

**Autoren:** Gillies, James / Cailliau, Robert.

**Titel:** Die Geburt des Internet.

**Quelle:** Gillies, James / Cailliau, Robert: Die Wiege des Web. Die spannende Geschichte des WWW. Heidelberg. 2002. S. 11-47.

**Verlag:** dpunkt.verlag GmbH.

---

*James Gillies / Robert Cailliau*

## **Die Geburt des Internets**

Am 31. Januar 1958 beförderten die USA ihren ersten Satelliten, den Explorer I, ins All, ein Ereignis, an das sich nur noch wenige erinnern werden. Was die Aufmerksamkeit der Welt auf sich lenkte, geschah ein paar Monate früher, als der russische Sputnik I am 4. Oktober 1957 in die Erdumlaufbahn geschossen wurde. Dieses Ereignis änderte den Verlauf der amerikanischen Forschungsgeschichte. Präsident Eisenhower erklärte, dass die USA nie wieder von der UdSSR überrascht werden dürften und stimmte seine Verteidigungsforschung und Entwicklungsstrategie darauf ab, dass Amerika immer einen Schritt vorausbleiben würde. Eisenhower war Soldat, hatte aber mehr Vertrauen zu Wissenschaftlern als zum Militär, was das Management langfristiger Forschungs- und Entwicklungsprojekte anbelangte. Er ernannte einen wissenschaftlichen Präsidentenberater und umgab sich mit den besten Wissenschaftlern der Nation. Sogar sein Verteidigungsminister Neil McElroy hatte keinen militärischen Hintergrund. Er hatte sich bei Proctor & Gamble vom Vertriebsmann zum Firmenpräsidenten hochgearbeitet und dabei die Seifenoper als Mittel entdeckt, um die Produkte des Unternehmens zu verkaufen. McElroy glaubte vor allem daran, dass die relativ große Freiheit, die man in der Forschungs- und Entwicklungsabteilung bei Proctor & Gamble genoss, für den Erfolg des Unternehmens entscheidend war. Er wollte diesen Ansatz auf das Verteidigungsministerium übertragen und schlug die Schaffung einer zentralen Institution vor, die mit einem langfristigen Mandat für die Planung aller militärbezogenen Forschungs- und Entwicklungsbemühungen ausgestattet sein sollte. Das war eine Idee,

---

die den amerikanischen Militärbossen überhaupt nicht gefiel; Eisenhower aber fand sie gut. Am 7. Januar 1958 forderte der Präsident vor dem Kongress die Bereitstellung von Mitteln für das neue Amt, und der Kongress stimmte zu. Zwei Tage später informierte Eisenhower die Nation - fest auf die Probleme des Kalten Kriegs ausgerichtet -, dass »der Verteidigungsminister angesichts der Notwendigkeit einer zentralen Kontrolle für einige unserer modernsten Entwicklungsprojekte bereits beschlossen hat, sich bei der Raketenabwehr- und Satellitentechnologie ausschließlich auf eine Institution innerhalb des Verteidigungsministeriums zu konzentrieren«. Er fuhr fort und betonte seinen Glauben in die Wissenschaft, indem er eine »fünffache Steigerung der Mittel für die National Science Foundation zur Durchführung ihrer speziellen Aktivitäten bei der Unterstützung und Verbesserung wissenschaftlicher Ausbildung« empfahl.

Bald danach öffnete die neue, für Raketenabwehrwaffen und Satelliten zuständige Advanced Research Projects Agency (ARPA) ihre Türen. Es war ein Beginn voller Zuversicht, aber von kurzer Dauer, denn kaum hatte der erste Direktor der ARPA, Roy Johnson, seinen Mantel aufgehängt, übertrug Eisenhower das Weltraumprogramm der neu geschaffenen NASA. Zivile Weltraumprogramme, so glaubte er, sollten sich nicht unter militärischer Kontrolle befinden, nicht einmal in einer halb-unabhängigen Behörde wie der ARPA. Um die Sache für die ARPA noch zu verschlimmern, schuf Eisenhower außerdem die neue Position eines Director of Defense Research and Engineering, der sämtliche militärischen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten überwachen sollte, einschließlich jener, die gerade der ARPA übertragen worden waren. Die neue Behörde lief Gefahr, ohne Aufgabe zu bleiben. Damit hätte alles enden können, die Mitarbeiter der ARPA sahen den Wandel aber als Chance. Ohne die zwangsläufig kurzfristigen Ziele der Raketenforschung konnte die ARPA nun ihrem Namen gerecht werden und eine Behörde für wirklich fortschrittliche Grundlagenforschung mit einer gewissen Ausrichtung auf militärische Anwendungen werden. Es wurden Forschungsteams von Universitäten an Bord geholt, wobei die ARPA als zentrale Koordinationsstelle fungierte. Das war nun eine ARPA, mit der das mächtige militärische Establishment leben konnte, und die junge Behörde blühte in ihrem neuen Tätigkeitsfeld auf.

Bis 1962 war die Neuformierung der ARPA abgeschlossen. Die Behörde hatte geeignete Bereiche langfristiger Forschungen identifiziert und sich in mehrere getrennte

Dienststellen aufgeteilt, die jeweils für einen bestimmten Bereich zuständig waren. Die wichtigsten Programme hatten mit ballistischer Raketenabwehr und der Erkennung von Kernwaffenversuchen zu tun, es gab aber auch ein kleines Büro mit der Bezeichnung Information Processing Techniques Office (IPTO), dessen Budget kaum 10% des ARPA-Etats ausmachte und das von J. C. R. Licklider geleitet wurde. Licklider, den alle »Lick« nannten, hatte man von der kleinen, in Cambridge, Massachusetts, angesiedelten Forschungs- und Entwicklungsfirma Bolt, Beranek & Newman (BBN) abgeworben, wo er Vizepräsident gewesen war. Licklider war ausgebildeter Psychologe, dessen Interesse sich im Laufe seiner Karriere in Harvard und am Massachusetts Institute of Technology (MIT) stetig hin in Richtung Mensch-Computer-Interaktion entwickelte. Damals in den sechziger Jahren bedeutete das etwas völlig anderes als heute. Einige Computer waren so groß, dass sie interne Korridore für Wartungstechniker hatten. Um mit ihnen zu kommunizieren, setzte man sich nicht vor einen Bildschirm und tippte auf einer Tastatur. Man musste stattdessen alle seine Instruktionen mit Hilfe einer tischgroßen Maschine vorbereiten und als Löcher in Karten stanzen; das war ein Code, den der Computer verstehen konnte. Dann gab man seine Karten einem Operator, der den Computer damit fütterte, und später kam man zurück, um die Ergebnisse abzuholen.

Vor seinem Ausscheiden bei BBN hatte Licklider 1962 auf der Spring Joint Computer Conference of the American Federation of Information Processing Societies in San Francisco gemeinsam mit seinem Kollegen Weiden Clark eine richtungsweisende Arbeit präsentiert. Darin präzisierten die beiden Verfasser das zentrale Problem bei Mensch-Computer-Interaktionen. Die damals üblichen Rechenzentren nach dem Muster einer chemischen Reinigung - Annahme um neun, Ausgabe um fünf - seien für kreatives Mensch-Computer-Denken unangemessen, sagten sie, und fuhren mit der Beschreibung der laufenden Entwicklungsarbeiten bei BBN fort, die dieser Misere Abhilfe schaffen sollten. An der Wurzel des Problems befanden sich die sehr teuren Großcomputer und der dadurch begründete hohe Druck, sie voll auszulasten. »Da Menschen langsam denken«, erklärten Licklider und Clark, »verhindert dieser Druck intensivere Online-Interaktion zwischen Mensch und Großrechner.« Es folgte die Identifizierung der wichtigsten Begabungen von Menschen und Computern - Entscheidungsfindung und Analyse auf der einen Seite, schnelle und genaue Berechnung, Datenspeicherung und Daten-Retrieval auf der anderen. Ihr Fazit war: Menschen sollten das Denken und

Computer die Knochenarbeit übernehmen. Ihre Antwort auf das Kostenproblem war »Timesharing«, d.h., mehrere Leute sollten den gleichen Computer gleichzeitig benutzen können. Während sich ein Nutzer durch einen langsamen Denkprozess arbeitete, würde der Computer auf diese Weise nicht untätig bleiben. Er würde seine enorme Rechenleistung dem Problem eines anderen widmen. Licklider hatte erstmals 1959 auf der von der UNESCO geförderten Internationalen Konferenz über Informationsverarbeitung in Paris von einem »jungen Briten« etwas über Timesharing gehört. Der »junge Brite« war wahrscheinlich Christopher Strachey gewesen - später der erste Professor für wissenschaftliches Rechnen an der Oxford-Universität. Ob Strachey wirklich dieses Konzept erfand, lässt sich allerdings nicht nachvollziehen. Wie später bei der Paketvermittlung war es eine Idee, deren Zeit einfach reif war.

Licklider und Clark legten in ihrem Konferenzbeitrag, in welchem sie verschiedene Projekte von BBN auf dem Gebiet der Mensch-Computer-Interaktion beschrieben, beachtenswerte Voraussicht an den Tag. Eines dieser Projekte war computergestütztes Lernen, bei dem die direkte Interaktion mit dem Lerncomputer entscheidend war, weil »effektive Lehrer-Schüler-Beziehungen den fast fortwährenden Austausch von Informationen umfasst und alles, was die Kommunikation stört, sich nachteilig auf die Effektivität auswirkt«. Im Rahmen eines Auftrags für die US Air Force entwickelte BBN Programme für das interaktive Erlernen von Fremdsprachen. Entwurf und technische Zeichnung waren Themen eines weiteren BBN-Projekts, das die moderne, weit verbreitete Benutzung von CAD-Techniken (Computer Aided Design) vorwegnahm.

Ein dritter Aspekt der BBN-Projekte betraf die Visualisierung der Vorgänge beim Ablauf von Computerprogrammen. »Die Unsichtbarkeit der Vorgänge in Computerprogrammen erschwerte uns ihre Entwicklung mit dem gleichen direkten Verständnis, das die meisten von uns über vertraute Mechanismen haben, deren bewegliche Teile wir sehen und berühren können«, erklärten Licklider und Clark. Dieses Projekt verriet Lickliders Herkunft aus der Psychologie, wo Introspektion - die Beobachtung der eigenen seelischen Vorgänge zur Problemlösung - eine frühe Diagnosetechnik war. Bei Menschen hat Introspektion ihre Grenzen. Nicht alle Prozesse des Gehirns sind zugänglich, noch können sie beschrieben werden. Die Aussagen eines Subjekts sind nicht immer zuverlässig, und der Prüfungsprozess selbst kann die zu studierenden Prozesse beeinträchtigen. Licklider

und Clark erkannten, dass diese Unzulänglichkeiten bei Computern zum Positiven umgekehrt werden können. Obwohl es sicherlich zutraf, dass die Anforderung an einen Computer, seine eigenen internen Prozesse darzustellen, sich auf seine eigentliche Arbeit störend auswirkte, so würde sich diese Störung aber nur auf den Verbrauch von Speicher und Zeit beziehen, und beides stand reichlich zur Verfügung. Sie schlussfolgerten, »dass es interessant sein könnte, mit Programmen zu experimentieren, die die verschiedenen Aspekte der internen Abläufe eines Computers darstellten«. Damit wurden moderne Fehlerbehandlungstechniken (Debugging) vorweggenommen.

Im Lauf der Zeit wurde alles, was Licklider und Clark in ihrer Veröffentlichung beschrieben hatten, Realität. Ihre scharfsinnigste Vorhersage aber war, dass »in zwanzig Jahren bereits im Kindergarten eine Art von Tastaturbenutzung unterrichtet werden wird, und dass Tastaturen in vierzig Jahren so universell wie Bleistifte sein werden«. Sie beschrieben auch, wie ihre Vision erreicht werden kann: »Man muss nur damit anfangen, auch wenn es nötig ist, zuerst Forschungssysteme zu bauen, die für eine breit angelegte Anwendung unwirtschaftlich sind.« Zum Glück für Computer und Netzwerke teilte die ARPA diese Ansicht und machte sich mit der Anstellung von Licklider entschlossen auf den Weg zur Vernetzung.

Als Licklider in Washington ankam, übernahm er die Command&Control-Abteilung der ARPA mit der Aufgabe, das Potenzial von Computern bei schnell wechselnden Schlachtfeldsituationen zu untersuchen. Das Militär erkannte die Leistungsfähigkeit von Computern, der Ansatz nach dem Muster »der chemischen Reinigung« war für sie aber eindeutig nicht schnell genug. Licklider sagte: »Wer kann schließlich eine Schlacht führen, wenn er mittendrin das Programm schreiben muss?« Rechenleistung ist für Militärbefehlshaber nutzlos, wenn sie Stunden auf die Ergebnisse warten müssen. Für den strategischen Kommandobereich war der direkte Zugang zum Computer entscheidend.

Timesharing schien die Antwort zu sein. Dies bedeutete, dass mehrere Leute Terminals auf ihren Schreibtischen haben konnten, die an denselben Computer angeschlossen waren. Sie hätten damit zwar noch nicht ihre eigenen Personalcomputer, aber das gleiche Gefühl. Vor allem aber konnten sie mit der Maschine direkt interagieren, statt einen Stapel Lochkarten an einen Operator weiterzugeben, was für Kommandoaufgaben besonders

wichtig war. Bei BBN hatte sich Licklider im Herzen der Timesharing-Welt befunden. Boston war der Ort, an dem das alles geschah, und BBN war die Firma, in der sich alles aus dem Bostoner Gebiet traf. »BBN war quasi eine hybride Version von Harvard und MIT in dem Sinn, dass die meisten Leute dort entweder zum momentanen oder früheren Lehrkörper von Harvard oder MIT gehörten. Außerdem verbrachten zahlreiche Studenten von beiden Institutionen Zeit bei BBN. Es war wie eine Art aufgemotzter Version des Zusammenschlusses beider Institutionen«, erinnerte sich der MIT-Mathematiker Bob Kahn, der später eine wichtige Rolle in der Entwicklung des Internets spielen sollte. »Es war wie eine besonders gute Sorte von Cognac im Forschungsbereich - hochdestilliert.«

Als eine seiner ersten Aktionen setzte sich Licklider hinter seinen neuen Schreibtisch bei der ARPA und stellte ein Team von Computerwissenschaftlern zusammen, die in der Lage waren, das Timesharing-Konzept in die Praxis umzusetzen. Timesharing war aber erst der Anfang. Für Licklider waren Computer zu viel mehr imstande, als einfach nur bewundernswerte Rechenmaschinen zu sein, egal, wie viele Leute gleichzeitig an ihnen arbeiten konnten. Die Serie von Projekten, an denen er bei BBN arbeitete, bezeugte dies. Als er sein Team »Intergalactic Computer Network« nannte, wurde klar, wohin seine Gedanken führten. In einer Notiz von 1963 an das Team beschrieb er das Problem der Computerkommunikation »im Kern als das gleiche, mit dem sich Science-Fiction-Autoren beschäftigen: Wie bringt man eine Kommunikation unter völlig unkorrelierten >intelligenten< Wesen zustande?« Er schloss mit einer Andeutung, dass man die Computervernetzung realisieren sollte. Später in seiner Notiz sagte er die Art von Netzwerkanwendungen voraus, die dreißig Jahre später entwickelt werden sollten und bei denen das Netzwerk oder die daran angeschlossenen Computer entscheiden, welcher Computer eine bestimmte Aufgabe übernehmen könnte.

