

Hermann Rotermund

Interview mit Friedrich-Wilhelm Hagemeyer

Bremen, 26. 05. 1997

Zur Person

R.: Vielleicht können wir einfach mit Ihrer Geschichte anfangen. Ich weiß nur aus dem Lebenslauf Ihrer Arbeit etwas. Sie sind 1947 geboren und in Hiddensee, auf Hiddensee aufgewachsen.

H.: Ja, schon alleine das ist ungewöhnlich, weil heutzutage kein Mensch mehr auf Hiddensee geboren wird. Gut, aber das am Rande, weil die alle ins Krankenhaus müssen und das weiter außerhalb ist. Wie ich in dies ganze Thema kam, ist relativ leicht zu erklären. Ich hatte Physik studiert in Greifswald, Fachrichtung Nachrichtentechnik-Elektronik, und danach dann, da meine beiden Schwestern kurz nach dem 13. August 1961 in den Westen marschiert waren illegal, hatte ich Schwierigkeiten, einen Job zu finden. Ich hatte viel Zeit. Ich habe mich bei 120 verschiedenen Stellen beworben und habe in dieser Zeit mit höchstem Interesse von Thomas Kuhn gelesen, „Die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen“, und dafür interessierte ich mich, und, wenn ich nicht in der DDR studiert hätte, hätte ich möglicherweise irgendeine soziologische oder wissenschaftstheoretische Sache schon vorher gemacht, aber so ging's halt dann erst danach, und nach einem Ausflug ans Theater in Karl-Marx-Stadt seinerzeit, heute Chemnitz, und hatte aber inzwischen schon meine Familienzusammenführung beantragt zu einer erfundenen Verlobten, die meine Cousine war, und kam dann in den Westen und suchte nach einer Gelegenheit, aus diesem Interesse an Thomas Kuhn irgend etwas Gescheites zu machen und auch zu promovieren.

R.: Wie kamen Sie an das Buch von Thomas Kuhn? Anfang der siebziger Jahre gab es doch sogar zur Suhrkamp-Literatur ziemliche Zugangsprobleme.

H.: Ja, in meiner DDR-Zeit, um es mal abgekürzt zu sagen, rochen alle guten Bücher, die ich aus dem Westen hatte, nach Waschpulver, weil meine Tante die immer in Waschpulverpakete tat. Also das Ding roch auch nach Waschpulver, und so war das halt in irgendeinem Weihnachtspaket übergekommen. Und ich hatte vorher schon fast alles, was irgendwie erreichbar war, von Marshall McLuhan verschlungen, und dann Thomas Kuhn, also diese ganze Richtung hat mich schon interessiert, und dann ergab es sich, daß an der FU ein Verwandter von mir bei Lepenies promoviert hat oder sich habilitiert hat zu dem Zeitpunkt, und Lepenies hatte ein Forschungsprogramm der Verzeitlichung, also Thema war „Verzeitlichung von Theorie“.

Hintergrund war die Vorstellung, wenn die Ordnungskriterien bestimmter Wissenschaften nicht mehr reichten, um die Vielfalt der Ereignisse irgendwie oder der einzusortierenden Dinge zu betrachten, dann kam zu verschiedenen Zeitpunkten in verschiedenen wissenschaftlichen Gebieten die Dimension der Zeit dazu. Da versuchte ich dann hineinzukommen und machte den Vorschlag, in diesem Kontext Thomas Kuhn, der zwar wissenschaftliche Paradigmenwechsel untersucht hatte, aber eigentlich keinen, der in der Technik stattfindet, also Theorien, die in der Technik stattfinden, die eigentlich noch leichter zu untersuchen sein müßten, weil sie eben auch durch technische Probleme irgendwie getrieben sind, nicht nur durch irgendwelche wissenschaftliche Suche nach der absoluten Wahrheit.

So, und das klappte, und ich arbeitete dann zu dem Zeitpunkt schon bei Schering als Mathematiker, das war aber nur auf ein halbes Jahr begrenzt, und stieg dann um in dieses Projekt bei Lepenies. Beurteilt, weil er sagte, ich könne ihm da sicherlich auch viel erzählen, weil er von Technik keine Ahnung hat, beurteilt sowohl von der TU, Professor Krause, als auch von der FU, also wie so zwischen den Welten. So, und in diesem ganzen Zusammenhang war es natürlich für mich auch als Jung-DDR-Ex-Bürger attraktiv, in die USA zu reisen und da war ich dann also 5 bis 6 Monate, um auf dieser Tour dann alle Zeitzeugen des ganzen Themas da nach einer entsprechenden Vorbereitung mal zu interviewen.

Die USA-Reise

R.: In welchem Jahr fand die USA-Reise statt?

