the ARPA Networks", in: *AFIPS Conference Proceedings*, Volume 36, May 1970, S. 589-597
- Cerf, 1990 Judy O'Neill: "An Interview with Vinton Cerf: OH 191", Charles Babbage Institute, Center for the History of Information Processing, University of Minnesota, Minneapolis, 24. April 1990
- Cerf, 1995 Vinton G. Cerf : "Computer Networking: Global Infrastructure for the 21st Century", 1995 <http://www.cs.washington.edu/homes/lazowska/cra/networks.html>
- Crocker, 1991 Judy O'Neill: "An Interview with Stephen Crocker: OH 233", Charles Babbage Institute, Center for the History of Information Processing, University of Minnesota, Minneapolis, 24. Oktober 1991
- Cerf, 1998 e-mails von Vinton G. Cerf an den Autor
- Crocker, 1993 e-mails von Stephen D. Crocker an Michael Hauben
- Crocker, 1998 e-mails von Stephen D. Crocker an den Autor
- Greene, 1977 William Greene, Udo W. Pooch : "A Review of Classification Schemes for Computer Communication Networks", in: *"Distributed Processor Communication Architecture"*, Thurber, Kenneth J., IEEE Catalog No. EHO 152-9, 1977, S. 135-144
- Hardy, 1996 Ian R. Hardy: "The evolution of ARPANET email", University of California at Berkeley, Spring 1996

- Harrington, 1983 John V. Harrington: "Radar Data Transmisson", in: *IEEE Annals of the History of Computing*, Volume 5, Number 4, Oktober 1983, S. 370-374
- Heart, 1970 F.E. Heart, R.E. Kahn, S.M. Ornstein, W.R. Crowther, D.C. Walden: "The interface message processor for the ARPA computer network", in: *AFIPS Conference Proceedings*, Volume 40, 1972, S. 551-567
- Heart, 1973 F.E. Heart, S.M. Ornstein, W.R. Crowther, W.B. Barker: "A new minicomputer/multiprocessor for the ARPA network", in: *AFIPS Conference Proceedings*, Volume 41, 1973, S. 529-537
- Heart, 1990 Judy O'Neill: "An Interview with Frank Heart: OH 186", Charles Babbage Institute, Center for the History of Information Processing, University of Minnesota, Minneapolis, 13. März 1990
- Hellige, 1992 Hans Dieter Hellige: "Militärische Einflüsse auf Leitbilder, Lösungsmuster und Entwicklungsrichtungen der Computerkommunikation", in: *Technikgeschichte*, Band 59, Nummer 4, 1992, S. 371-401
- Kahn, 1990 Judy O'Neill: "An Interview with Robert E. Kahn: OH 192", Charles Babbage Institute, Center for the History of Information Processing, University of Minnesota, Minneapolis, 24. April 1990
- Kleinrock, 1964 Leonhard Kleinrock: "*Communication Nets: Stochastic Message Flow and Delay*", McGraw-Hill, New York, 1964
- Kleinrock, 1976 Leonhard Kleinrock "Queueing Systems: Vol. I-II", in: *Computer Applications*, John Wiley and Sons, New York, 1976
- Kleinrock, 1990 Judy O'Neill: "An Interview with Leonhard Kleinrock: OH 190", Charles Babbage Institute, Center for the History of Information Processing, University of Minnesota, Minneapolis, 3. April 1990
- Licklider, 1963 John C.R. Licklider: "Memorandum to Members and Affiliates of the Intergalactic Computer Network", RG 330-69-A-4998, Box 3, Folder: 350-1, National Archives and Records Administration, 23. April 1963
- Licklider, 1988 William Aspray, Arthur Norberg: "An Interview with J. C. R. Licklider: OH 150", Charles Babbage Institute, Center for the History of Information Processing, University of Minnesota, Minneapolis, 28. Oktober 1988
- McKenzie, 1990 Judy O'Neill: "An Interview with Alexander McKenzie: OH 185", Charles Babbage Institute, Center for the History of Information Processing, University of Minnesota, Minneapolis, 13. März 1990
- McQuillan, 1977 John McQuillan, David C. Walden: "The ARPA Network Design Decisions", in: *Computer Networks*, Volume 1, North-Holland Publishing Company, Amsterdam, 1977, S. 243-289
- Ornstein, 1972 S.M. Ornstein, F.E. Heart, W.R. Crowther, H.K. Rising, S.B. Russell und A. Michel: "The Terminal IMP for the ARPA computer network", in: *AFIPS Conference Proceedings*, Volume 40, 1972, S. 243-254
- O'Neill, 1995 Judy O'Neill: "The Role of ARPA in the Development of the ARPANET, 1961-1972", in: *IEEE Annals in the History of Computing*, Volume 17, Nummer 4, 1995, S. 76-81