Nur wenige blieben lange bei der ARPA und Licklider war da keine Ausnahme. Er verließ die Behörde 1964, hatte aber in der kurzen Zeit, die er dort war, den Schwerpunkt von militärorientierten Kommando- und Kontrollaufgaben hin zu Grundlagenforschung bei modernen Computertechniken verlagert. Das neue Türschild mit der Aufschrift »IPTO« (für Information Processing Techniques Office) auf der Tür des Büros, das er seinem Nachfolger Ivan Sutherland übergab, spiegelte diesen Wandel wider. Die Schaffung des IPTO war eine wichtige Verlagerung für die ARPA: Es entstand ein Paradies reiner

Forschung inmitten des Pentagons. Licklider hatte eine Reihe großer Aufträge vereinbart, um das IPTO bekannt zu machen. Er hatte zwar noch kein Computernetzwerk eingerichtet, die Dinge aber in diese Richtung bewegt. Er schuf einen Gemeinschaftsgeist zwischen der ARPA und ihren Auftragnehmern und teilte seine Vision mit denen, die ihm folgten. Sutherland »war eine brillante Person, von den gleichen Ideen überzeugt wie ich, und er wirkte meiner Ansicht nach noch überzeugender«, erklärte Licklider in der ihm eigenen Bescheidenheit.

Ein weiterer überzeugter Anhänger war Bob Taylor, der von Sutherland 1965 angestellt wurde und ihn später als dritter Direktor des IPTO ablöste. Taylors Verbundenheit zur ARPA reichte weit länger als bis 1965 zurück. Wie Licklider begann er seine Karriere als Psychologe und wechselte erst nach seinem Hochschulstudium zur Informatik. Als Licklider ihn also aufforderte, einem informellen Ausschuss für Regierungsprogramme zur Computerforschung beizutreten, stellten die beiden fest, dass sie viele Gemeinsamkeiten hatten. Sie diskutierten die Art, wie Computer funktionierten, und ersonnen gemeinsam den Kern einer Idee. Als Sutherland 1966 das IPTO verließ und Taylor seine Stelle übernahm, sah er eine Chance, diese Idee in die Praxis umzusetzen.

In Taylors neuem Büro befanden sich drei Computerterminals, die jeweils an einen anderen Computer angeschlossen waren. So etwas wie ein einzelnes Terminal, das mit allen dreien sprechen konnte, gab es damals nicht. Außerdem erbte Taylor ein Büro, das mehr und mehr Nachfragen für Finanzmittel erhielt, da jede Informatikfakultät den neuesten, leistungsstärksten Computer kaufen oder bauen wollte. Angesichts derart starker Duplizierung wurde klar, dass es billigere Möglichkeiten geben musste. Taylors Idee war, dass jede Abteilung ihren eigenen Computer haben sollte, alle die Computerressourcen aber gemeinsam nutzen sollten. Der Weg konnte nur sein, ein landesweites Computernetzwerk zu entwickeln. Taylor verlor keine Zeit, den ARPA-Direktor davon zu überzeugen, und im Februar hatte er einen zusätzlichen Etat in Millionenhöhe.

Geld aber war nicht alles. Taylor brauchte auch einen Manager und wusste genau, wen er wollte. Larry Roberts war ein junger Computerwissenschaftler von den Lincoln Labs des MIT, der dem IPTO Anfang 1966 aufgefallen war. Das IPTO hatte ein Projekt für die Verbindung des TX-2-Computers am MIT mit einer anderen Maschine bei der System

Development Corporation (SDC) in Kalifornien über eine Telefonleitung bezuschusst. Der TX-2 war der Nachfolger des ersten mit Transistoren bestückten digitalen Computers der Welt (TX-0, wobei »TX« aus »Transistorized eXperimental« hergeleitet wurde). Er war von Ken Olsen, der später die Digital Equipment Corporation (DEC) gründete, am MIT entwickelt worden. Das Experiment zur Verbindung dieses Rechners mit dem Q-32-Computer der SDC wurde von einem Unternehmer vorgeschlagen, der eine kleine Computerfirma in Kalifornien hatte. Der ARPA gefiel die Idee, sie zog es aber vor, das Projekt einem ihrer vertrauenswürdigeren Partner, den Lincoln Labs, mit Roberts als Projektleiter anzuvertrauen.

Zum Leidwesen von Taylor war Roberts absolut glücklich mit seinem aktuellen Computerjob; er wollte ihn keineswegs gegen einen Managerposten in Washington eintauschen. Taylor war jedoch ausdauernd und als er herausfand, dass über die Hälfte der Mittel für die Lincoln Labs von der ARPA kamen, hatte er den nötigen Aufhänger, um Roberts von Boston wegzulocken. »Ich habe Larry Roberts mit Berühmtheit erpresst«, soll er später gesagt haben. Bis zum Ende des Jahres hatte Roberts einen Schreibtisch im Pentagon und zeichnete Pläne für das Computernetzwerk der ARPA, das später in ARPANET abgekürzt wurde.

Eines schönen Tages Anfang 1967 organisierte Bob Taylor eine Besprechung mit den Forschungsleitern der ARPA. Das Netzwerkprojekt stand an oberster Stelle der Tagesordnung und Larry Roberts war der wichtigste Sprecher. Was er präsentierte, war eine Erweiterung des bereits von ihm durchgeführten Experiments. Er schlug die Verbindung mehrerer Computer überall im Land über das vorhandene Telefonnetz vor. Selbstverständlich würde es Probleme geben, weil jeder Computer ein anderes Betriebssystem hatte. Die Computer müssten also für jeden Computer, mit dem sie kommunizieren wollten, eine neue Sprache lernen.

An der Besprechung nahm auch der ehemalige Kollege von Roberts an den Lincoln Labs Wesley Clark teil. Vernetzung war eigentlich nicht seine Sache; deshalb war er still und hörte nur zu. Gerade als die Besprechung dem Ende zuzuging, wurde ihm klar, dass es eine bessere Art geben musste, um ein Netzwerk zu bauen. Es war ein langer Tag und Clark wollte möglichst rasch nach Hause gehen. Statt die Besprechung also noch in die Länge zu ziehen, gab er Roberts eine Notiz. »Ich weiß, wie man das Problem lösen kann«, stand



darauf. Clark hatte an dem Bau des TX-2 mitgeholfen, den Roberts in seinem ursprünglichen Netzwerkexperiment benutzte. Etwa ein Jahr davor hatte er die gleiche Maschine verwendet, um Licklider digitale Computerprogrammierung zu demonstrieren. Er war also qualifiziert, um Kommentare abzugeben. Roberts war neugierig geworden und während einer Taxifahrt zum Flughafen erklärte Clark, wie er sich das Netzwerk vorstellte. Durch Verwendung kleiner Computer für die Weiterleitung von Daten müsste jeder der großen am Netzwerk angeschlossenen Computer nur eine neue Sprache lernen, nämlich diejenige, die nötig war, um mit den kleinen Routing-Computern zu kommunizieren. Wesley Clark entwickelte die Idee des »Subnetzes« und Roberts arbeitete sie schnell in die Pläne ein, die er für das ARPANET entwarf.

Im Oktober des gleichen Jahres veranstaltete die älteste Computergesellschaft der Welt, die Association for Computing Machinery (ACM) in Gatlinburg, Tennessee, eines der wichtigen Computer-Meetings. Hierfür brachte Roberts die Ideen von Clark zu Papier. Aus den kleinen Routing-Computern waren Interface Message Processors (IMPs) geworden und die Architektur des ARPANET war nahezu komplett. Eine wichtige Komponente fehlte allerdings noch. Roberts erfuhr auf der Konferenz von dem britischen Computerwissenschaftler Roger Scantlebury, der mit Donald Davies selbst an einem Netzwerkprojekt arbeitete, welche das war.

## **Die Erfindung der Paketvermittlung**

Eines Tages im Sommer 1941 sah Donald Davies auf dem Weg zur Schule, dass alle seine Klassenkameraden in die entgegengesetzte Richtung rannten. »Wir haben einen halben Tag frei«, riefen sie, »wegen dir!« Davies waren soeben nicht weniger als vier Universitätsstipendien verliehen worden. An seiner Portsmouth-Schule, die wegen des Krieges nach Brockenhurst in New Forest ausgesiedelt worden war, war das ein derart seltenes Ereignis, dass es schulfrei gab. Davies nahm sein Stipendium für das Imperial College in London an, wo er nach zwei Jahren mit einer Eins in Physik abschloss, um danach dem »Tube Alloys«-Projekt von Rudolf Pierl in Birmingham zugeteilt zu werden, einem Deckmäntelchen für Atombombenforschung. »Ich verbrachte die meiste Zeit mit der Überwachung von Gruppen von >Computers<«, erinnerte er sich, was zu jener Zeit

Menschen und keine Maschinen waren. »Von damals ist mir die Notwendigkeit schneller und effizienter Berechnungen in Fleisch und Blut übergegangen.«

Nach dem Krieg noch mit dem Geld eines Stipendienjahrs in der Tasche kehrte er an das Imperial zurück, um sich einen weiteren akademischen Grad - diesmal in Mathematik - zu holen. Es wurde ihm der Lubbock Memorial Prize der Universität von London als bester Mathematikstudent des Jahres verliehen. »Es handelte sich eigentlich um einen Grad in angewandter Mathematik und weil sich derart viel zwischen den beiden Fächern überlappte, konnte ich das Jahr im Eiltempo absolvieren«, erzählte er mit seiner typischen Bescheidenheit.

Während seines letzten Jahres am Imperial geschahen zwei Dinge, die Davies in Richtung Computer lenkten. Das erste war eine anregende Vorlesung des amerikanischen Kybernetikers Norbert Wiener und das zweite ein Vortrag von John Reginald Womersley, der eine Mathematikabteilung am National Physical Laboratory (NPL) einrichtete. Womersley hatte gerade Alan Turing frisch von seinen Code-brechenden Heldentaten aus den Kriegstagen angeheuert und sein Vortrag behandelte den digitalen Computer, den Turing später am NPL baute. »Ich rannte am Ende der Vorlesung hinunter auf die Dozentenbühne und fragte: >Sagen Sie, wie kann ich da mitmachen?<« Davies wurde ein Antragsformular ausgehändigt und gegen Ende 1947 arbeitete er an dem Projekt Automatic Calculating Engine (ACE) von Turing. Ein kleinerer Prototyp, der Pilot-ACE, war 1950 lauffähig, und es war »die wahrscheinlich weltweit schnellste Maschine aufgrund der Art, in der Turing den Zugriff auf den »zyklischen Quecksilber-Laufzeitspeicher« (rotating mercury delay line memory) entworfen hatte. Dadurch konnte man die benötigten Daten tatsächlich zur rechten Zeit bekommen, wenn man seine Programmierung schlaue genug anstellte«. Der komplette ACE sollte aber noch lange auf sich warten lassen, und bis zu seiner Fertigstellung im Jahr 1958 war er fast überholt. Die Erfindung der Ferritspeicher, in denen die einzelnen Bits auf kleinsten Ringen der magnetisierbaren Eisenverbindung gespeichert wurden, hatte das Laufzeitspeichersystem des ACE in einen industriellen Dinosaurier verwandelt. Die Programmierung eines Computers bedeutete damals mehr als nur das Schreiben logischer Befehlsfolgen. Man musste auch überlegen, wann die vom Programm benötigten Informationen im Speicher verfügbar sein mussten. Irrte man sich in der Zeitplanung, lief das Programm langsamer, während es auf die relevanten

Informationen wartete. Durch den sofort möglichen Zugriff vereinfachte der Ferritspeicher die Programmierung ganz erheblich.

Davies benutzte den Pilot-ACE, um den Verkehrsfluss auf Straßen zu studieren. Dabei modellierte er die Bewegung von Autos auf Kreuzungen, die mit Verkehrsampeln geregelt wurden. Später entwarf er Warnsysteme für Kohleminen, um Minenarbeiter in einer bestimmten Reihenfolge zu warnen, die sicherstellte, dass sich auf ihrem Weg durch den Fluchtweg keine Engpässe bildeten. Davies verdiente sich bald einen Ruf als hoch begabter Erfinder. Er arbeitete an Projekten, die seiner Zeit weit voraus waren, z.B. einer Computerübersetzung und Handschrifterkennung. Er reiste regelmäßig in die USA, wo er 1954/1955 ein Jahr mit einem Commonwealth-Fellowship verbrachte. Dadurch war er immer in Kontakt mit Entwicklungen auf der anderen Seite des Atlantiks. Inzwischen kehrte Licklider zum MIT zurück und leitete das von der ARPA finanzierte MAC-Projekt, das er 1962 einen Monat nach seinem Eintritt bei der ARPA begann. Je nachdem, auf welchem Stockwerk im MIT-Gebäude am 545 Tech Square man sich zufällig befand, stand MAC für »Multiple Access Computers« oder »Mensch und Computer« (man and computer). So oder so befand sich Lickliders Stempel darauf. Das MAC-Projekt war der Bereich, in dem die beste Timesharing-Arbeit geleistet und ein Timesharing-System mit der Bezeichnung »Multiplexed Information and Computing Service« (Multics) entwickelt wurde.

Im Jahr 1965 organisierte Davies nach seiner Rückkehr von einer US-Studententour ein Treffen am NPL, um die neue Timesharing-Doktrin in Großbritannien zu verbreiten. Davies' Meeting fand am 2. und 3. November statt, wobei die Mitglieder des MAC-Projektteams die Mehrheit der eingeladenen Amerikaner bildeten, darunter auch Larry Roberts. »Wir sprachen über vieles«, berichtet Davies, »insbesondere über Probleme mit der Programmierung sehr großer Systeme.« Zu den diskutierten Themen zählte auch Computerkommunikation, allerdings weit unten auf der Tagesordnung. Dennoch, so erinnert sich Davies, »hatte ich allmählich das Gefühl, dass an der Art, wie wir uns die Kommunikation zwischen Computern untereinander vorstellten, irgendetwas nicht stimmte.«

Alle Reden über Vernetzung gründeten bis zu diesem Zeitpunkt auf dem Telefonnetz, und zwar aus dem einfachen Grund, weil es flächendeckend vorhanden war. Für Davies war

die Leitungsvermittlung aber nicht die Lösung für die Kommunikation zwischen Computern, in der sich kurze Perioden schnellen Informationsaustausches mit langen Stillephasen abwechseln. Er begann allmählich, über die Art von Nachrichtenübermittlung nachzudenken, wie sie für das Versenden von Telegrammen angewandt wurde. Sie schien die bessere Lösung zu sein, denn es musste keine direkte Verbindung aufgebaut werden. Eine Nachricht wurde einfach versendet und der Empfänger konnte antworten, wann es ihm passte. Diese Nachrichtenübermittlung Anfang der sechziger Jahre hatte allerdings den Nachteil, dass sie alles andere als schnell war. Sie war ein direkter Abkömmling von Leuchtfeuern auf Hügeln, indianischen Rauchzeichen und Signalmasten. Nachrichten wurden gemäß der Speichervermittlungsmethode (Store-and-Forward) von einer Stelle zur nächsten übertragen, bis sie ihr Ziel erreichten. Nachteilig war daran, dass der »Speicher«-Teil oft länger als der »Übermittlungs«-Teil dauerte. »Wenn man eine Nachricht in einen Nachrichtenvermittler eingab, konnte es Stunden dauern, bis sie wieder zum Vorschein kam«, erklärt Davies. »Man hatte einen Papierstreifen mit der Nachricht darauf, führte ihn durch ein Lesegerät, und die Nachricht wurde über eine Telefonleitung zu einem Stanzer am anderen Ende geschickt«. Ankommende Streifen wurden von den Bediensteten des Telegrafenamts abgerissen, an Haken aufgehängt und nach Ziel sortiert, bevor sie wieder in ein anderes Lesegerät gespeist wurden, um sie zur nächsten Relaisstation zu senden, bis sie am Bestimmungsort ankamen.