H.: Die USA-Reise war 77, von Januar bis Juni 1977, die war damals gefördert von der Thyssen-Stiftung, und das steht hier nicht in dem Lebenslauf, von meiner Tante die sich da noch spendabel betätigt hatte. Ja, das war also der Einstieg, im Prinzip die Grundidee, Thomas Kuhn auf die Theoriebildung in der Technik mal anzuwenden.

R.: Wie haben Sie die Reise denn vorbereitet? Sie haben ja eine ganze Reihe von Informationstheoretikern und auch Praktikern, die in der Industrie gearbeitet haben in den USA, die seit den 40er Jahren die wesentlichen Figuren für die sich entwickelnde Informationstheorie und Kommunikationstheorie waren, aufgesucht, haben Sie die Kontakte vorher von Berlin aus gemacht oder haben Sie sich in den USA sozusagen dann so von Empfehlung zu Empfehlung gehandelt?

H.: Sowohl als auch. Die meisten hatte ich natürlich vorher. Ich hatte mit der Arbeit 1 1/2 Jahre vor der Reise begonnen, also im August 75, so daß ich hinreichend Zeit hatte, um da im Grundsatz überhaupt mitreden zu können, und habe die meisten vorher mir organisiert, aber einige haben sich auch dann, weil sie direkt am Wege lagen, so ergeben, also z. B. Heinz von Foerster, wenn ich mich nicht irre, hat sich dann so ergeben, weil ich in der

Gegend war und dann auch in den USA eigentlich erst diese Macy-Tagungen so richtig habe einsehen können, und dann daraus erst gelernt habe, welche Rolle er da gespielt hat usw.

Was ich festgestellt habe, war, daß alle inklusive eines von mir Befragten, der zu dem Zeitpunkt noch in der Siemens AG, ich glaube, im erweiterten Vorstand irgendwie war, und bei dem habe ich zwei Stunden Zeit gekriegt ohne weiteres, alle fanden es interessant, einmal über die Historie zu reden, das war keine Schwierigkeit, leider ist Dennis Gabor gestorben, bevor ich das machen konnte. Ich hatte schon einen ersten Kontakt und einen Termin da so in Aussicht, aber da ist er dann gestorben. Das war schade, aber ansonsten war das ohne Schwierigkeiten, und besonders hilfreich waren Leute auch in Bell Laboratories, die mir örtlich geholfen haben, alle möglichen Kontakte herzustellen, aber auch die Wege bereitet haben in das AT&T-Archiv. Also ich habe nicht nur Leute interviewt, sondern ich habe auch im MIT und AT&T-Archiv in New Jersey gesessen und Dokumente studiert. War sehr spannend. Einige Gesprächspartner waren auch dann nicht erreichbar, – ich kann mich an einen erinnern, der offensichtlich noch in irgendwelchen militärischen Sachen aktiv war, und der sagte, hat er, schätze ich, mal so im Hintergrund checken lassen, daß ich da erst vor zwei Jahren irgendwie aus dem Osten gekommen war, und das lief dann nicht, – aber alle wesentlichen, klappte eigentlich gut.

Geschichte der Informationstheorie in Deutschland

R.: Um das richtig zu verstehen, Sie haben also in Berlin auch Archivmaterial, also das, was Ihnen dort verfügbar war zur Geschichte der Informationstheorie und Informationstechnik, aufgearbeitet. Darunter fiel ja auch ein wenig, und das ist in Ihrer Arbeit ja auch enthalten, zur Geschichte der Informationstechnik in Deutschland. Können Sie dazu eine zusammenfassende kleine Erklärung geben?

H.: Ja, in Deutschland war ja die Informationstechnik oder die Kommunikationstechnik zu dem Zeitpunkt vorm 2. Weltkrieg und auch noch lange Zeit danach anders organisiert als in den USA. Man kann sagen, in den USA ganz grob und holzschnittartig war der Markt nach Techniken sortiert, und zu jeder Technik, Rundfunk, Fernsprechen oder auch Telegrafie gab es Unternehmen, die sowohl die Technik herstellten als auch den Betrieb machten, beides. In Deutschland war es anders, da gab es Firmen, die Technik hier entwickelten und herstellten, und dann gab's die Reichspost, die im wesentlichen den Betrieb machte oder so, und insofern waren die Organisationen dann auch der Unternehmen im eigentlichen Sinne intern anders, und letztendlich hat sich das auch bis auf einzelne Forschungsgruppen runtergebrochen, daß, wie bei AT&T in den USA, deren Aufgabe „Communication“ war mit allen Dingen, die dazu gehörten, während die deutschen Unternehmen halt technischer orientiert waren.