- Roberts, 1988 Lawrence G. Roberts: "The ARPANET and Computer Networks", in: *A History of Personal Workstations*, Autor: Adele Goldberg, Addison-Wesley Reading, Mass., 1988, S. 142-171
- Roberts, 1989 Arthur L. Norberg: "An Interview with Lawrence G. Roberts: OH 159", Charles Babbage Institute, Center for the History of Information Processing, University of Minnesota, Minneapolis, 4. April 1989
- Salus, 1995 Peter H. Salus: "Casting the Net: From ARPANET to INTERNET and beyond...", Addison-Wesley Reading, Mass., 1995
- Shapiro, 1967 Elmer B. Shapiro: "Computer Network Meeting of October 9-10, 1967", November 1967, NLS Document
<http://www.histech.rwth-aachen.de/www/quellen.html>
- Sutherland, 1989 William Aspray: "An Interview with Ivan Sutherland: OH 171", Charles Babbage Institute, Center for the History of Information Processing, University of Minnesota, Minneapolis, 1. Mai 1989
- Taylor, 1989 William Aspray: "An Interview with Robert Taylor: OH 154", Charles Babbage Institute, Center for the History of Information Processing, University of Minnesota, Minneapolis, 28. Februar 1989
- Wildes, 1985 Karl L. Wildes, Nilo A. Lindgren: *"A Century of Electrical Engineering and Computer Science at MIT, 1882-1982"*, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, and London, England, 1985
-
- RFC 1 "Host Software", Steve Crocker, UCLA, 7. April 1969
- RFC 3 "Documentation Conventions", Steve Crocker, UCLA, April 1969
- RFC 5 "DEL", Jeff Rulifson, 2. Juni 1969
- RFC 9 "Host Software", G. Deloche, Mai 69
- RFC 10 "Documentation Conventions", Steve Crocker, UCLA, 29. July 1969
- RFC 11 "Implementation of the Host-Host Software Procedures in GORDO", G. Deloche, Mai 69
- RFC 16 "M.I.T.", Steve Crocker, UCLA, 27. August 1969
- RFC 18 "Comments Re: Host-Host control link", Vinton G. Cerf, September 1969
- RFC 24 "Documentation Conventions", Steve Crocker, UCLA, 21. November 1969
- RFC 25 "No High Link Numbers", Steve Crocker, UCLA, 30. Oktober 1969
- RFC 27 "Documentation Conventions", Steve Crocker, UCLA, 9. Dezember 1969
- RFC 30 "Documentation Conventions", Steve Crocker, UCLA, 4. Februar 1970
- RFC 33 "New Host-Host Protocol", Steve Crocker, Februar 1970
- RFC 37 "Network Meeting Epilogue, etc.", Steven Crocker, UCLA, 20. März 1970
- RFC 54 "An Official Protocol Proffering", Steve Crocker, Jon Postel, John Newkirk, Mike Kraley, 18. Juni 1970
- RFC 56 "Third Level Protocol, Logger Protocol, General Description", Ed Belove, Dave Black, Bob Flegel, Lamar G. Farquar, June 1970