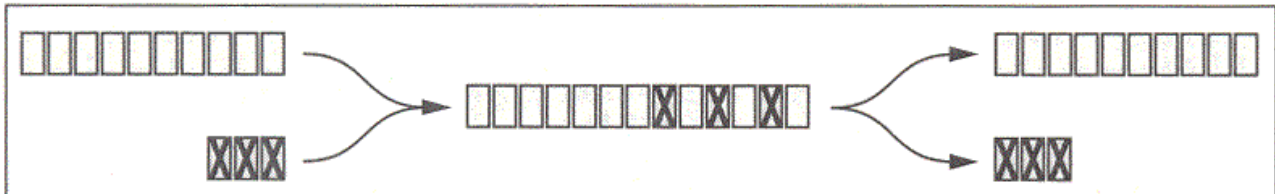
Während Donald Davies über diese Form der Nachrichtenübermittlung für Computerkommunikation nachdachte, wurden die abgerissenen Papierstreifen und Telegrafenediensteten durch automatische Systeme abgelöst, die allerdings für genau das Gleiche konstruiert wurden, was zuvor die Bediensteten taten. Alle Unzulänglichkeiten menschlicher Systeme wurden also in die neuen automatischen Nachrichtenvermittler übernommen. Nachrichten wurden immer als Ganzes gesendet. Das bedeutete beispielsweise, wenn man eine ganz kurze Nachricht mit dem Wortlaut »Treffen um sechs im George & Dragon« aufgab, kurz nachdem ein anderer ein großes Epos aufgegeben hatte, dann musste die Nachricht warten, bis dieses Werk vollständig übertragen war, und der Freund würde wahrscheinlich um sechs am nächsten Tag am vereinbarten Treffpunkt auftauchen. Nachdem eine Nachricht einen Vermittler erreichte, war dieser dafür zuständig, sie nicht zu verlieren, was ein weiterer Nachteil war. Ging dennoch eine Nachricht verloren, bestand keine Möglichkeit, dies zu erkennen. Um es in der heutigen

Sprache der Computerkommunikation zu sagen: Es gab kein Ende-zu-Ende- bzw. Host-zu-Host-Protokoll; das empfangende Ende wusste nicht, was es empfangen soll, und konnte sich daher nicht beschweren, wenn es nicht ankam.

»Ich wusste, dass Nachrichtenvermittlung praktisch Stunden dauerte und wahrscheinlich auf Minuten gekürzt werden konnte, glaubte aber nicht, dass dies bald gelingen würde«, berichtet Davies später. Dann führte er aber eine einfache Berechnung durch, um zu prüfen, wie lange es dauert, um eine kurze Nachricht über die schnellsten damals verfügbaren Leitungen zu senden, und kam zu einem überraschenden Ergebnis. Für Nachrichten im Umfang einer getippten Zeile verweilte die Nachricht durchschnittlich nur zwei Millisekunden im Vermittler. »Es ist eigentlich ganz einfach: Sie senden die Nachricht nicht ganz, sondern in kleinen Stücken, so dass Sie das Verzögerungsproblem vermeiden«, erklärt Davies. Wenn das Netzwerk in einer Sättigung von bis zu 80% lief, so berechnete er weiter, gäbe es nicht mehr als zwei Pakete, die in einer Schlange in einem der Vermittler zu irgendeinem Zeitpunkt warteten. »Sie können sich also vorstellen, dass ein Netzwerk in bescheidener Größe eine Nachricht in 10 Millisekunden übertragen kann, was sogar weit über dem liegt, was wir für notwendig erachten«, berichtet er. Davies berechnete, dass 100 Millisekunden ausreichend wären, damit man keine Verzögerung bemerken würde. Bei einer Sättigung von über 80% sah Davies allerdings Probleme, weil die von ihm berechneten Warteschlangenlängen unendlich wurden. Mehrere Jahre später, als NPL ein neues europaweites Netzwerk demonstrierte, sollten ihn diese unendlichen Warteschlangen kurzzeitig wieder verfolgen.

Im Prinzip mischte Davies die Ideen der Nachrichtenvermittlung mit denen des Computer-Timesharing. Timesharing funktioniert durch gleichmäßige Zuweisung von Verarbeitungszeit im Rundumverfahren (Round-Robin) für alle Aufgaben, die der Computer abarbeitet, so dass ein umfangreiches Programm die Ausführung eines kurzen nicht ungebührlich verzögert. Paketvermittlung bewirkt das Gleiche. Wenn die Nachricht »George & Dragon« am Vermittler gleichzeitig mit dem epischen Werk ankäme, würden Pakete der beiden Nachrichten abwechselnd geschickt werden, so dass die kurze Nachricht nicht unzumutbar lange warten müsste. Am 10. November brachte Davies am NPL eine Notiz in Umlauf, in der er seinen Datendienst der »kurzen Nachricht« beschrieb

und voraussagte, dass er schon bald den Telegrafendienst überholen könnte, sofern man ihn implementieren würde.



*Paketvermittlung bedeutet, dass eine kurze Nachricht nicht unzumutbar durch eine längere verzögert wird.*

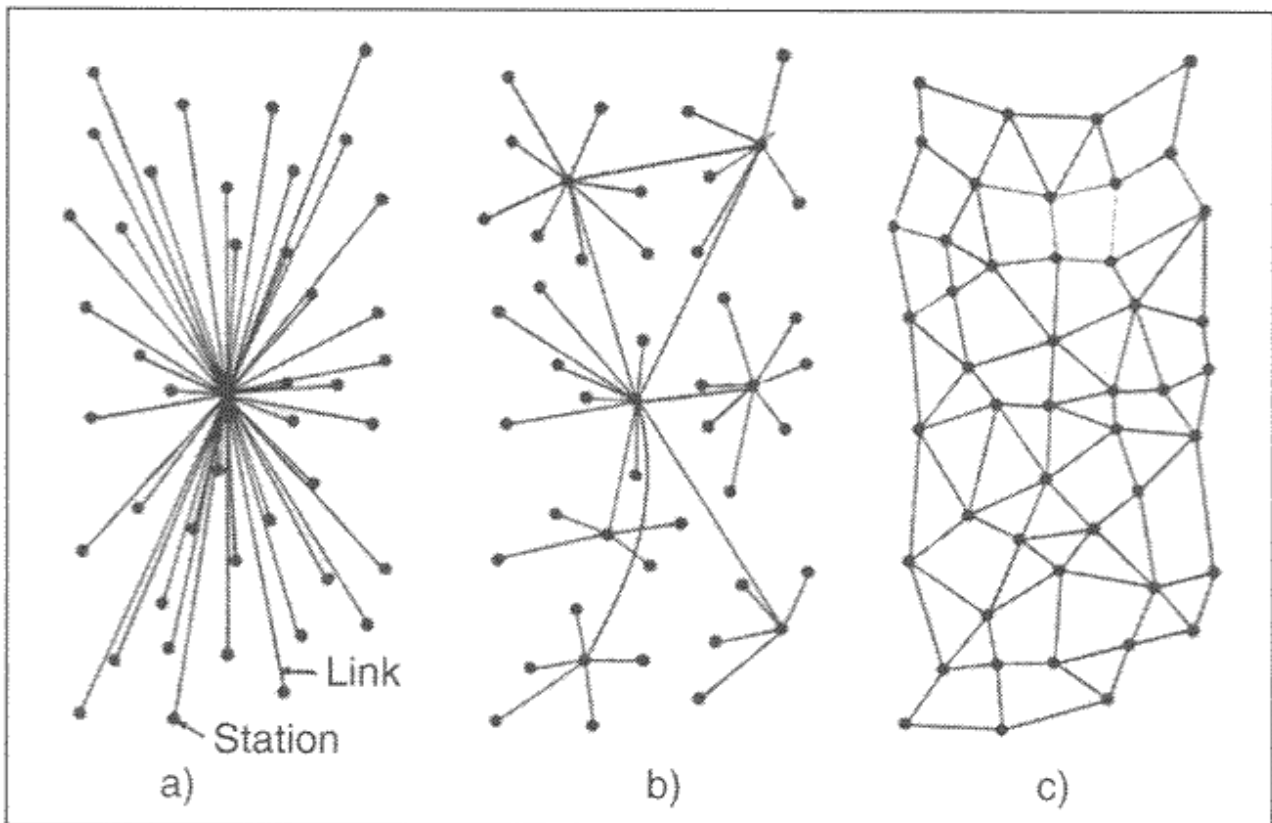
Während der nächsten Monate verfeinerte Davies seine Ideen. Nach Beratung mit NPL-Linguisten wurden aus seinen kurzen Nachrichten »Pakete«, weil das ein Wort war, das sich leicht in viele Sprachen übersetzen ließ. Das Konzept der Paketvermittlung war geboren. Davies arbeitete auch eine Möglichkeit aus, um das Problem mit dem Ende-zu-Ende-Protokoll zu vermeiden. Jedes Paket sollte Informationen über Sender, Ziel und Anzahl der Pakete, aus denen sich die ganze Nachricht zusammensetzte, enthalten. Im März 1966 hielt Davies seine neue Idee für reif genug, um sie einem größeren Publikum zu präsentieren, und er hielt eine Vorlesung am NPL. Über 100 Leute kamen, darunter mehrere von der Postbehörde und ein gewisser Arthur Llewellyn vom Verteidigungsministerium.

Llewellyn nahm Davies nach der Vorlesung zur Seite und sagte ihm, dass ein anderer bereits vor ihm diese Idee hatte. Paul Baran hatte 1964 eine Arbeit veröffentlicht, in der er mehr oder weniger die gleichen Grundlagen beschrieb, die Davies gerade diskutierte. Baran war ein Elektroingenieur, der 1959 eine Stelle bei der Research & Development (RAND) Corporation mit Sitz im kalifornischen Santa Monica antrat. RAND hatte den Ruf, eine reine Brutstätte für Ideen zu sein, so dass der Witz kursierte, demzufolge das »N« für »No« stand, was »Research And No Development« bzw. so etwas wie »viel Forschung und keine Entwicklung« ergab.

Es war kein Zufall, dass der Mann aus dem Verteidigungsministerium über Barans Arbeit Bescheid wusste, während Davies keine Ahnung davon hatte. Baran beschäftigte sich damit, wie man eine instabile Position zweier neurotischer Atommächte, die sich in einem

eskalierenden Rüstungswettlauf befanden, abwenden könnte. Mit einem verwundbaren Kommunikationssystem bestand seiner Meinung nach ein gefährliches Risiko für beide Parteien, die Aktionen der anderen falsch zu interpretieren und zuerst abzufeuern. »Wenn die strategischen Waffenkommando- und Kontrollsysteme überlebensfähiger wären«, erklärte er, »dann könnte die Vergeltungsschlagkraft des Landes einem Angriff besser standhalten und dennoch funktionieren; dies wäre eine stabilere Position.« Barans Arbeit mag aus einem militärischen Ziel heraus entstanden sein, ihr Ziel aber war eine sicherere Welt für alle. »Wir entschieden uns nicht, diese Arbeit geheim zu halten und auch nicht, sie zu patentieren«, betonte er Jahre später. »Die USA wären nicht nur sicherer mit einem überlebensfähigen Kommando und Kontrollsystem; sie wären sogar auch dann sicherer, wenn die UdSSR ebenfalls ein überlebensfähiges Kommando- und Kontrollsystem hätte!«

Das Telefonnetz mit seinen zentralen Vermittlern war zweifellos verwundbar. Nötig war also ein Netzwerk, bei dem Nachrichten - insbesondere Sprachnachrichten - auch dann ihr Ziel erreichen konnten, wenn große Teile zerstört wären, so dass Militärbefehlshaber weiterhin die Kontrolle behalten könnten. Baran stellte sich ein Netzwerk vor, bei dem jeder Knoten mit mehreren seiner Nachbarn verbunden wird. Er berechnete, wie viele Verbindungen ein Knoten brauchte, um eine angemessene Chance zu bieten, nach einem Angriff in Kontakt zu bleiben. Er fand heraus, dass die Anzahl überraschend gering war. »Die erste interessante Sache, die ich in einer sehr frühen Phase Anfang 1960 herausfand, war die, dass nur etwa drei oder vier Mal so viele Verbindungen wie das erforderliche Minimum nötig sind, um alle Knoten zu verbinden und eine extrem robuste Struktur aufzubauen«, erklärte er. »Das heißt, jeder Knoten, der den physischen Angriff überlebte, wäre fast immer in der Lage, mit der größten Gruppe der anderen überlebenden Knoten zu kommunizieren.«

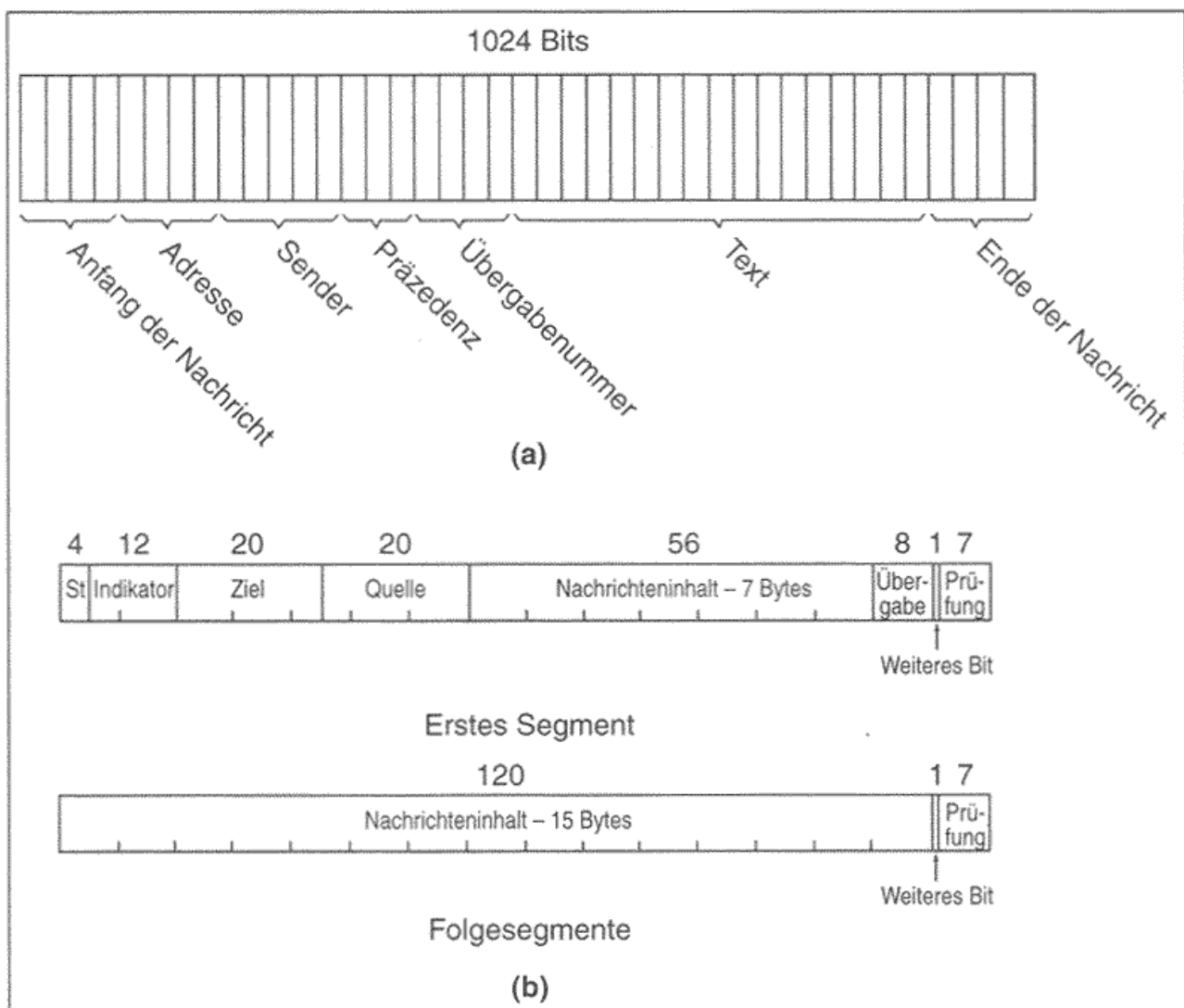


a) Die einfachste Netzwerkart hat eine Sternkonfiguration und ist deutlich verwundbar durch Angriffe. (c) Das andere Extrem ist das vollständig verteilte Netzwerk von Paul Baran, bei dem jeder Knoten mit mehreren anderen verbunden ist. (b) In der Praxis sind Netzwerke eine Kombination der beiden. (Quelle: Paul Baran, »On Distributed Communications Networks«, IEEE Transactions on Communications Systems, März 1964.)