So, dann war natürlich ein wesentlicher Punkt, weshalb da in den USA mehr passierte, die Durchdringung mit Telegrafendiensten und Geräten, Netzen und auch mit Telefongeräten und den entsprechenden Netzen war natürlich viel höher in den USA, und in großen Städten waren kritische Massen erreicht, die so in Deutschland zu dem Zeitpunkt noch nicht existierten. Also es gibt Bilder schon Anfang des Jahrhunderts von New York beispielsweise, da konnte man kaum den Himmel sehen vor Drähten, die da gespannt waren. Und da mußten die sich irgendwie technisch was einfallen lassen, weil, wenn der Sturm dann mal dazwischen ging, dann stand halt alles.

R.: Wie ist es denn aber mit der Theoriebildung in den Anfängen in Deutschland oder in Europa – Sie haben ja auch über Deutschland hinaus geschaut – im Verhältnis zu den USA? In den USA scheint es ja traditionell so eine Art Gründung universitärer Forschungseinrichtungen durch Fonds zu geben, die von der Industrie bereitgestellt werden. Ist das ein signifikanter Unterschied oder wie ist das in der deutschen Entwicklungsgeschichte im Verhältnis dazu gewesen?

H.: In der Zeit bis zum 2. Weltkrieg, da gibt's einen wesentlichen Unterschied, der darin bestand, daß in Deutschland die Nachrichtentechnik immer verstanden wurde als ein Teil der Physik, während in den USA dann, wenn hochkarätige Wissenschaftler irgendwie an das Thema herankamen, „Communication“ verstanden wurde als ein Gebiet, das mit der Mathematik zu tun hat. Das heißt, man kann klar sehen, daß in den USA bei Bell zu der Zeit viele Mathematiker in den Forschungslabors waren und in Deutschland eigentlich Elektrotechniker, die es schon als eigenständige Kurse an den Hochschulen gab, die aus der Physik kamen. So, insofern ist auch die Kriegsforschung, also im 2. Weltkrieg, hat auch in den USA einen mehr mathematischen Flavour als in Deutschland. Das sind Nuancen, aber ich glaube, das spielt schon eine Rolle, wenn man an Leute wie Norbert Wiener oder auch Shannon denkt, die Mathematiker waren und nicht Physiker.

Diese Mischung gab es in, gab's also in Deutschland selten, es gibt das Gegenprogramm oder das Gegenbeispiel Dennis Gabor, der Physiker war, der auch vor dem 2. Weltkrieg mal bei Siemens auf einem Gebiet der Elektronenmikroskopie gearbeitet hat, also ein Gebiet, was sich direkt auf der Physik eigentlich ergeben hat, und der dann später das einzige andere Informationsmodell nach dem 2. Weltkrieg vorgestellt hat, und da konnte man sehen an dem Unterschied dieser beiden Modelle —

R.: — also Shannon und Gabor —

H.: — Shannon und Gabor, wie das eines Mathematikers und wie das eines Physikers aussieht. Das ist sehr interessant.

Nach dem 2. Weltkrieg war natürlich die Situation in den USA und Deutschland völlig anders. Es gab einen gewaltigen Boom in den USA an

elektrotechnischer oder auch kommunikationstechnischer Ausbildung. Es gab jede Menge an Universitäten, die Institute gegründet hatten, die Leute, die Nachrichtensoldaten im Krieg geworden waren, dann auch praktisch irgendwie beschäftigten, und dann war das Bestreben groß, auch zu promovieren. Also, es gab da sehr viel Bedarf an Themen.

Man kann sehen, daß in dem Jahr 1927, also vor dem 2. Weltkrieg, der Anteil der USA an der Anzahl der installierten Telefone in der Welt 60 % war, und Deutschland hatte 10 %. So, und von daher war das Problem da eben ein anderes.

Der Ursprung der Informations- und Kommunikationstheorie

Übrigens interessant, daß einer der Startpunkte für das ganze Thema der Geschichte der Information oder der Informationstheoretik der Internationale Kongreß der Fernmeldetechniker in Como 1927 war, auf dem sehr viel begann, und interessanterweise hat kurz vorher oder kurz nachher 1927 in Como direkt im Anschluß die Tagung der Physiker, also der wesentlichsten Physiker stattgefunden, der entsprechenden, und auch das war ein Umbruchkongreß. Man hatte also zwei hochattraktive wissenschaftliche oder technische Richtungen da zu dem Zeitpunkt.

Und dazu kann man vielleicht noch eine Anekdote berichten. Das erste Informationskonzept war ja 1928 von Hartley vorgestellt worden, bezog sich auf die Telegrafie, aber hier wurde zum ersten Mal der Begriff der Information eingeführt, und Hartley hatte diesen Vortrag 1927 in Como gehalten und damit auch ein gewisses Echo in Deutschland und bei anderen erzielt, und Hartley war später auch noch während des Krieges und nach dem Krieg bis 1946 bestimmt, nebenbei oder dann auch hauptamtlich damit beschäftigt, die Relativitätstheorie zu widerlegen. Vielleicht hatte er Begegnungen in Como zu dem Zeitpunkt, die ihn dazu veranlaßten, nachzuweisen, daß Einstein also nicht Recht hätte.