- RFC 64 "Getting Rid of Marking", Elie, undatiert
- RFC 66 "3rd Level Ideas and Other Noise", Steve Crocker, UCLA, August 1970
- RFC 67 " Proposed Change to Host/IMP Spec to Eliminate Marking", W. Crowther, BBN
- RFC 70 " A Note on Padding", Steve Crocker, UCLA, 15. Oktober 1970
- RFC 72 "Proposed Moratium on Changes to Network Protocol", Robert D. Bressler, 28. September 1970
- RFC 73 "Response to NWM/RFC #67", Steve Crocker, UCLA, 25. September 1970
- RFC 74 "Specifications for Network Use of the UCSB On-Line System", White, UCSB, Oktober 1970
- RFC 88 "NETRJS - A Third Level Protocol for Remote Job Entry", Robert T. Braden, Januar 1971
- RFC 91 "A Proposed User-User Protocol", George H. Mealy, 27. Dezember 1970
- RFC 95 "Distribution of NWG/RFCs Through the NIC", Steve Crocker, UCLA, 4. Februar 1971
- RFC 97 "A First Cut at a Proposed Telnet Protocol", John Melvin, SRI, Februar 1971
- RFC 103 "Implementation of Interrupt Keys", R.B. Kalin, MIT, 24. Februar 1971
- RFC 105 "Network Specifications for Remote Job Entry and Remote Job Output Retrieval at UCSB", James E. White, UCSB, März 1971
- RFC 106 "USER/SERVER Site Protocol Network Host Questionnaire", Thomas O'Sullivan, RCS, 3. März 1971
- RFC 107 "Output of the Host-Host Protocol Glitch Cleaning Committee", Robert Bressler, Steve Crocker, William Crowter, Gary Grossman, Ray Tomlinson, James Withe, 23. März 1971
- RFC 111 "Pressure from the Chairman", Steve Crocker, UCLA, 31. März 1971
- RFC 112 "User/Server Site Protocol Network HOST Questionnaire", Thomas O'Sullivan, RCS, April 1971
- RFC 114 "A File Transfer Protocol", Abhay Bhushan, MIT, April 71
- RFC 123 "A Proferred Official ICP", Steven Crocker, UCLA, 20. April 1971
- RFC 127 "Comments on RFC 123", John Postel, 20. April 1971
- RFC 133 "File Transfer and Error Recovery", R. L. Sunberg, 27. April 1971
- RFC 135 " Response to RFC 110", Hathaway, April 1971
- RFC 137 "Telnet Protocol - A Proposed Document", Thomas O'Sullivan, RCS, April 1971
- RFC 139 "Discussion of Telnet Protocol", Thomas O'Sullivan, RCS, Mai 1971
- RFC 141 "Comments on RFC #114 (A File Transfer Protocol)", E. F. Harslem, J. F. Haefner, Rand, 29. April 1971
- RFC 143 "Regarding Proferred Official ICP", W. Naylor, J. Wong, C. Kline, J. Postel, 3. Mai 1971
- RFC 147 " The Definition of a Socket", Joel M. Winett, 7. Mai 1971
- RFC 148 "Comments on RFC #123", Abhay Bhushan, 7. Mai 1971