Nachdem Baran herausgefunden hatte, dass ein überlebensfähiges Netzwerk relativ leicht aufgebaut werden könnte, beschäftigte er sich damit, wie Nachrichten in diesem Netzwerk am besten versendet werden sollten. Er kam zu der gleichen Schlussfolgerung wie Donald Davies, nämlich dass Nachrichten in »Nachrichtenblöcke mit einem standardisierten Format« aufgeteilt werden sollten, und er wählte sogar die gleiche Größe für seine Blöcke. Baran erfand auch, was er die »Heiße-Kartoffel-Methode« für das Routing der Pakete nannte. Jeder Router hatte eine Suchtabelle, in der die besten Routen zu einem beliebigen Ziel im Netzwerk standen. War die primäre Route besetzt oder zerstört worden, konnte der Router das Paket über die zweitbeste senden, wobei er sich dessen aber so schnell wie möglich entledigen wollte, eben wie man eine heiße Kartoffel fallen lässt.



Davies war schockiert, als er herausfand, dass ein anderer die Paketvermittlung vor ihm entdeckt hatte, beruhigte sich aber angesichts der Tatsache, dass Baran zu den gleichen Erkenntnissen gelangt war. Alle nachfolgenden NPL-Arbeiten über das Thema verwiesen auf Baran. Und später, als die beiden Männer sich persönlich kennen lernten, gratulierte Davies Baran für seine Arbeit mit dem Kommentar: »Gut, Sie sind vielleicht als Erster darauf gekommen, aber ich habe wenigstens den Namen erfunden.« Paul Baran stimmte dem zu: »Paketvermittlung ist ein viel besseres Wort - die Engländer sind darin sehr gut.«



*Trotz der unabhängigen Erfindung ähneln sich die Nachrichtenblöcke von Paul Baran (a) und die Pakete von Donald Davies (b) verblüffend. Sie haben die gleiche Länge und setzen sich aus den gleichen Komponenten zusammen. (Quelle: Paul Baran: »On Distributed Communications Networks«, IEEE Transactions on Communications Systems, März 1964 (a) und D. W Davies u.a.: »A Digital Communication Network for Computers Giving Rapid Response at Remote Terminals«, ACM Symposium on Operating System Principles, Oktober 1967 (b).)*

Die Ehre, der Erste gewesen zu sein, der das Konzept der Paketvermittlung erfand, blieb Davies zwar versagt, auch wenn er den Namen dafür gab. Dennoch konnte er sich bald seinen Platz in der Computergeschichte sichern. Fünf Monate nach der Präsentation seiner Arbeit über Paketvermittlung wurde er zum Leiter der Abteilung für Informatik am NPL ernannt. Das bedeutete, dass ihm nun die Ressourcen zur Verfügung standen, um ein paketvermitteltes Netzwerk aufzubauen. Seine Antrittsrede wurde mit gemischten Reaktionen aufgenommen. Deshalb dachte er, dass die Leute am besten durch den Aufbau eines Netzwerks von dem Wert seiner Idee überzeugt werden könnten, um ihnen zu zeigen, wie gut die Idee war. Als Erstes in seiner neuen Stelle ernannte er Derek Barber zum Leiter einer Forschungsgruppe für Datenkommunikation. Barber hatte an einer Standardschnittstelle für den Anschluss von Geräten wie Terminals und Druckern an Computer gearbeitet. Zu Barbers Team, das sich sofort an die Arbeit machte, zählten er selbst sowie Roger Scantlebury, Keith Bartlett und Peter Wilkinson. Davies war zur gleichen Einsicht wie Wesley Clark gelangt, dass Computerkommunikation mit Hilfe eines kleinen, dedizierten Paketvermittlungscomputers realisiert werden sollte. Die Ausarbeitung der Anforderungen für diesen Computer war die erste Aufgabe der Gruppe. Sie setzte ihre Ideen in ein detailliertes Design für ein Netzwerk um, das den NPL-Standort umspannte; bis zum Ende des Jahres stand die Rohfassung der Anforderungen für den Paketvermittlungscomputer fest. 1967 berichtete Scantlebury darüber auf dem ACM-Meeting in Gatlinburg.

## **Gatlinburg**

Zu dieser Zeit wussten Bob Taylor und Larry Roberts in der ARPA nichts von der Arbeit von Baran und Davies, und das Meeting in Gatlinburg erwies sich als viel bedeutungsvoller, als die beiden sich vorstellen konnten. In der Sitzung über Computernetzwerke und -kommunikation gab es drei Präsentationen. Die erste war Larry Roberts Bericht über das ARPA-Projekt, in dem er den Plan beschrieb, die leistungsstärksten Computer der Nation zu verbinden. Ihm folgte ein Vortrag von Jack Dennis vom MIT über die Vorteile eines Mehrzweck-Datenkommunikationsnetzes.

Scantlebury berichtete anschließend in seinem NPL-Beitrag »mit Befriedigung über die in England vorgeschlagenen technischen Lösungen«.

Nach den Vorträgen vernahm Scantlebury überrascht, dass die ARPA-Leute nichts von Paul Barans Arbeit wussten und erstmals in seinem Vortrag von Paketvermittlung gehört hatten. »Es scheint, dass die Ideen in der NPL-Abhandlung momentan fortgeschrittener sind als jene in den USA«, bemerkte Scantlebury. Roberts aber griff eine gute Idee geradezu begierig auf. »Plötzlich erfuhr ich, wie Pakete weitergeleitet werden können«, sagte er später auf der Gatlinburg-Konferenz. Bald wurde Paul Baran als Berater von der ARPA angestellt und die Paketvermittlung wurde als Kommunikationsmechanismus für das ARPANET festgelegt. Einige Zeit später, als Donald Davies Larry Roberts besuchte, um sich über die Fortschritte an der ARPA zu erkundigen, bemerkte er eine Kopie seines NPL-Vortrags von 1965. »Sie lag ganz zerfetzt auf seinem Schreibtisch«, bemerkte er. »Sie war offensichtlich sehr abgegriffen und er quetschte mich über mehrere Aspekte darin aus.«

Im Jahr 1967 konnte die weltweite Computernetzwerkgemeinde zwar nicht mehr an den Fingern einer Hand abgezählt werden, war aber immer noch ziemlich klein. Fast jeder, der mit dem aufstrebenden Gebiet zu tun hatte, war in Gatlinburg, und bereits seit jener Zeit war es Teamarbeit, mit der das globale paketvermittelte Computernetzwerk aufgebaut wurde. Als Erstes musste man also die Welt von der Notwendigkeit eines solchen Netzwerks überzeugen. Ihre erste Gelegenheit, das NPL-Netzwerk der Welt vorzustellen, erhielten Donald Davies und sein Team auf dem Treffen der International Federation of Information Processing (IFIP) 1968 in Edinburgh. Eine ganze Sitzung wurde der Paketvermittlung gewidmet und zwei Drittel der Vorträge kamen vom NPL. Die Telekommunikationsindustrie reagierte jedoch skeptisch, um es milde auszudrücken. Nachrichtenvermittlung, so sagten die Telekommunikationsexperten, sei extrem komplex, so dass man sie am besten den Experten überlassen sollte. »Was sie nicht kapiert hatten«, so Davies, »war, dass wir das gar nicht vorhatten. Der Hauptgrund, warum ihre Nachrichtenvermittler so komplex waren, war gerade, dass sie versuchten, jedes einzelne Merkmal der von der menschlichen Vermittlern entlehnten Arbeitsweise zu simulieren, und sie verwickelten sich dabei in Widersprüche.«

Während dieser Zeit freundete sich Donald Davies mit einem anderen Netzwerkpionier an. Leonard Kleinrock war Professor an der University of California in Los Angeles (UCLA) und hatte bereits 1959 seine Aufmerksamkeit auf Fragen der Computervernetzung gerichtet, als er an seiner Dissertation am MIT arbeitete. »Seine Arbeit war höchst theoretisch, sehr clever und betraf die Lösung jeder Art von Verzögerungen, die in Netzwerken auftreten können«, sagt Davies. »Er tat das auf brillante Weise, schien dabei aber nicht von den realen Anwendungen von Netzwerken motiviert zu sein.« Obwohl es Baran und Davies waren, die unabhängig voneinander eine praktikable Lösung für die Paketvermittlung fanden, sollte sich Kleinrocks gewissenhafte Untersuchung von Datenflüssen und auftretenden Verzögerungen später als unschätzbar erweisen, vor allem im Hinblick auf den Widerstand des Establishments im Telekommunikationsbereich. »Paketvermittlung war in den sechziger Jahren neu und radikal«, erklärt Larry Roberts. »Bevor Millionenbeträge ausgegeben und mein Ruf aufs Spiel gesetzt wurde, musste ich wissen, dass es funktionieren würde. Ohne Kleinrocks Arbeiten über Netzwerke und die Warteschlangentheorie hätte ich nie einen solchen radikalen Schritt unternommen. Die ganze Kommunikationsgemeinde war überzeugt, dass es nicht funktionieren würde.«

Trotz der lauwarmen Aufnahme durch das Establishment der Telekommunikationsgemeinde schritten das ARPANET und das NPL-Netzwerk also voran. 1967 erteilte die ARPA Elmer Shapiro am Stanford Research Institute (SRI) den Auftrag, ein Konzept für das IMP (Interface Message Processor)-Netzwerk auszuarbeiten. Seine Studie diente im folgenden Jahr als Basis für die Ausschreibung der ARPA für den Bau der ersten vier IMPs - mit der Aussicht auf weitere, falls das Experiment erfolgreich sein würde. Die ersten vier Host-Standorte wurden ausgewählt, weil sie bereits Mitglieder der ARPA-Gemeinde waren: führende Computerforschungs- und -entwicklungseinrichtungen, bei denen man darauf vertrauen konnte, dass sie den nötigen Einsatz aufbringen würden, damit das Netzwerk ein Erfolg würde. Die ARPA war schließlich eine wichtige Geldquelle für sie, so dass sie guten Grund zur Kooperation hatten - auch wenn sie sich Sorgen machten, dass alles, was diese Vernetzung bringen würde, nur eine stärkere Belastung ihrer Computer sein würde.

Insgesamt forderten 140 Interessenten die Ausschreibungsunterlagen an und zwölf reichten schließlich Angebote ein. Die Großen der Computer- und

Telekommunikationsindustrie boten nicht mit. Den Zuschlag erhielt BBN, die Firma, von der Licklider zur ARPA gewechselt war. Das Siegerteam wurde von Frank Heart geleitet, der von den Lincoln Labs zu BBN gekommen war. Nach den engen Zeitvorgaben von Larry Roberts hatte BBN gerade acht Monate Zeit für die Realisierung. Kurz nach der Auftragserteilung erhielt BBN eine Nachricht von Massachusetts' Senator Edward Kennedy, der örtlichen Firmen zu wichtigen neuen Aufträgen zu gratulieren pflegte. »Das war ein höchst interessantes Telegramm«, erinnert sich Heart. »Es war vielleicht prophetischer, als ich ahnte.« Kennedy gratulierte der Firma zu dem Auftrag für den »Interfaith« Message Processor. Es ist nicht bekannt, ob Heart die angedeutete spirituelle Dimension bei der beginnenden Arbeit inspirierte oder ob er einfach amüsiert war.

Heart stellte ein handverlesenes Team von Experten zusammen, von denen viele mit ihm schon in den Lincoln Labs zusammengearbeitet hatten. Severo Ornstein war für die Hardware verantwortlich und erhielt durch Ben Barker Verstärkung. Bob Kahn war bereits eine Zeit lang an Vernetzung interessiert gewesen und hatte dies Larry Roberts sogar in einem Brief mitgeteilt, schon bevor das ARPA-Netzwerkprojekt begonnen hatte. Als BBN den Zuschlag für den IMP-Auftrag erhielt, arbeitete Kahn gerade an Problemen mit Fehlerquellen bei Telefonleitungen und brachte diese Expertise in das Team ein. Nachdem das ARPANET in Betrieb war, erwies sich dieser Bereich als extrem wichtig und BBN beherrschte ihn sehr gut.

»Wir riefen von Cambridge aus die Telefongesellschaft in Kalifornien an«, erzählt Frank Heart, »und sagten, >Meine Herren, Ihre Telefonleitung von der UCLA nach Utah wird bald zusammenbrechen<. Und sie antworteten: >Von wo rufen Sie denn an?<, und wir sagten: >Wir rufen Sie von Cambridge, Massachusetts, an<. Sie lachten entweder schallend oder hielten uns für totale Spinner.« Aber Heart und sein Team bei BBN lachten zuletzt, weil die Telefonleitung ständig zusammenbrach, genau wie sie es vorhergesagt hatten. Telefonleitungen sind seit dieser Zeit wesentlich zuverlässiger geworden.