Shannon und Gabor

R.: Ist es möglich, daß Sie so aus der hohlen Hand uns diese beiden informationstheoretischen Modelle, Shannon und Gabor, skizzieren oder müssen wir uns dazu in das Buch hineinbegeben?

H.: Das Informationsmodell von Shannon ist ein statistisches, das sich darauf bezieht, eine Nachricht bekommt ihren Informationswert aus der Wahrscheinlichkeit ihres Auftretens, also aus der Gesamtheit ähnlicher Nachrichten. Das ist sehr wichtig im Zusammenhang mit der Kryptographie, also mit der Verschlüsselung von Nachrichten, und das ist auch wichtig mit der Codierung, im Zusammenhang mit der Codierung von Nachrichten. Und diesem statistischen Informationsbegriff setzt er oder diesen verbindet er mit dem statistischen Begriff der Störung. Er hat also die „Information“ und die

„Störung“, das sind statistische Begriffe und daraus entsteht eigentlich die Stärke seines Informationsbegriffes. Gabor hat auch den Begriff der „Information“ benutzt, hat sich auch auf die Arbeit von Hartley bezogen, hat aber überhaupt nicht den Begriff der „Störung“ betrachtet, wie eine Information über einen Kanal angesichts von Störungen kommt, sondern hat die Information als gewissermaßen eine Fläche definiert aus Bandbreite und Zeit, also Zeit und Frequenz, mehr auf dem Hintergrund der klassischen Fourier-Analyse und analytischer Mathematik.

Dieser Begriff, dieser Informationsbegriff spielt eine Rolle, wenn man auflösen will, wenn man also aus einem Zeit-Frequenz-Gebilde irgend einem Signal, das natürlich in Zeit, also in Dauer und in Frequenz eine bestimmte Ausdehnung hat, da jetzt eine Trennschärfe, eine Auflösung definieren will und sich zwischen Bandbreite und Zeit optimieren kann, also zwischen diesen beiden Dingen. Das hat eher mit der Sprachkommunikation zu tun als mit Zeichenkommunikation, also mit analoger Übertragung, hat Verwandtschaft mit seinen Überlegungen zur Elektronenmikroskopie, und wie man also ganz fein auflösen kann in verschiedenen Bereichen. So, das ist also einer der Unterschiede. Das eine ist eher ein semantisch-syntaktisches Element/Konzept und das andere hat ein physikalisches.

Dafür spielte auch eine Rolle, daß Gabor, der ja bekanntermaßen für das Konzept und die Erfindung der Holographie den Nobelpreis gekriegt hat, und deshalb ist es auch gerade interessant, die beiden Konzepte von zwei hochkarätigen Wissenschaftlern ihrer jeweiligen Fachrichtung miteinander zu vergleichen. Dafür ist es wichtig zu wissen, daß Gabor als zweifelhafter Ausländer in Großbritannien, er ist also vor dem Krieg nach Großbritannien ausgewandert, also geflüchtet aus Deutschland, weil er ungarischer Jude war, und hat dann da gearbeitet, ist aber nie an kriegsrelevante Themen herangelassen worden, hat sich also weiter eben auf Themen, die nicht mit den wesentlichen kriegstechnischen Themen, wie Radar usw., zu tun hatten, befassen müssen, Sprachkommunikation und andere Dinge, und insofern reflektiert dieses unterschiedliche Konzept auch diesen unterschiedlichen Background.

Wenn ich mich recht erinnere, habe ich zu der Wirkung dieser beiden Konzepte eine Übersicht gegeben, die aus dem Science Citation Index, also in welchen Gebieten würden denn beide Informationskonzepte eigentlich am meisten zitiert, hinterher haben sich hier Wirkungsschwerpunkte irgendwie verschoben, und das ist tatsächlich der Fall —

Im Jahre 1976, also 30 Jahre nach der, eigentlich nach dem Start der Nachkriegsdiskussion zum Thema Informationstheorie, kann man sagen, daß Gabors Arbeiten vor allen Dingen in Zeitschriften und Artikeln zum Thema Akustik, Sprechen, Hören zitiert wurden und in nachrichtentechnisch-elektronischen Zeitschriften. Shannon wurde zum größten Teil – seltsamerweise – ich habe mir das auch nicht so ganz erklären

können, in Zeitschriften der Bereiche Ökologie, Verhalten und Biosysteme zitiert im Jahr 1976. Er hat ja eine als junger Student oder Absolvent hat er seine Dissertation gemacht über eine genetische Algebra, aber nicht die wird zitiert, sondern die Informationstheorie. Dann natürlich im Bereich Informatik, Computer-Science und im Gebiet Angewandte Mathematik, Statistik, mathematische Biologie. Da sieht man schon die Bereiche, wo das jeweils wirkt.