- RFC 151 "Comments on a Proferred Official ICP", A. Shoshani, 10. Mai 1971
- RFC 155 "ARPA Network Mailing Lists", Mai 1971
- RFC 158 "Proposed Telnet Protocol", Thomas O'Sullivan, RCS, Mai 1971
- RFC 160 "RFC Brief List", Mai 1971
- RFC 163 "Data Transfer Protocols", Vinton G. Cerf, UCLA, 19. Mai 1971
- RFC 168 "ARPA Network Mailing Lists", NIC, 26. Mai 1971
- RFC 170 "RFC List by Number", NIC, 1. Juni 1971
- RFC 171 "The Data Transfer Protocols", Abhaya Bhushan, MIT, Juni 1971
- RFC 172 "The File Transfer Protocol", Abhaya Bhushan, MIT, Bob Braden, UCLA, Will Crowther, BBN, Eric Harslem, Rand, John Heafner, Rand, Alex McKenzie, BBN, John Melvin, SRI, Bob Sundberg, Harvard, Dick Watson, SRI, Jim White, UCSB, 23. Juni 1971
- RFC 185 "NIC Distribution of Manuals and Handbooks", Jeanne North, 7. Juli 1971
- RFC 189 "Interim NETRJS Specifications", Robert T. Braden, Juli 1971
- RFC 196 "A Mail Box Protocol", Richard W. Watson, SRI, 20. Juli 1971
- RFC 197 "Initial Connection Protocol--Reviewed", A. Shoshani, E. Harslem, 14. July 1971
- RFC 200 "RFC List by Number", NIC, August 1971
- RFC 207 "A September Network Working Group Meeting", NWG Steering Committee per A. Vezza, 9. August 1971
- RFC 211 "ARPA Network Mailing Lists", NIC, August 1971
- RFC 221 "A Mail Box Protocol, Version-2", Richard W. Watson, SRI, August 1971
- RFC 223 "Network Information Center Schedule for Network Users", John Melvin und Dick Watson, 14. September 1971
- RFC 224 "Comments on Mailbox Protocol", Alexander McKenzie, BBN, 14. September 1971
- RFC 231 "Service Center Standards for Remote Usage--A Users's view", J. Heafner, Rand, E. Harslem, Rand, 21. September 1971
- RFC 238 "Comments on DTP and FTP Proposals", R. T. Braden, UCLA, 29. September 1971
- RFC 264 "The Data Transfer Protocols", Abhaya Bhushan, MIT, November 1971
- RFC 265 "The File Transfer Protocols", Abhaya Bhushan, MIT, Bob Braden, UCLA, Will Crowther, BBN, Eric Harslem, Rand, John Heafner, Rand, Alex McKenzie, BBN, John Melvin, SRI, Bob Sundberg, Harvard, Dick Watson, SRI, Jim White, UCSB, 17. November 1971
- RFC 278 "Revision of the Mail Box Protocol", Bob Braden, UCLA-CCN, Eric Harslem, RAND, John Heafner, RAND, Alex McKenzie, BBN-NET, John Melvin, SRI-ARC, Bob Sundberg, Harvard, Dick Watson, SRI-ARC, Jim White, UCSB, 17. November 1971
- RFC 295 "Protocol Workshop Report", Jon Postel, 2. Januar 1972
- RFC 300 "ARPA Network Mailing Lists", NIC, Januar 1972

- RFC 301 "BBN IMP (#5) and NCC Schedule March 4, 1972", R. Alter, BBN, 11. Februar 1972
- RFC 318 "Ad Hoc Telnet Protocol", Jon Postel, UCLA, April 1972
- RFC 325 "Network Remote Job Entry Program - NETRJS", Hicks, April 1972
- RFC 328 "Suggested Telnet Protocol Changes", Jon Postel, UCLA, 29. April 1972
- RFC 329 "ARPA Network Mailing Lists", NIC, Mai 1972
- RFC 340 "Proposed Telnet Changes", Thomas O'Sullivan, RCS, 15. Mai 1972
- RFC 354 "The File Transfer Protocol", Abhay Bhushan, MIT, 8. July 1972
- RFC 356 "Announcement of the NCC's new operation schedule", R. Alter, BBN, 21. Juni 1972
- RFC 363 "ARPA Network Mailing Lists", NIC, August 1972
- RFC 371 "Demonstration at International Computer Communications Conference", Robert Kahn, BBN, 12 Juli 1972
- RFC 394 "Two Proposed Changes to the IMP-Host Protocol", John M. McQuillan, BBN, 27. September 1972
- RFC 402 "ARPA Network Mailing Lists", NIC, Oktober 1972
- RFC 407 " Remote Job Entry Protocol", Robert Bressler, MIT, Richard Guida, MIT, Alex McKenzie, BBN, 16. Oktober 1972
- RFC 580 "Note to protocol designers and implementers", John Postel, 25. Oktober 1973
- RFC 1000 "The Request for Comments Reference Guide", J. Reynolds, August 1987