Der Hobbyhöhlenforscher Will Crowther gesellte sich zusammen mit Bernie Cosell zu Dave Walden im Softwareteam. Crowther war bekannt durch die Entwicklung des allerersten Computerspiels, Adventure, das auf seinen einschlägigen Erfahrungen mit Höhlen beruhte. Zu dem Team gehörten außerdem Hawley Rising, Jim Geisman, Bill Bertell, Marty Thrope und Truett Thach in Los Angeles. Es war eine kleine und

ungewöhnlich talentierte Gruppe. »Alle Softwareleute wussten etwas über Hardware und alle Hardwareleute konnten programmieren«, berichtet Heart. »Alle wussten eine Menge über das Gesamtprojekt. Ich halte das für ziemlich wichtig in jeder großen Sache.«

Hearts Design basierte auf der kompakten und robusten Honeywell DDP-516, dem gleichen Computer, der zufällig vom NPL-Team als Ersatz gewählt wurde, nachdem dessen erste Wahl, der britische Plessey XL12, nicht möglich gewesen war. Als Honeywell im Frühjahr 1969 den IMP Nummer Null an BBN auslieferte, funktionierte dieser erste Prototyp nicht. Man nahm die Schaltungen auseinander und verdrahtete sie neu, schrieb neue Software und innerhalb von ein paar Monaten hatte das Team von Heart eine funktionierende Spezifikation fertig, so dass Honeywell mit der Produktion des ersten Serien-IMP beginnen konnte. Nach einigen Wochen des Debugging bei BBN wurde IMP Nummer Eins im August zu Leonard Kleinrocks Labor an der UCLA ausgeflogen, wo er auf Truett Thach traf. Dieser war entsetzt, als er bemerkte, dass das Gerät auf dem Kopf stehend angeliefert wurde, »was bedeutete, dass er eine ungerade Anzahl von Malen gedreht worden sein musste«, scherzte er später, nachdem der erste IMP endlich in Betrieb genommen werden konnte.

Es war naheliegend, die Universität in Los Angeles (UCLA) für den ersten Knoten am ARPANET auszuwählen. Als Ivan Sutherland am IPTO zuständig war, hatte die ARPA ein Experiment zur Vernetzung von IBM-Computern in drei Fakultäten der Universität finanziert. Die UCLA spielte auch eine wichtige Rolle bei der Spezifikation der Messsoftware, die BBN in jedem IMP implementierte. Dies und Kleinrocks Arbeit an Kommunikationsnetzwerken, die für Larry Roberts' Pläne so wichtig war, machte die Sache für die UCLA perfekt. Wer verstand schließlich besser als Kleinrock, was genau ablaufen würde, wenn die Pakete anfangen zu fließen? Die UCLA sollte daher als Network Measurement Centre für die Erstellung von Statistiken und die Analyse des Netzwerks verantwortlich sein.

Während man bei BBN mit dem Debugging des IMP Nummer Null beschäftigt war, liefen an der UCLA die Arbeiten für den Bau der Schnittstelle zwischen dem IMP, der im August erwartet wurde, und dem Sigma-7-Computer der Universität. Die Hersteller des Sigma 7 verlangten zu viel Zeit und zu viel Geld dafür, so dass diese Aufgabe an den unternehmungslustigen graduierten Studenten Mike Wingfield fiel, der die Schnittstelle in

exakt sechs Wochen baute. Mittlerweile schrieben zwei andere UCLA-Studenten, Steve Crocker und Vint Cerf, den erforderlichen Code, damit Software und Hardware rechtzeitig lauffähig sein würden. Crocker und Cerf wussten genau, was sie taten. Vorher hatten sie nämlich bei einer kalifornischen Firma namens Jacobi Systems bei der Ausarbeitung eines Angebots für den Bau der IMPs mitgeholfen. Jacobi verlor den Auftrag zwar an BBN, für Crocker und Cerf war das aber erst der Anfang.

Zwei Monate später lieferte das Stanford Research Institut (SRI) den IMP Nummer Zwei aus, und das erste Paketvermittlungsnetzwerk der Welt war in Betrieb. Am 29. Oktober, als das SRI seinen ersten Host-Computer an den IMP angeschlossen hatte, kam der Augenblick, die erste paketvermittelte Nachricht aller Zeiten zu senden. »Ich bat einen meiner Programmierer, sich an unseren Host zu setzen und am SRI tat jemand das Gleiche«, erinnert sich Kleinrock. »Beide waren über Kopfhörer telefonisch miteinander verbunden. Alles was wir wollten, war, von der UCLA aus beim SRI einzuloggen.« An der UCLA tippten sie ein »L« ein und das SRI bestätigte den Empfang. Sie tippten ein »O« ein und auch das kam gut an. Als sie aber ein »G« eintippten, stürzte das System ab. »Die erste Nachricht war also »LO« oder »Hello«, wenn man so will, berichtet Kleinrock lächelnd. Später am gleichen Tag fanden sie heraus, was schief gegangen war, und beim zweiten Versuch funktionierte das Netzwerk.

Die Universität in Santa Barbara erhielt im November den dritten IMP und der vierte wurde im Dezember in Utah installiert, womit das ursprünglich mit vier Hosts geplante Netzwerk vollständig war. BBN selbst musste auf IMP Nummer Fünf warten; er wurde im März 1970 ausgeliefert und an das Netzwerk angeschlossen. Bis Ende 1970 wuchs das ARPANET also in einer Rate von etwa einem Host pro Monat, so schnell Honeywell eben IMPs fertigen konnte.

BBN sollte das IMP-Netzwerk bauen, hatte aber nicht den Auftrag herauszufinden, wie die Host-Computer daran anzuschließen wären oder wie das Netzwerk benutzt werden könnte, um miteinander zu kommunizieren.

Dies wurde der Network Working Group (NWG) übertragen, die unwissentlich von Elmer Shapiro gegründet wurde, als er im Sommer 1968 eine Besprechung anberaumte, an dem Programmierer von jedem der ersten vier Standorte teilnahmen; sie sollten hier über Protokolle für das Netzwerk nachdenken. »Dieses erste Meeting war richtungsweisend«,

erinnert sich Steve Crocker. »Die meisten von uns waren Studenten und wir erwarteten, dass irgendwann ein professionelles Team auftauchen würde, um die Probleme, mit denen wir uns befassten, zu übernehmen«. Einen Monat später war ein solches Profiteam immer noch nicht da und die Gruppe beschloss, ihre Diskussionen zu dokumentieren. Am 7. April 1969, vier Monate vor der Lieferung des IMP an sein Labor, machte Crocker Geschichte, als er eine Notiz mit dem Titel »Request for Comments« (RFC) an die NWG schickte. »Ich erinnere mich, große Angst gehabt zu haben, dass wir irgendwelche offiziellen Protokolldesigner beleidigen würden, und verbrachte eine schlaflose Nacht damit, entschuldigende Worte für unsere Notizen auszudenken. Bei uns galt die grundlegende Regel, dass jeder alles sagen konnte und nichts offiziell war.« RFCs wurden schnell zum Modus operandi der ARPANET Gruppe. Sie entsprachen ihrer Vorgehensweise, da es keine Autorität gab, die anordnete, was getan oder nicht getan werden sollte. Wenn einer eine gute Idee hatte, schrieb er einfach einen RFC und ließ die Gemeinschaft entscheiden. Bis zum Jahr 1987 gab es 999 RFCs und zwei Leute - Joyce Reynolds und Jon Postel - beschlossen, dass es an der Zeit war, irgendeine Ordnung hineinzubringen. Ihr RFC 1000 hatte den Titel »The Request for Comments Reference Guide« (Referenzhandbuch für RFCs). Einige RFCs waren anerkannte Standards des Internets geworden und in RFC 1000 als solche gekennzeichnet. Einige sind wegen ihrer Namen unvergesslich geblieben. RFC 602 mit dem Titel »The Stockings Were Hung by the Chimney with Care« wurde beispielsweise von Bob Metcalfe 1973 als Reaktion auf die Gefahr verfasst, dass Hacker in das Netzwerk einbrechen könnten. Er riet der NWG, »nicht untätig zu bleiben und zu hoffen, dass bald Sankt Nikolaus kommen würde«. Andere RFCs waren einfach veraltet. Postel fuhr in seiner Tätigkeit als inoffizieller Archivar des Internets fort und bewahrte so dessen Geschichte für die Nachwelt.

Der erste RFC betraf Protokolle. Es war nicht schlecht, über IMPs und Hosts zu verfügen, ohne Protokolle war all diese Hardware aber nutzlos. Telnet und FTP, die ersten Protokolle im ARPANET, wurden von der NWG hastig zusammengeschustert. Telnet erlaubte es jemandem, sich irgendwo an ein Terminal zu setzen, das an einem Computer angeschlossen war, und sich in einem Computer an einem anderen Standort einzuloggen. Damit war das Problem gelöst, das Bob Taylor an erster Stelle dazu veranlasst hatte, das Netzwerk vorzuschlagen. FTP (File Transfer Protocol) ermöglichte es, Dateien zwischen Computern zu übertragen. Das war ein Anfang, aber noch nicht ausreichend. Larry

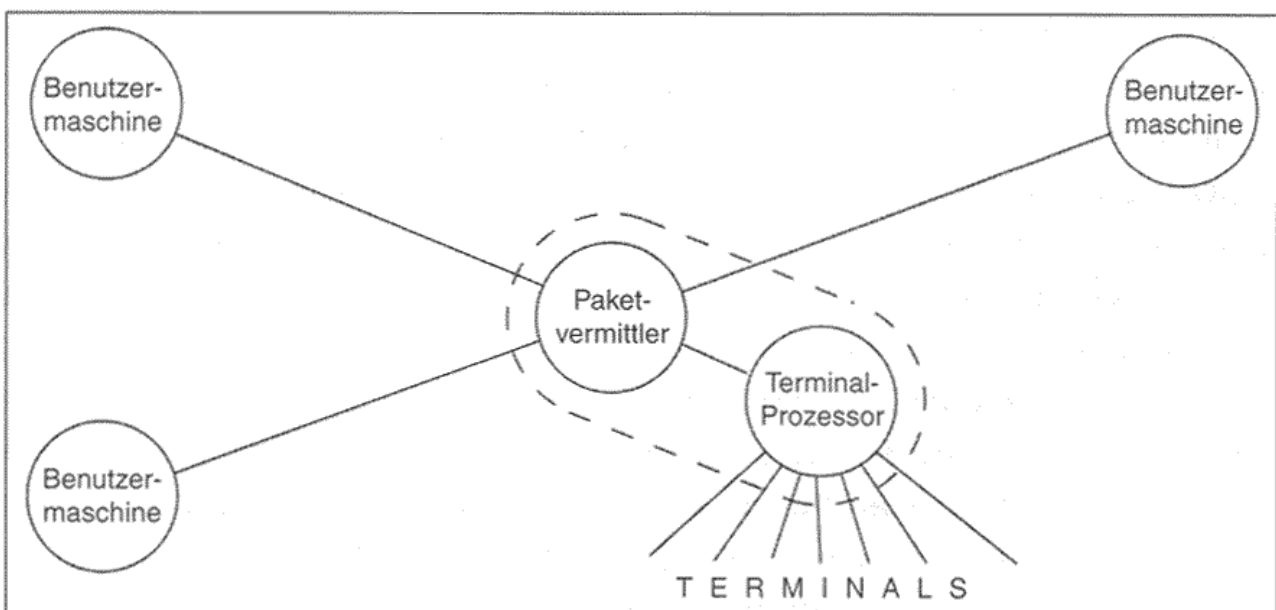


Roberts wollte ein allgemeineres Protokoll, das einfach Daten von Host zu Host übertragen sollte. Protokolle wie Telnet und FTP sollten dann auf dieses Basisprotokoll aufsetzen. Die NWG ging also an das Zeichenbrett zurück und das Ergebnis war das Network Control Protocol (NCP), das ab 1970 implementiert wurde. NCP beförderte einfach Datenpakete an ihr Ziel, ohne sich darum zu kümmern, welche Art von Informationen sie enthielten. Zurück zur Analogie für die Vernetzung: Wenn man sich das ARPANET als Straßennetz vorstellt, wären die Straßen selbst die untere Ebene des Protokollstapels. Instruktionen wie »Bleibe auf der rechten Spur, halte an, wenn die Ampel rot ist« würden etwa dem NCP entsprechen. Auf einer höheren Ebene gäbe es vielleicht ein »Auto«-Protokoll mit der Aufgabe, Leute an verschiedene Stellen im Netzwerk zu befördern, oder ein »Lastwagen«-Protokoll für die Auslieferung von Waren. Das wären Analogien zu Telnet und FTP.

Während die Dinge in den USA vorankamen, nahm auch das Netzwerk von Donald Davies Gestalt an. Mit nur einem Knoten und einem einzigen angeschlossenen Campus war das NPL-Netzwerk viel bescheidener als das ARPANET. Davies betrachtete es aber als »funktionierenden Prototyp für ein nationales Netzwerk«. Er hatte einen Champion in Gestalt von Stanley Gill, Professor für automatische Datenverarbeitung am Imperial College. Davies befand sich in einer heiklen Lage: Die staatliche Postbehörde hatte das Monopol für die Bereitstellung von Telekommunikationsdiensten, und Davies selbst war ein Regierungsangestellter. Deshalb konnte er es sich nicht leisten, den Elefant im Porzellanladen zu spielen. Gill löste dieses Problem für ihn. Er gründete eine Gruppe namens »Real Time Club«, mit dem Ziel, die Postbehörde selbst dazu zu bringen, ein nationales Paketvermittlungsnetzwerk aufzubauen. Im Juli 1968 organisierte der Real Time Club eine große Veranstaltung mit dem Titel » Conversational Computing an the South Bank« in der Londoner Royal Festival Hall. Die Financial Times berichtete, dass »Professor Gill ein Pilotnetzwerk entwerfen will, das noch in diesem Jahr in Betrieb genommen werden soll. Sowohl er als auch die Industrie seien sich einig, dass das von D. W. Davies am NPL entwickelte System die beste Lösung sei.« Der Artikel schloss mit dem Kommentar über das von Professor Gill und vielen Anwendern gefürchtete Syndrom des »zu wenig, zu spät«, aufgrund dessen die britische Industrie um Jahre hinter den Weltkonkurrenten hinterherhinke. Gill beschrieb zwei Vernetzungsszenarien für Großbritannien. Seiner optimistischen Prognose zufolge würde Großbritannien ab 1972

Netzwerkhardware exportieren. Das pessimistische Szenario beschrieb, wie eine unentschlossene Haltung der offiziellen Stellen »ab 1980 zu massiven und teuren Importen amerikanischer Anlagen führen wird«. Er hatte sich um nur ein Jahr geirrt. Großbritanniens erster vollständiger kommerzieller Paketvermittlungsdienst wurde 1981 in Betrieb genommen - unter Verwendung von Hardware, die aus den USA lizenziert worden war.

Das NPL begann 1969 mit der Auslieferung seines Knotencomputers Honeywell DDP-516 und das Netzwerk wurde im Januar 1970 in Betrieb genommen. In seiner ersten Konfiguration konnten Hosts entweder Computer wie beim ARPANET oder einfachere Geräte wie Terminals sein. Im Gegensatz zum ARPANET gab es aber nur einen Vermittlungsknoten mit mehreren Hosts und Terminals, die sternförmig verbunden waren. Erste Erfahrungen hatten gezeigt, dass es einfacher wäre, Terminals separat zu behandeln. Deshalb musste der DDP-516 im NPL-Netzwerk sich so verhalten, als wäre er zwei Computer, d.h., einer entsprach den IMPs im ARPANET und der andere war an diesen ersten angeschlossen und verhielt sich, als wäre er ein getrennter Host-Computer. Dieser Terminal-Prozessor, wie man ihn nannte, regelte den Datenverkehr zwischen Terminals ohne eigenen Host-Computer. Etwa um die gleiche Zeit waren Heart und sein Team zu einem ähnlichen Schluss gekommen und 1971 hatte das ARPANET seinen ersten Terminal-IMP - kurz IMP -, der Terminals direkt mit dem Netzwerk verband.