R.: Dieser Zugriff auf Shannon liegt doch ein bißchen nahe, wenn man an die theoretische Fundierung denkt, also Statistik, also im Grunde auch an die Errungenschaften der Quanten-Mechanik angenähert oder von daher gespeist, und die Auseinandersetzung im Umfeld, beginnend schon in den 50er Jahren und besonders in den 70er Jahren, ging ja auch um neurophysiologische Fragen, also die Ideen Biocomputer und so etwas. Also, ich könnte mir vorstellen, daß Shannon in dieser beginnenden Artificial Intelligence-Diskussion eben schon sehr stark vertreten war.

H.: Da war er natürlich vertreten, und man darf bei diesem Maß, wenn man also den Science Citation Index da nimmt, nicht vergessen, daß diese Aussage bezog sich auf Arbeiten, die ihn selber mit seiner Informationstheorie zitiert haben. Die Arbeit war natürlich schon 30 Jahre alt zu dem Zeitpunkt, und die Leute, die wirklich Technik gemacht haben, die haben nicht mehr eine Arbeit von 1948 zitiert, sondern die haben halt die fünfte, sechste, siebente Generation an Publikationen zitiert und sich um Codes oder sonstwas da gekümmert, und insofern ist es eher der generelle philosophische Approach, der hier durch eine solche Analyse rauskommt. Ja, ich hatte vorhin von den Mathematikern und den Physikern gesprochen, und der Einsatz von Mathematikern in den USA nach dem Krieg absolut war zwar auch nicht so, weil's einfach so viele Mathematiker gar nicht gab, die von den Kursen kamen, aber das Wachstum zwischen 45 und 55 war 1.700%. Also mit dem Wachstum der ganzen entsprechenden Elektronikindustrien, davon hatten überproportional die Mathematiker in den USA noch profitiert.

Hartley

Die erste Fragestellung war eigentlich, warum hat man sich in dieser Technik in den 20er Jahren, 1928 und davor in den 20er Jahren, mit dem Thema Information beschäftigt und dann praktisch 20 Jahre lang nicht mehr und dann erst wieder Ende der 40er Jahre. Was ist dazwischen passiert? Das war also die erste Frage, die mich damals beschäftigte, und dazu muß man sich einmal mit der Person von Hartley befassen, der den Informationsbegriff in diese ganze Technik überhaupt eingebracht hatte, und Hartley war ein Ingenieur mit philosophischen Ambitionen. Sonst hätte er auch nicht jahrzehntelang gegen die Relativitätstheorie gekämpft. Das ist erst einmal das Besondere von ihm her, und mir ist es gelungen, herauszukriegen, daß er sich in seinem philosophischen Anspruch für den

Begriff Information, den Begriff Information mit der Telegrafie zusammenzubringen, im Gespräch mit Kollegen zu der Zeit auf Charles Sanders Peirce, also einen Philosophen, berufen hatte, der eine vage Informationsdefinition in sein Werk gebracht hatte, die eine vage Ähnlichkeit hat mit dem, was Hartley da nannte. Zu der Zeit nannte man das, also den Nachrichteninhalte, der mit der Telegrafie übertragen wurde, in den USA allgemein „Intelligence“. Also „Intelligence“ war eigentlich der Nachrichtenbegriff, „Information“ gab's gar nicht, diesen Begriff. Der mußte also irgendwo herkommen.

R.: Das, was auch im CIA enthalten ist, Central Intelligence Agency, dieser Begriff von „Intelligence“.

H.: Ja, damals war der Begriff „Nachricht“ als „Intelligence“ erhalten geblieben, früher war's, eben in den 20er Jahren, war es ganz üblich zu sagen „how to transmit intelligence, limitations of transmissions of intelligence“ usw., technisch bezogen. Und Hartley kam dann plötzlich mit dem Informationsbegriff. Das ist ein Punkt. Der zweite ist, was war damals eigentlich das Problem, das technische Problem, weshalb man überhaupt sich über solche Theorien Gedanken machen mußte. Und das war ganz einfach die Übertragung von Nachrichten in der Telegrafie zu zählen an Buchstaben, Zeichen, ganz einfach, die elektronische, elektrische, ja sogar die optische Übertragung hat halt als digitales Medium begonnen, nämlich mit Zeichenübertragung.