Bis zum 31.03.1998 stellte INTERNIC, der Nachfolger vom NIC, ein umfassendes RFC Archiv zur Verfügung. Eine aktuelle Adresse ist www.isi.edu/rfc-editor/rfc.html, eine von John Postel gepflegte Homepage. Dort sind aktuelle RFCs abgelegt und Links auf andere RFC Server hinterlegt.

Ein Inhaltsverzeichnis der RFCs einer hunderter Reihe war im allgemeinen in der 99. RFC dieser Reihe verfügbar (z.B. RFC 2199, 1199). In RFC 1000 waren alle RFCs bis RFC 1000 aufgeführt und zusätzlich nach Kategorien unterteilt.

5.2 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1	Baran, 1964, "Volume V: History, Alternative Approaches, and Comparisons", Figure 4, Figure 5
Abb. 2	Roberts, 1988, Seite 146, Figure 1, "Early communication network design with IMPs at each node"
Abb. 3	Carr, 1970, Seite 590, Figure 1, "Initial network configuration"
Abb. 4	Salus, 1995, 103, Figure 10.3, "Message Protocol"
Abb. 5	Heart, 1970, Seite 558, Figure 7, "IMP configuration"
Abb. 6	Heart, 1970, Seite 555, Figure 5, "Format of packet on phone line"
Abb. 7	Ornstein, 1972, Seite 246, Figure 4, "A TIP in the Network"
Abb. 8	Ornstein, 1972, Seite 244, Figure 2, "ARPA Network, logical map, December 1972"
Abb. 10	McQuillan, 1977, Seite 272, Figure 14, "The ARPANET Routing Tables"
Abb. 13	Carr, 1970, Seite 591, Figure 2, "A typical socket"
Abb. 14	Carr, 1970, Seite 591, Figure 2, "A typical message from a 24-bit machine"
Abb. 15	RFC 107, Seite 4, "Typical Message"

5.3 Abkürzungsverzeichnis

ACM	Association for Computing Machinery
AFIPS	American Federation of Information Processing Societies
ARPA	Advanced Research Projects Agency
ARPANET	Advanced Research Projects Agency Computer Network
BBN	Bolt, Beranek, and Newman
DARPA	Defense Advanced Research Projects Agency
DEC	Digital Equipment Corporation
DEL	Decode-Encode Language
DoD	Department of Defense
DTP	Data Transfer Protocol
FJCC	Fall Joint Computer Conference
FTP	File Transfer Protocol
FTP	File Transfer Protocol
ICCC	International Computer Communications Conference
ICP	Initial Connection Protocol
IMP	Interface Message Processors
IPTO	Information Processing Techniques Office
LAN	Local Area Network

MIT	Massachusetts Institute of Technologie
MLC	Multi-Line Controller
NCC	Network Control Center
NCP	Network Control Program
NIC	Network Information Center
NMC	Network Measurement Center
NPL	National Physical Laboratory
NWG	Network Working Group
PI	Principal Investigators
RAND	Research And Development
RCS	Raytheon Company Sudbury
RFC	Request for Command
RFNM	Ready for Next Message
RFP	Request for Proposal
RFQ	Request for Quotation
RJE	Remote Job Entry
SAGE	Semi Automatic Ground Environment
SDC	System Development Corporation
SJCC	Sprint Joint Computer Conference
SRI	Stanford Research Institute
TIP	Terminal Interface Message Processors
UCLA	University of California at Los Angeles
UCSB	University of California at Santa Barbara