*Der Knotencomputer Honeywell DDP-516 des NPL-Netzwerks übernahm zwei Aufgaben. Er fungierte als Paketvermittlungscomputer wie die IMPs des ARPANET und regelte Verkehr zwischen Terminals ohne eigenen Host-Computer. (Quelle: David M. Yates: Turing's Legacy: A History of Computing at the National Physical Laboratory 1945-1995, London, Science Museum, 1997.)*

1972 wurde die ARPA in DARPA umbenannt. Das »D« stand für »Defense« (Verteidigung) und wurde aufgrund einer Anordnung des Verteidigungsministeriums angefügt, um die ARPA-Forschung enger in das Militär einzugliedern. Für das IPTO ergaben sich dadurch geringfügige Änderungen. »Man konnte eigentlich keinen Wunsch äußern, etwas zu beginnen, sofern man nicht nachweisen konnte, dass es für das Militär gut war«, erklärte Steve Crocker, inzwischen selbst bei der DARPA. »Allerdings ist Technologie für das Militär in jeder erdenklichen Weise interessant und so fiel das nicht sehr schwer. Man musste aber einen Grund angeben.«

Ungeachtet der politischen Einmischung fuhr das IPTO also wie gewohnt mit seiner Arbeit fort und das Jahr 1972 wurde zum Wendepunkt für das ARPANET. Bei BBN hatte Ray Tomlinson ein Protokoll für die Übertragung von Dateien zwischen ihren verschiedenen DEC-PDP-10-Computern geschrieben. Mit einem weiterem Programm konnte man auf einer einzelnen PDP-10 elektronische Post sowohl senden als auch empfangen. Er entschloss sich, beide zusammen auszuprobieren, um zu sehen, ob er einen elektronischen Brief von einem Computer zu einem anderen schicken konnte. Es funktionierte, Tomlinson fehlte aber der Sinn für die historische Dimension, wie ihn andere Kommunikationspioniere hatten. Während die Telegrafennachricht von Samuel Morse im Jahr 1844 lautete »What Hath God Wrought«, enthielt die erste E-Mail von Tomlinson wahrscheinlich eher etwas wie »QWERTYUIOP«. Die erste Nachricht mit Substanz kam allerdings kurze Zeit später, als Tomlinson eine E-Mail an seine Kollegen schickte, in der er erklärte, wie man Nachrichten von einem Computer zu einem anderen sendet. Folglich kündigte die erste wirkliche Nutzung von E-Mail ihre eigene Existenz an, und es sollte nicht lange dauern, bis Tomlinsons Programme auf andere Dateitransferprotokolle aufgepfropft wurden, so dass Benutzer verschiedener Computer sie einsetzen konnten. Tomlinsons Kniff bestand in der Verwendung des Zeichens »@« mit dem Benutzernamen davor und dem Namen des Host-Computers dahinter. »Ich dachte mir, dass >@< nicht im Namen einer Person oder eines Computers vorkommen würde.« Diese Wahl war nahezu perfekt, sofern man nicht unter dem Betriebssystem Multics arbeitete, in dem, wie

Tomlinson erklärte, »durch Eintippen von @ alles gelöscht wird, was man in der aktiven Eingabezeile bereits getippt hat«. Dies erwies sich allerdings als geringfügiger Nachteil und innerhalb von nur ein paar Jahren machte E-Mail den Großteil des ARPANET Datenverkehrs aus.

Ein anderes wichtiges Ereignis im Jahre 1972 war die erste öffentliche Demonstration des ARPANET. Es lief bereits so zuverlässig, dass die DARPA allmählich davon ausging, dass ihre initiierende Rolle abgeschlossen sei und jemand anderes das tagtägliche Netzwerkmanagement übernehmen sollte. Das Problem war allerdings, dass das Netzwerk leer war. Es war »wie ein perfektes Schnellstraßensystem, außer dass keine Autos darauf fahren und dass es keine Auf- und Ausfahrten besaß«, erklärte Bob Kahn. Das Netzwerk funktionierte gut, aber viele der angeschlossenen Computer konnten es einfach noch nicht benutzen. Es schien der richtige Anreiz zu fehlen. Kahn hatte die Idee, dass diese Host-Standorte durch eine Demonstration mitgezogen werden könnten, »Autos auf die Schnellstraße zu bringen«, wie er sich ausdrückte. Wenn erst einmal Autos dort wären, würde die Welt sehen, wie nützlich das Netzwerk wirklich war.

Die erste International Conference on Computer Communication (ICCC) im Washingtoner Hilton Hotel im Oktober 1972 bot der DARPA die ideale Gelegenheit zu zeigen, was man konnte. Bob Kahn stand kurz vor seinem Umzug nach Washington, um sich zu Larry Roberts bei der DARPA zu gesellen. Die beiden verständigten sich aber, dass er vorher noch eine extravagante Netzwerk-Show organisieren sollte, um die Welt davon zu überzeugen, dass Paketvermittlung die Kommunikationstechnologie der Zukunft ist. Die Demonstration war spektakulär. Es gab eine Simulation eines verteilten Flugsicherungssystems: Wenn ein Flugzeug die Region eines Computers verließ, wurde es von einem anderen übernommen. In einer anderen Demonstration, die das MIT organisierte, tappte eine computergesteuerte Roboterschildkröte im Raum herum. Bei wieder einer anderen Demonstration saß man in Washington, loggte sich bei einem Computer bei BBN ein, kopierte von dort ein Programm, schickte es an die UCLA zur Ausführung und ließ sich die Ausgabe wieder nach Washington zurück übertragen. Leonard Kleinrock erinnert sich sehr gut daran: »Jon Postel demonstrierte diese Sache: Du meldest dich bei BBN an, schickst das Programm rüber zur UCLA, lässt es dort kompilieren und ausführen und zur Ausgabe zurückschicken. Nichts passierte! Er konnte

sich nicht erklären, was falsch gelaufen war. Er sah sich um. Dann fand er die Schildkröte auf dem Boden; sie strampelte herum.« Es stellte sich heraus, dass Postels Ausgabe zur Schildkröte ging, und die Kreisbewegungen des armen Roboters waren sein pflichtbewusster Versuch, das zu tun, was ihm befohlen wurde. Trotz dieser kleinen Peinlichkeit hatte sich die Demonstration gelohnt. »Dieses Ereignis war ein Wendepunkt! Die Leute erkannten plötzlich, dass Paketvermittlung eine echte Technologie war«, erinnert sich Kahn zufrieden.

## **Menehune in Hawaii**

1968 spielte Norm Abramson mit der Idee, über Funk auf Computer zuzugreifen. Er war an der Universität von Hawaii, zu der sieben Colleges auf vier Inseln und eine Reihe entfernter Forschungsstationen irgendwo dazwischen gehörten. Allen diesen Standorten über Telefonwählleitungen den Kontakt mit dem IBM-Zentralrechner der Universität zu ermöglichen, das verbrauchte den Löwenanteil des Computeretats der Universität. Abramson sah sich deshalb nach einer Alternative um. Er verfolgte die Entwicklungen im Bereich der Computervernetzung mit Interesse und kam wie Donald Davies zu dem Schluss, dass das Telefonnetz nicht das ideale Medium war, um Computerkommunikation abzuwickeln. »Tatsächlich«, erklärte er, »wäre es überraschend gewesen, wenn eine solche Netzwerkarchitektur, die von den Anforderungen der Sprachkommunikation am Ende des neunzehnten Jahrhunderts geprägt war, mit den neu entstehenden Anforderungen von Datennetzwerken Ende des zwanzigsten Jahrhunderts kompatibel wäre.«

Im Gegensatz zu Donald Davies oder zur ARPA unternahm Abramson den kühnen Schritt, gänzlich auf Kabel zu verzichten. In einem anfangs vom Office of Aerospace Research der US Air Force und dann von Larry Roberts bei der ARPA unterstützten Projekt entwickelte Abramsons Team das erste paketvermittelte Funknetz der Welt, das ALOHANET. Dieses Projekt passte perfekt in das Programm der ARPA. Angetrieben von einem zivilen Bedarf für die Bereitstellung verteilten Zugriffs auf die zentrale Recheneinrichtung einer Universität barg es offensichtlich ein Potenzial für militärische Anwendungen. Ohne Kabel könnte man möglicherweise mobile Netzwerkknoten schaffen,

z.B. auf Panzern im Einsatz. Die ARPA nahm daher später die Ideen Abramsons auf und unterstützte eine Reihe von paketvermittelten Funk- und Satellitenprojekten.

Nachdem die Entscheidung gefallen war, Funk als Medium für die Übertragung von Informationen zu benutzen, blieb die Frage des Wie zu klären. Jeden Computer einfach einen unterschiedlichen Frequenzkanal benutzen zu lassen, war keine Lösung, zumindest nicht Ende der sechziger Jahre. Deshalb entschied man sich auf einer ALOHA-Projektbesprechung 1969 für die Übertragung von Informationen in kurzen Sendeintervallen mit hoher Geschwindigkeit über einen gemeinsam genutzten Kanal. Der ALOHANET Mechanismus war keine Paketvermittlung, sondern Paket-Broadcasting, also das Rundsenden von Datenpaketen. Nachdem diese Festlegung getroffen worden war, ergab sich das restliche Design fast wie von selbst. Zwei Frequenzbänder wurden für die ALOHA-Kanäle gewählt - eines für die Übertragung vom zentralen Campus nahe Honolulu zu den anderen ALOHA-Standorten und das andere für den Rückverkehr.

Von den IMPs des ARPANET angeregt, baute die Gruppe in Hawaii ihren »Menehune« für die Übertragung von Datenpaketen zum und vom zentralen Computer. Er basierte auf einem kleinen Computer von Hewlett Packard und erhielt seinen Namen von einer legendären Hawaiianischen Elfe.

Das ALOHANET war von Natur aus asymmetrisch; eine Reihe entfernter Terminals waren an eine zentrale Rechneranlage angeschlossen. Das bedeutete, dass der Datenverkehr auf dem abgehenden ALOHA-Kanal von der zentralen Anlage zu den Terminals völlig anders behandelt werden musste als der ankommende Verkehr. Der Menehune organisierte das geordnete Rundsenden von Paketen an die Terminals; in die andere Richtung stand es den Terminals aber frei, zu übertragen, wann sie wollten. Dieser Ansatz wurde gewählt, um jedem Terminal den Zugriff auf die volle Kapazität des ALOHA-Kanals zu bieten, statt den Kanal in kleine langsame Segmente pro Terminal aufzuteilen. Das ALOHA-Protokoll funktionierte so, dass ein Terminal eine größere Menge von Datenpaketen übertragen konnte und auf die Eingangsbestätigung vom Menehune wartete. Kam ein Paket korrekt durch, schickte der Menehune eine Bestätigung auf dem Ausgangskanal ab. Kam ein Paket verstümmelt oder überhaupt nicht an, erfolgte keine Bestätigung; das Terminal wartete in dem Fall eine Zufallszeit und übertrug dann das Paket erneut.

Diese zufällig gewählte Zeitspanne war das wichtigste Merkmal des ALOHANET, weil Paketverluste hauptsächlich dann entstanden, wenn zu viele Terminals gleichzeitig kommunizierten. Sendeten zwei oder mehr Terminals zur selben Zeit, störten sich ihre Pakete gegenseitig und es gab keine Bestätigung. Wenn sie eine festgelegte Zeitspanne warten mussten, würden alle gleichzeitig wieder mit der Übertragung beginnen und es kämen wieder keine Pakete durch. Abramson entlehnte seine Lösung aus dem bekannten Esstisch-Phänomen, an dem die dinierenden Gäste alle gleichzeitig zu sprechen beginnen. Wenn das passiert, hört jeder auf und fängt nach einer kurzen Pause wieder an. Da es unwahrscheinlich ist, dass alle wieder gleichzeitig anfangen, kann die Konversation wieder reibungslos weiterlaufen. Der zufällige Neubeginn von Übertragungen des ALOHANET sollte gute Tischmanieren der Terminals sicherstellen, aber für den Fall, dass ein drittes Terminal plötzlich dazwischenfunkte, konnten die Terminals mehrere Male eine Übertragung probieren falls erforderlich.

Das ALOHANET wurde im Juni 1971 gestartet. Der Menehune befand sich auf dem zentralen Manoa-Valley-Campus der Universität nahe Honolulu und sein erstes Remote-Terminal wurde in Abramsons Haus etwa eine Meile von der Universität entfernt installiert. Bis zum Jahresende waren vier Terminals angeschlossen und das Netzwerk wuchs schnell, um bald mehreren hundert aktiven Benutzern zu dienen. Da es von der ARPA finanziert wurde, schien es ein natürlicher Schritt zu sein, das ALOHANET mit dem ARPANET zu verbinden. So saß Norm Abramson 1972 in Larry Roberts Büro in Washington mit nur diesem einen Gedanken im Kopf. So wie viele ihrer Nutznießer schätzte Abramson die ARPA als einen ganz besonderen Förderungsträger. »Roberts trug zu dem Erfolg des Projekts auf eine Weise bei, die für Förderungsträger nicht typisch ist«, erklärt er. »Im eigentlichen Sinne agierte Roberts als ein weiteres Mitglied des Projektteams.« 1972 waren Larry Roberts Gedanken aber ganz woanders. Das ARPANET befand sich auf vollem Expansionskurs, und er war mit der Organisation der IMP-Installationen überall im Land beschäftigt. Irgendwann während des Treffens wurde Roberts aus seinem Büro gerufen und Abramson bemerkte eine auf die Wandtafel geschriebene Liste mit Standorten, die auf IMPs warteten, zusammen mit den Lieferterminen. Er nahm ein Stück Kreide und fügte »das ALOHA-System« mit dem 17. Dezember als Lieferdatum dieser Liste hinzu. Er hatte vorgehabt, dies mit Roberts zu diskutieren, das Gespräch verlief aber in andere Richtungen und Hawaiis IMP kam nie zur

Sprache. Abramson hatte es schon vergessen, als »wir zwei Wochen vor diesem Dezember-Datum plötzlich einen Anruf von der Gruppe erhielten, die für die IMP-Installationen zuständig war, und gebeten wurden, einen Standort für die Anlage vorzubereiten«. Der IMP kam termingerecht an und Hawaiis IBM-Maschine wurde der erste ARPANET Knoten, der über Satellit an das Netzwerk angeschlossen war. Bald danach konzentrierte sich Abramsons Gruppe auf die Nutzung von ALOHA-Kanälen über ein Satellitennetzwerk und 1973 wurde das PACNET als erstes Satellitennetzwerk mit Paket-Broadcasting in Betrieb genommen. Es verband Hawaii mit Standorten in Alaska, Japan, Australien und Kalifornien. Abramsons Pionierarbeiten hatten die Räder in Bewegung gesetzt, die schließlich zu den portablen Internetterminals führten, die heute bereits in Mobiltelefonen auftauchen.