So, und dafür mußte man wissen, wie muß man ein Seekabel z. B. dimensionieren, damit man auch die Anzahl von Telegrafverbindungen überkriegt, die man eigentlich überkriegen will; denn es war sehr teuer, solche Telegrafenkabel zu legen, und der Kupferaufwand pro Kilometer war sehr hoch, und es war also sehr schwierig, und auch die transkontinentalen Kabel, die man legte, mußten dimensioniert werden. Das war die eine Fragestellung. Und in diesem weiteren Umfeld entstanden das berühmte Abtasttheorem von Nyquist, populärwissenschaftlich gesprochen heißt das, wenn man sich eine Sinuskurve vorstellt, wenn man also eine Nachricht als eine Frequenz überträgt, also als eine Schwingung auf einem Kabel, ja dann kann man sich irgendwann die kleinste Sinuskurve vorstellen, die engste, die hochfrequenteste, die da drin steckt, und um diese Sinuskurve festzulegen, braucht man zwei Abtastwerte. Man muß also zweimal wissen, in einem bestimmten festgelegten Intervall, wie die Amplitude, also die Stärke dieser Schwingung ist, dann hat man sie beschrieben.

Das Nyquist-Abtasttheorem und der Informationsbegriff von Hartley, die kommen aus dieser Zeit und haben diesen technischen Background. Und nachdem man das nun Ende der 20er Jahre veröffentlicht hatte, passierte zweierlei: Einmal änderte sich die Technik, die Technik schritt voran, und man stellte plötzlich fest, daß man Wechselstromtelegrafie einführen konnte, d.h. man konnte jetzt die verschiedensten Frequenzbänder voneinander

unabhängig bespielen auf einem solchen Kabel, und unglaubliche Kapazitätswerten standen plötzlich zur Verfügung, das war das eine, und diese Wechselstromtelegrafie legte man in Lücken, die die wachsenden Telefonkabelnetze eigentlich übrig ließen, so daß diese Kapazität so gewissermaßen nebenbei zu kriegen war.

Zweitens muß man sich vorstellen, daß im Beginn der Telegrafiegeschichte ein Telegrafienapparat, ein Hochleistungstelegrafienapparat, sagen wir mal an beiden Enden eines Ozeankabels, das nur für Telegrafie gelegt worden war, ein richtiges kleines Industrieunternehmen war. Da standen also Maschinen, die seinerzeit von sieben Leuten bedient wurden, und an jedem Ende, und die versuchten, mit höchster Geschwindigkeit jetzt die Nachrichten durchzukriegen, weil die Warteschlange von möglichen Nachrichten, die da übertragen werden sollte, eben sehr groß war. Das war sehr teuer und technisch hochkompliziert. In den 20er Jahren und dann in den 30er Jahren aber insbesondere kam man zu einer ganz anderen Art von Telegrafie, man sagte nämlich, solche Superhochleistungsstrecken sind nicht das Richtige, sondern man muß die Telegrafie eigentlich in jedes Postamt kriegen. Deshalb braucht man Geräte, die so billig und einfach sind wie eine Schreibmaschine, Fernschreiber, und um die so billig und einfach machen zu können, haben die halt nur eine Geschwindigkeit von 50 Bit pro Sekunde und nicht 2.000, und die müssen aber alle, die synchronisieren sich selber, die müssen nicht, das ganze Netz muß nicht synchron sein, sondern die haben bestimmte Zeichen, mit denen sie sich in den gleichen Takt bringen und dann verstehen die sich auch. Und dann sind solche Techniken robuster miteinander zu vernetzen, Geschwindigkeit braucht nicht so groß zu sein, die Endgeräte sind viel billiger, und damit sind diese ganzen Hochleistungsfragen, wieviel Geschwindigkeit packt man in ein Kabel, eigentlich an beiden Enden überflüssig gewesen. Das war mit dem Ende der zwanziger Jahre. Und dann ging's ums Fernsprechen. Dann kamen ganz andere Fragen, Rundfunk, Fernsehen.

Rüstungsforschung

R.: Was war dazwischen in Bezug auf den Krieg und die Rüstungsforschung oder die Rüstungstechnik, wie weit hat die in dieses Feld hineingespielt?

H.: Ja, der Rundfunk und das Fernsprechen vor dem 2. Weltkrieg waren Techniken, kann man sagen, die eigentlich durch analoge Probleme, also eher durch physikalische Probleme der Ausbreitung, der Sprachverständlichkeit usw. bestimmt waren. Der 2. Weltkrieg brachte eine Reihe von technischen Problemstellungen, die das Spiel wieder völlig änderten, und zwar Techniken, die auch Nachrichtentechniken waren, aber die sich dann im weiteren natürlich zu beendenden, im Krieg hauptsächlich eine Rolle spielten, wie beispielsweise die Radartechnik, Mikrowellen-Technik, Kurz-/Kürzestwellen, entwickelt für die Radartechnik, aber später

auch brauchbar nach dem Krieg dann, um analoge Techniken, wie das Fernsprechen zu digitalisieren.

Puls-Code-Modulation war das Stichwort. Man hatte also plötzlich so kurze Schaltungstechniken und so hohe Frequenzen, die man behandeln konnte, daß man bis dahin analoge Übertragungsmittel absehbar digitalisieren konnte. Das war ein Punkt auf dem klassischen nachrichtentechnischen Sektor. Das zweite große Thema war die Feuerleittechnik, und das geht natürlich in die Entwicklung des Computers hinein. Das Feuerleitproblem bestand darin, daß man eine Kanone, eine bodengestützte Kanone so führen mußte, daß sie mit dem richtigen Vorhaltewinkel, in den die Geschwindigkeit des Flugzeuges einging, das man hatte, hier und auch die Geschwindigkeit des Geschosses und Windgeschwindigkeiten, also hochkompliziert, und dies Feuerleitproblem wurde zunächst mal so gelöst, daß man numerisch per Hand Bücher von Tabellen berechnete für alle möglichen Windgeschwindigkeiten und Geschößtypen und Geschwindigkeiten von Flugzeugen, und aus diesen Tabellen mußten dann die entsprechenden Winkel eingestellt werden und dann konnte abgeschossen werden. Zwei technische Entwicklungen lösten dieses Problem für den zweiten Weltkrieg, das eine war ein Annäherungszünder, d. h. die Granaten brauchten nicht mehr unbedingt das Flugzeug zu treffen, sondern hatte einen Sensor gewissermaßen, der dann schon in der Nähe zur Explosion führte, und das zweite war ein Feuerleitcomputer, der diese ganzen Inputs zwar von Tabellen hatte, aber dann die Berechnungen der Winkeleinstellung direkt selber machen konnte. Dieser Computer war zunächst mal ein analoger Computer und kein digitaler.

R.: Muß nicht, nebenbei gefragt, wenn man jetzt an die Flak denkt, die tatsächliche Bahn des Flugzeugs da mit einbezogen werden? Also müssen es nicht solche regressiven Berechnungen sein, die immer wieder dann auch noch den Abgleich mit der tatsächlichen Flugbahn vollziehen?

H.: Ja.

R.: Und das hat dieser Analog-Rechner getan?

H.: Der Analog-Rechner hat aus den Inputs, er hat also Inputs gekriegt von Windgeschwindigkeiten, von Geschößtyp, Geschütztyp und Peilungsergebnissen natürlich, also man peilte das Ding irgendwie an, das waren also diese ganzen Einstellungen, die aus den Tabellen kamen, und daraus stellte der praktisch die Kanone ein. Da war also keine Mechanik mehr dazwischen, die irgendwie bewegt werden mußte, sondern das waren die Servo-Motoren, die ganzen Servo-Motoren und Servo-Theorie. In diesem ganzen Komplex der Feuerleitforschung, auch da war Norbert Wiener z. B. auch tätig.

R.: Welcher Analog-Rechner war das denn? Wer hat den denn ...

H.: Den hat Bell Laboratories gebaut, also von AT&T, der hieß — „M 5“, „MODUL 5“. Also der Analog-Rechner war ein Kommandogerät, das die Daten, die über verschiedene Peilungen, also zu bestimmten Bahnpositionen wurde also gepeilt, und je länger man den Lauf verfolgen konnte, desto genauer war die Vorhersage, und zu dem gleichen Punkt gehört es auch, daß diese Ortungsbatterien, die Suchscheinwerfer, optische und akustische Sensoren und Radarmessungen enthielten und gleichzeitig die entsprechenden Feuerbatterien steuerten, diese ganzen Systeme mußten vernetzt werden und wurden von diesem einen Rechner gesteuert.

Und in dem Problem der Vorhersage dieser ganzen Servo-Technik und in der Feuerleitung steckte das Problem der Vorhersage drin. Man mußte also aus den Bahndaten der Vergangenheit vorhersagen, wo das Flugzeug zu einem bestimmten Zeitpunkt Delta t später ist, und da kam Norbert Wieners Filtertheorie, er mußte also die ganzen störenden Einflüsse, die dazwischen irgendwie sein könnten, so rausfiltern, daß man eine glatte Bahnangabe hat und dann relativ glatt vorhersagen kann, wo das Flugzeug dann sein wird. Und – ich sehe gerade, „M 9“ heißt das Ding. Also der große technische Durchbruch waren eigentlich der elektrische Analog-Rechner M 9 und das Mikrowellen-Radar, was die dann hatten, 584, und einen Annäherungszünder. Mit diesen drei Elementen, Radar, elektronischer Analog-Rechner und Annäherungszünder war das in den Griff zu kriegen.