## Die French Connection

In dem Jahr vor Bob Kahns Triumph in Washington stellte die französische »Délégation à l'Informatique« Louis Pouzin ein, um ein Netzwerk *à la française* aufzubauen. Die Individualität der Franzosen ist legendär und wie Pouzin erklärt, war die französische Regierung damals stark mit der Förderung französischer Computerwissenschaft beschäftigt. Sie hatten vom ARPANET gehört und waren ängstlich bestrebt, etwas Ähnliches auf die Beine zu stellen, um nicht zu weit ins Hintertreffen zu geraten. Im Gegensatz zu Großbritannien kam es für die Franzosen nicht in Frage, einfach herzugehen und sich amerikanische Technologie zu kaufen, ohne es zumindest auf ihre eigene Weise zu versuchen. Der gallische Stolz verlangte das. Als die französische Computerfirma Bull Anfang der sechziger Jahre in amerikanische Hände übergang, startete die Regierung den »Plan Calcul«, in dessen Rahmen das »Institut de Recherche en Informatique et en Automatique« (INRIA) und eine staatliche Computerfirma namens »Compagnie International pour l'Informatique« (CII) gegründet wurden. Die Delegation à l'Informatique war selbst ein Produkt des Plan Calcul.

Pouzin wurde mit der Aufgabe betraut, die Datenbanken aller Ministerien der französischen Regierung zu vernetzen. »Datenbanken waren zu der Zeit modern«, erläutert er. »Alle französischen Regierungsbehörden erstellten Datenbanken in einem



sehr technokratischen Geist, was etwa soviel hieß wie >Wir erstellen Datenbanken, wissen aber eigentlich nicht, wie wir sie benutzen werden<«. Jedes Ministerium hütete seine Informationen eifersüchtig, und die Vorstellung eines Netzwerks galt als Horror. Die Delegation à l'Informatique, die direkt dem Premierminister berichtete, hatte jedoch ausreichend Mittel, um ihren Willen durchzusetzen. »Hinter dem Plan stand ein zweites politisches Ziel«, erinnert sich Pouzin: »Die Entwicklung eines Werkzeugs, mit dessen Hilfe unsere Verwaltungen Daten austauschen konnten.« Und Pouzin war derjenige, der dies umsetzte.

Pouzin hatte für den meteorologischen Dienst Frankreichs an der Entwicklung von Kommunikationssystemen gearbeitet. Er war 1968 auf der Konferenz in Edinburgh, kannte also die wichtigsten Mitspieler auf dem entstehenden Netzwerkgebiet und was sie taten. Sein Ansatz war ehrgeizig: »Wir waren nur Zweiter und daher wollten wir Bester werden«, erklärt er mit entwaffnendem gallischem Charme. Sein Ausgangspunkt war der Besuch einer Reihe von ARPANET Standorten als eine Art selbsterklärter Spion. Er wollte die Schwachpunkte des ARPANET kennen, so dass sein Netzwerk, das er nach dem griechischen Archipel » Cyclades « nannte, besser werden könnte. »Ein Schwachpunkt war die Hardware: Es wurden spezielle Interface-Karten benutzt. Ein zweiter Schwachpunkt war die Paketvermittlung, die zu stark von der Hardware abhing, beispielsweise durch physikalische Adressen. Der dritte Schwachpunkt war die Ineffizienz des Host-zu-Host-Protokolls.« Er identifizierte damit drei Schwächen, die aber alle auf das Gleiche hinausliefen. Laut Pouzin hatten die ARPANET Designer viel zu viel Vertrauen in ihre Hardware.

Der grundlegende Unterschied zwischen einem Hardware- und einem Softwareansatz besteht darin, dass bei Ersterem der Schwerpunkt auf der Geschwindigkeit liegt und bei Letzterem auf einer einfachen Bedienung. Eine festverdrahtete Adresse ist schneller, als wenn man sie im Computerspeicher nachsehen muss. Andererseits bedeutete die Adresse im Speicher, dass man sie leichter ändern kann. Man stelle sich die Probleme der British Telecom vor, wenn sie Techniker hätte aussenden müssen, um den Telefonanschluss jedes Haushalts neu zu installieren, als der Wählcode um eine »1« erweitert wurde. Pouzin war überzeugt, dass die größere Flexibilität eines

softwareorientierten Ansatzes jeglichen Geschwindigkeitsverlust mehr als ausgleichen würde.

Die Tatsache, dass das ARPANET auf Hardware basierte, war mehr auf einen Zufall der Geschichte als auf das Design zurückzuführen. Die ARPA hatte mit der Entwicklung des Subnetzes - des Netzwerks, über das die IMPs miteinander kommunizieren konnten - begonnen und kümmerte sich erst später darum, wie die Host-Computer das Netzwerk tatsächlich benutzen würden. Pouzin machte sich die Erfahrungen der ARPA zunutze und konnte umgekehrt vorgehen. Er überlegte sich, wie diese Hosts miteinander sprechen konnten und entwarf dann ein passendes Subnetz.

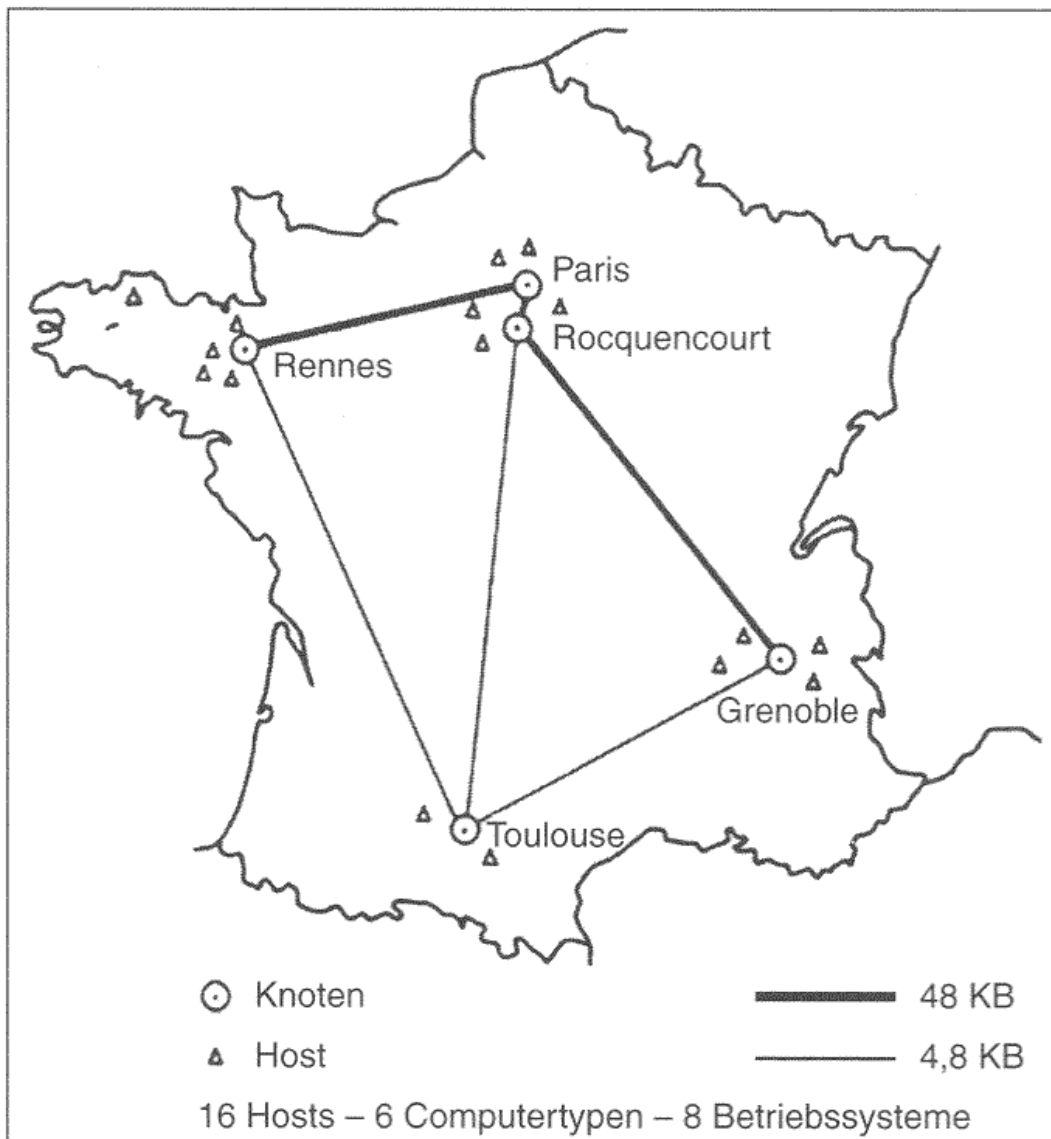
Das Ergebnis war, dass sich Cyclades viel weniger auf Hardware stützte. Die Adressen waren »virtuell« und nicht »physikalisch«. Wenn man dort eine Adresse ändern wollte, musste man lediglich ein paar Zeilen auf der Tastatur eintippen, statt einen Routing-Computer neu zu verdrahten. Pouzin benutzte auch Software, um etwas zu korrigieren, was er für eine Schwäche im Host-zu-Host-Protokoll des ARPANET hielt. Das ARPANET ähnelte ein wenig den alten Nachrichtenvermittlungssystemen insofern, als nach dem Einspeisen von Datenpaketen in das Subnetz davon ausgegangen wurde, dass sie ihr Ziel in der richtigen Reihenfolge erreichen würde. In dieser Hinsicht wurde den IMPs vollständig vertraut. Pouzins Team entwarf demgegenüber Protokolle, die diese Verantwortung auf die Host-Computer übertrugen, so dass diese prüfen mussten, ob alle Pakete ihr Ziel richtig erreicht hatten, und andernfalls neu übertragen mussten. Nach Pouzins Ansatz galt das Netzwerk als fehlbar und die Host-Software musste dies überwachen.

Das Cyclades-Subnetz basierte auf den von der CII hergestellten Mitra15-Computern; deshalb nannte Pouzin es ursprünglich »Mitranet«. »In Frankreich gab es aber Politiker, für die »Net« nicht französisch genug war«, erklärt Pouzin. »Deshalb änderten wir den Namen auf Cigale (Französisch für »Zikade«) um«. Zu Demonstrationszwecken schloss das Cyclades-Team an jeden Mitra 15 einen Lautsprecher an. »Auf diese Weise konnten wir jedes Mal, wenn ein Paket vorbeifloss, ein Zirpen wie von Zikaden hören.«

Wie die ARPA-Leute erkannte auch Pouzin, dass man ohne Hilfe der Wissenschaftsgemeinde unmöglich ein Netzwerk aufbauen konnte. Wie beim ARPANET befanden sich die ersten Knoten von Cyclades also in Universitäten. Auf seinem

Höhepunkt war das Netzwerk auf etwa zwanzig Hosts angewachsen, darunter Regierungsministerien, für die es ursprünglich ausgelegt wurde, wissenschaftliche Institute, Industrieunternehmen und sogar das Rechenzentrum der European Space Agency in Rom.

Wie anderswo dreht sich aber auch in Frankreich ab und zu der politische Wind und 1974 gab der Gaullismus dem Giscardismus den Weg frei. »Als Pompidou starb, wurde Giscard d'Estaing Präsident und die meisten Regierungsleute wurden abgelöst«, erklärt Pouzin. Der praxisorientierte Ansatz des Gaullismus wich der Politik des Laissez-faire mit katastrophalen Folgen für Cyclades. Computer wurden bald als Industrie wie jede andere behandelt, und die Rolle der Regierung waren auf die Standardisierungsbemühungen reduziert, die über entsprechende internationale Organisationen umgesetzt werden sollten. Es war zwar immer die Absicht der Regierung gewesen, dass die französische Industrie die Zügel in die Hand nehmen sollte, sobald die Technologie reif war. Als aber die staatlichen Gelder wegfielen, war die Industrie nicht interessiert, und allmählich zerfiel Cyclades, als schließlich auch die freiwillige Unterstützung verebbte. Das Netzwerk starb 1979, sein Erbgut aber lebt im Internet weiter.



1973 verband das Cyclades-Netzwerk 16 Host-Computer quer durch Frankreich. (Quelle: *Proceedings of the NATO Advanced Study Institute on Computer Communication Networks, September 1973.*)

## Die Internauts

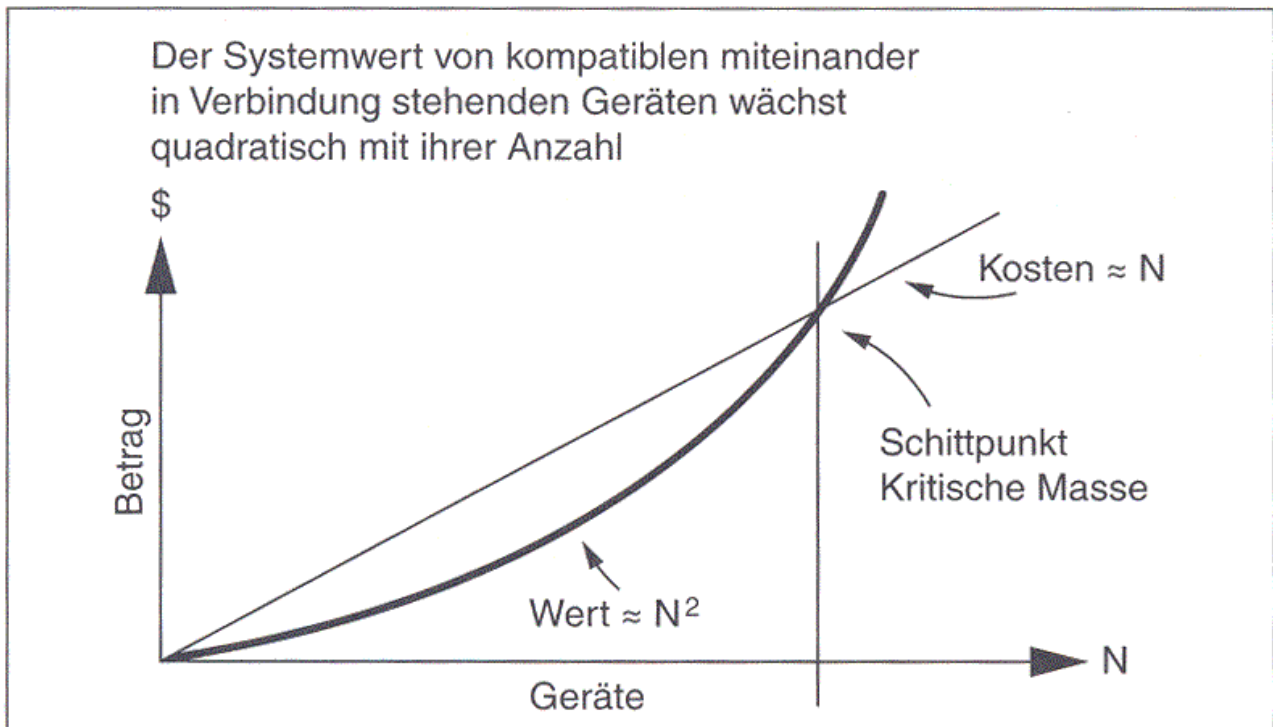
Trotz ihrer internationalen Dimension war die Netzwerkgemeinde in den siebziger Jahren noch klein. Jeder kannte jeden, und jeder wusste von der Arbeit des anderen. Alle nahmen an den Konferenzen der jeweils anderen teil, und es war eine Zeit der großen gegenseitigen Befruchtung mit Ideen. Nach seiner ARPANET-Demonstration 1972 wechselte Bob Kahn zur DARPA und leitete Projekte mit Paketfunk- und

Satellitennetzwerken, also das ARPANET ohne Kabel. Das ALOHANET befand sich voll im Betrieb, Paket-Broadcasting war aber nicht genau das, was Kahn vorschwebte. »ALOHA war ein zentrales System«, berichtet er. »Das heißt, Pakete wurden von einem Benutzer zum zentralen Computerstandort auf einer bestimmten Frequenz gesendet und die Antworten kamen auf einer anderen zurück. Das ALOHA war also ein >Ein-Hop-System<. Paketfunk wandelte die ALOHA-Idee in ein Netzwerkkonzept um, bei dem es im Wesentlichen herauszufinden galt, wie Pakete von Knoten zu Knoten weitergeleitet werden könnten, die sich auch relativ zueinander bewegen durften. Es sollte außerdem in wechselnden Umgebungen funktionieren, auch wenn man keine hohe zentrale Antenne hatte, die jeder sehen konnte. Und es sollte berücksichtigen, dass sich Leute zeitweise in Tunneln befinden konnten, sowie all die Unwägbarkeiten, die beim Versuch auftreten können, ein Netzwerk dieser Art aufzubauen.«

Kahn erkannte, dass ein solches drahtloses Computernetzwerk unter Verwendung von NCP (Network Control Protocol) als Host-zu-Host-Protokoll nicht funktionieren würde, weil das zugrunde liegende Netzwerk dafür zuständig war, die Reihenfolge der Pakete einzuhalten. Das war bei der Funkübertragung aber nicht gegeben, weil Pakete hier leicht verloren gehen konnten und erneut übertragen werden mussten. Kahn gab Vint Cerf in Stanford den Auftrag, eine Lösung zu finden, wie man Daten in Paketfunknetzwerken versenden und einen Kommunikationsweg zwischen diesen Netzwerken und dem ARPANET aufbauen konnte. Das Konzept des Internetworking war geboren.

Etwa zur gleichen Zeit verbreitete sich langsam die Idee von LANs (Local Area Networks). Das NPL-Netzwerk war zwar wie das ARPANET als WAN (Wide Area Network) strukturiert, wurde aber unabdingbarer Teil der Netzwerk-Landschaft, indem es den Wert von Vernetzung auch im Kleinen belegte. Dann entwickelte 1975 der Cambridge-Computerpionier Maurice Wilkes ein Design für ein LAN-Netz. Er hatte sich bereits 1949 einen Namen gemacht durch den Bau des EDSAC, des ersten betriebsfähigen Computers, der seine eigenen Programme speichern konnte. Sein LAN-Konzept, das er »Cambridge Ring« nannte, verbreitet sich rasch in den wissenschaftlichen Institutionen Europas. Cambridge-Ringe beherrschten den LAN-Markt in Europa mehrere Jahre, das letztendlich dominierende LAN-Konzept aber kam aus den USA.

1970 wechselte Bob Taylor zu dem neuen Palo Alto Research Center (PARC) von Xerox und brachte den gleichen Forschungsansatz mit, den er sehr wirkungsvoll bei der ARPA angewandt hatte. »Seine Aufgabe war es, im Xerox-PARC und insbesondere im Computerforschungslabor eine Umgebung zu schaffen, in der man großartige Arbeit leisten konnte, und er war darin wirklich einmalig«, erinnert sich Bob Metcalfe, einer der ersten Mitarbeiter dort. Das Ergebnis war eine ideale Umgebung für Forschungsarbeiten, in denen Metcalfe eine LAN-Technologie erfand, die als »Ethernet« bezeichnet wurde. Metcalfe kam von Boston, wo er das MIT an das ARPANET angeschlossen hatte. Harvard lehnte ihn für eine Promotion mit der Begründung ab, seine ARPANET Arbeit sei nicht theoretisch genug. Taylor hatte Metcalfe zwar einen Job als Post-Doc angeboten, forderte ihn aber auf, trotzdem zu kommen, und entsandte ihn gleich nach Hawaii, wo er einen Monat lang mit Norm Abramson arbeitete. Diese Erfahrung gab Metcalfe die nötige Motivation, um seine Dissertation in etwas für Harvard Akzeptables umzuwandeln, und war gleichzeitig die Inspiration für das Ethernet. Er griff die Konzepte der Empfangsbestätigung und der Neuübertragung von Paketen bei Verlust vom ALOHANET auf und entschloss sich, diese noch zu perfektionieren. Bevor er auf den Namen Ethernet kam, lief sein neues Netzwerk unter der Bezeichnung »Alto Aloha Network«. Seine Aufgabe bestand darin, einige neue kleine Computer, die von Xerox entwickelten Altos, zu verbinden. Altos waren ausreichend klein, um auf einen Schreibtisch zu passen; sie waren die Vorläufer der Personalcomputer. Die Verbindung dieser Geräte mit einer Art kleinräumigem ARPANET wäre für ein kleines lokales Netzwerk viel zu teuer geworden. Metcalfe erkannte aber, dass der ALOHA-Ansatz eine günstige Alternative bot. Ethernet ähnelte dem Paket-Broadcasting, unterschied sich aber in zwei wichtigen Punkten vom ALOHANET. Es funktionierte über Kabel und war nicht asymmetrisch. Jeder Alto-Computer wurde vom Netzwerk gleich behandelt. Ethernet wurde ein großer Erfolg und entwickelte sich letztendlich zum vorherrschenden LAN-Standard. Die dadurch ausgelöste Verbreitung von LANs war ein weiterer Grund, warum Internetworking gebraucht wurde.



Ein Grund, warum das Ethernet so erfolgreich wurde, war, dass Bob Metcalfe darauf bestand, es als Standard anzuerkennen, bevor Firmen die Produktion ihrer eigenen Implementierungen gestattet wurde. Xerox-PARC ließ es patentieren und nachdem der Ethernet-Standard eingeführt war, lizenzierte es Ethernet für eine symbolische Summe. Dieses Diagramm, das seither als »Metcalfes Gesetz« bekannt ist, überzeugte Xerox, dass ein solcher Ansatz in ihrem Interesse lag. Es zeigt, dass der Wert, den man aus der Verbindung von Computern und Geräten erhält, nach einem bestimmten Punkt die Kosten übersteigt. Da das Geschäft von Xerox in dem Verkauf von Druckern bestand, brauchte es eine Möglichkeit, diese Drucker an Computer anzuschließen. Metcalfe überzeugte sie, dass die Standardisierung und die anschließende Freigabe von Ethernet der richtige Weg waren. (Mit freundlicher Genehmigung von Bob Metcalfe.)

Im Juni 1973 begannen Cerf, Kahn und Metcalfe mit dem Design eines Host-zu-Host-Protokolls für Internetworking, das sie »Transfer Control Protocol« (TCP) nannten. Sie wurden in ihrer Arbeit von einer vierten Person unterstützt: Gerard Le Lann, der mit Louis Pouzin am Cyclades arbeitete und ein Forschungssemester in Stanford einlegte. Le Lanns Erfahrung mit Cyclades erwies sich als entscheidend. »Gerard kam für ein Forschungssemester genau in der Zeit nach Stanford, als wir am kritischen Design des TCP-Protokolls arbeiteten«, sagt Cerf und erinnert sich, dass »einige von Pouzins Ideen über »Datagramme« und »Schiebefenster« in das TCP einfließen«. »Datagramme« erweiterten die Vorstellung von Datenpaketen. Statt das zugrunde liegende Netzwerk - IMPs im Falle des ARPANET - zu verlassen, um Pakete in einem sequenziellen Zug wie

Eisenbahnwaggons anzuordnen, wurde jedes Datagramm unabhängig zugestellt, wobei das Host-zu-Host-Protokoll für ihre Zusammensetzung nach der Ankunft zuständig war. »Schiebefenster« (engl. sliding window) beschleunigten die Angelegenheit. Statt zu warten, bis die Ankunft jedes Pakets vor der Übertragung eines weiteren bestätigt wird, pausiert ein Protokoll mit Schiebefenster erst, wenn mehrere Pakete für die Bestätigung ausstehen. Die Anzahl von Paketen, die bis zum Warten auf eine Bestätigung gesendet werden, wird als »Fenster« bezeichnet. Die Übernahme dieser Cyclades-Merkmale in TCP bedeutete, dass der »Grünschnabel« Internet auf den Erfolg von Cyclades aufsetzte, genauso wie Cyclades vom ursprünglichen ARPANET inspiriert worden war. Als robustes Host-zu-Host-Protokoll bildete TCP einen Bestandteil der neuen Vernetzungsideen; Gateways sollten ein weiterer werden. Gateways sind die Übersetzer des Internets. Sie sind Routing-Computer wie IMPs mit der Aufgabe, Netzwerke miteinander zu verbinden, indem sie Paketformate von der Protokollsprache eines Netzwerks in die eines anderen übersetzen.

Im September 1973 fand die Veranstaltung »NATO Advanced Study Institute an Computer Communication Networks« an der Sussex-Universität in Brighton, England, statt. Das war ein wichtiges Ereignis, weil Vint Cerf und Bob Kahn die Gelegenheit nutzten, um TCP der Welt vorzustellen. Die erste Version von TCP war überhaupt nicht auf die künftige explosionsartige Verbreitung von Netzwerken vorbereitet. In ihrem Kern befand sich eine Internetadresse mit 32 Bit, von denen acht das Netzwerk spezifizierten. Das bedeutete, dass TCP maximal 256 Netzwerke unterstützen konnte. Zu jener Zeit konnte sich keiner vorstellen, dass sich die Welt, bestehend aus einer kleinen Zahl von Großrechnern, in eine mit unzähligen kleinen, in lokalen Netzwerken gruppierten Computern wandeln würde. Bereits Ende der neunziger Jahre überschritt die Anzahl der einzelnen Netzwerke, die an das Internet angeschlossenen waren, die 100.000er-Marke.

## **Ein IX statt vieler**

Nach der Veranstaltung in Brighton kümmerten sich Cerf und Kahn um die offizielle Übernahme des neuen Protokolls. Cerf war noch in Stanford, Kahn an der DARPA und Bob Taylor am Xerox-PARC; sie waren dafür also alle drei gut positioniert. Aus Pouzins



französischer Perspektive schien es, dass Kahn »alle LAN-Firmen massiv sponserte, damit diese TCP in ihre Router installieren«. TCP-Versionen tauchten bald in vielen Computern auf. Die DARPA plante aber nicht nur über diesen Weg, ihre Vision von der Computerzukunft in die Praxis umzusetzen. Sie hatte bereits erkannt, dass die Standardisierung aller ARPANET-Hosts auf einen bestimmten Computertyp weder durchführbar noch wünschenswert war. Vielleicht könnte aber die Entwicklung eines Standardbetriebssystems, das auf allen Computerarten laufen würde, das ARPANET vorantreiben. Ähnliche Beweggründe hatten bereits zu dem Internetworking-Projekt selbst geführt.

Ende der sechziger Jahre kam ein neues Betriebssystem, das schon bald die akademische Welt im Sturm erobern sollte, aus den AT&T Bell Labs. Man nannte es »Unix« als leichte Anspielung auf das Multics-System, von dem es inspiriert wurde. Während Multics für viele Benutzer ausgelegt war, wurde Unix für nur einen entwickelt, also ein einzelnes »IX« statt mehrerer. Unix wurde legendär für seine skurilen Befehle. Um jemanden von einer ankommenden E-Mail zu unterrichten, tippte man z.B. »biff«, weil dies, wie eine Anekdote besagt, der Name des Hundes einer Berkeley-Studentin namens Heidi Stetner war, und Biff hatte den Ruf, Briefträger anzubellen. Logisch; man muss es nur wissen. Unix bot aber mehr als nur einen computerfreakhaften Sinn für Humor. Es bedeutete eine wichtige Verschiebung in der Computerphilosophie. Hardware war so kompakt und preisgünstig geworden, dass Timesharing keine derart drängende Notwendigkeit mehr war. Jeder hatte nun wirklich die Möglichkeit, sich seinen eigenen Personalcomputer zu kaufen. AT&T hatte eine relativ offene Politik in Bezug auf Unix. Als Bob Fabry 1974 von der University of California in Berkeley also fragte, ob er eine Kopie haben könne, um damit zu arbeiten, kam man diesem Wunsch mit Freude entgegen.

Im Jahr darauf kam ein graduerter Student, Bill Joy, in Berkeley an und fand Interesse an Unix. 1977 war Joy zuständig für Anfragen nach Unix-Kopien, die in Berkeley bearbeitet worden waren, woraus die Berkeley Software Distribution (BSD) entstand. Er hatte keine Ahnung, dass er die Bühne für einen Großteil der jüngsten Begeisterung über freie Software aufbaute. BSD war für jeden Interessierten absolut frei und verbreitete sich deshalb sehr rasch. Rückmeldungen von Benutzern wurden zügig implementiert und das System wurde immer leistungsfähiger. Dem ersten BSD folgte 1978 das zweite Release

BSD 2. Zu diesem Zeitpunkt hatte Unix die Aufmerksamkeit der DARPA als wahrscheinlichster Kandidat für ihr Standardbetriebssystem auf sich gelenkt, und die DARPA sah sich nach jemandem um, der es auf die gewünschte Weise entwickeln würde. Bob Fabry reichte im Herbst 1979 bei der DARPA einen Vorschlag ein und als Bill Joy im Dezember das erfolgreiche Release BSD 3 zusammenstellte, machte Berkeley den Deal perfekt.

Fabry handelte mit AT&T sofort die Bedingungen für die Nutzung ihres Systems aus, und Joy wurde die Verantwortung für das DARPA-Projekt übertragen. Im Oktober 1980 wurde BSD 4 eingeführt und im darauf folgenden Juni auf BSD 4.1 aufgerüstet. Die DARPA war recht froh über die Ergebnisse, so dass sie den Vertrag mit Berkeley verlängerte. Außerdem stellte sie eine Anforderung, die das Gesicht der Vernetzung verändern sollte. 1978 war aus TCP schließlich TCP/IP geworden, d.h. zwei Protokolle in einem. IP stand für »Internet Protocol« und hatte die Aufgabe, Pakete weiterzuleiten. TCP behandelte Dinge wie das Zusammenstellen von Paketen und die Prüfung, dass sie alle ankamen. Bei der Anforderung der DARPA handelte es sich um die Integration von TCP/IP in BSD-Unix. Zusammen mit seinem Kollegen Sam Leffler begann Bill Joy diese Arbeit, gab aber kurz darauf bekannt, dass er Berkeley verlassen werde. Leffler führte im August 1983 das Release BSD 4.2 allein zu einem erfolgreichen Abschluss - komplett mit integriertem TCP/IP. Joy hatte sich mittlerweile mit einer Gruppe von Absolventen der Stanford Business School zusammengetan, um eine Firma zu gründen. Sie nannten sie Sun Microsystems, wobei das »Sun« von »Stanford University Network« hergeleitet wurde. Die Firma lieferte bald schon Computer aus, auf denen das Betriebssystem BSD-4.2-Unix mit TCP/IP lief und die für die Anbindung an das Internet gerüstet waren.

*Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Rechteinhabers unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für*

*Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Speicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.*