Ja, das war also dieses Thema der Feuerleittechnik und die entsprechenden Vorhersagetheorien, die daraus kamen von Norbert Wiener und auch anderen Statistikern, Fisher usw., die Autokorrelationsfunktionen, die also eine, die im Prinzip sagt, wie hängt ein späterer Punkt in einer Bahn oder in einer Kurve von einem vorher eingenommenen Punkt ab. Dies war, nebenbei bemerkt, auch der Punkt, in den ich technisch in das ganze Thema reinkam in der Zeit, als ich nämlich bei Schering gearbeitet hatte. Bevor ich diese Arbeit anfang, war ich in der Analyse von EEG-Daten, also man versuchte, – man versucht es heute auch noch, aber auf einem höheren Level - aus den Analysen von Gehirnstromfunktionen rauszukriegen die Wirkung von Medikamenten. Bei dieser Analyse war ich, und das ist praktisch auch eine Autokorrelationsanalyse, wie kann also ein Alpha-Rhythmus prognostiziert werden aus dem, was vorher passiert ist. Dann wurde dieses, gab's Vorschläge, dieses M 9, also diesen analogen Feuerleitcomputer zu einem digitalen Feuerleitcomputer zu machen, und zwar von George Stibitz, der bei Bell arbeitete und von dem Background von Relaisnetzwerken bei der Vermittlung von Telefongesprächen kam. Von ihm stammte der Vorschlag, hier einen digitalen Rechner zu machen, der kam nicht mehr zum Einsatz im Krieg, aber das war eigentlich der Beginn der digitalen Denkweise.

R.: Haben Sie Mr. Stibitz interviewt? Lebte der noch?

H.: Nein, der lebte nicht mehr.

Shannon

H.: Wenn man zu Shannon in diesem Zusammenhang kommt, Shannon hatte bei Vannevar Bush und MIT immerhin mitgearbeitet an dem berühmten „Differential Analyzer“. Der „Differential Analyzer“ war eine Maschine, die den Weg zum General-Purpose-Computer auf analogem Weg versuchte, also mit Potentiometern und allen möglichen analogen Wegen, auch mechanisch, wenn ich da ... So, und dieser „Differential Analyzer“ hatte ganze Relaisnetzwerke, die seiner Programmierung dienten, und diese Relaisnetzwerke des Analyzers gingen laufend kaputt. Und das war einer der Hintergründe für Shannons Arbeit, die später relativ berühmt geworden ist, wie „how to construct reliable mechanisms from unreliable components“, also wie kann man aus unzuverlässigen Komponenten zuverlässige Gesamtsysteme konstruieren, also die Redundanz einer Struktur einzubauen.

Übrigens, ist es eine schöne Randgeschichte in meinem Aufenthalt da in den USA, habe ich auch mir mal in Boston, also in Cambridge, als ich bei MIT in den Archiven war, mir den Spaß gemacht, mir eine Nacht durch alte amerikanische Science-Fiction-Filme anzugucken. Das war ein großer Spaß da für einen Studenten, und da konnte man sehen, daß in einem Science-Fiction-Film, der 1951 gedreht worden war und halt im Jahr 200X spielen sollte, als der große Computer der Zukunft dieser „Differential Analyzer“ vorgestellt wurde, also der Analog-Computer, der dann natürlich da nicht mehr viel länger existierte, weil die digitalen Rechner dann doch wesentlich besser waren.

2. Weltkrieg

So, das war das Thema Servo-Mechanik und Vorhersagetheorie, Norbert Wiener und Kybernetik. Eigentlich Kybernetik ist ja die „Steuermannskunst“, übersetzt, und das hat viel mit Vorhersage und halt ähnlichen Problemen wie dem Feuerleitthema zu tun. So, dann war das dritte Element nach Radar, Ortung und Feuerleittechnik die Fernmeldetechnik selber, die Nachrichtentechnik im Krieg, da ging's also immer um Geschwindigkeit, da waren die ganzen Anforderungen, die natürlich gestellt wurden, völlig andere als vorher, da ging es darum, Funkverbindungen schnellstmöglich zu etablieren in irgendeinem Kriegsgebiet, und da spielte die Mikrowellentechnik auch schon eine Rolle, Richtfunk, und natürlich die Verschlüsselungstechnik, ganz berühmt, und da, Shannon war mit daran beteiligt, die Verschlüsselungstechnik für eine Gesprächsverbindung zwischen Churchill und Roosevelt, die im Krieg stattgefunden hatte, die organisiert worden war, mit zu etablieren, und 1942 war Turing aus den USA der, ja in der ganzen Verschlüsselungsgruppe, da mitgearbeitet hatte in England, 1942 in die USA gereist und arbeitete da mit Shannon bei Bell zusammen an solchen Themen. So, natürlich haben auch im 2. Weltkrieg die klassischen Techniken, Telegrafie, Telefonie, einen ganz speziellen Aufschwung und eine ganz spezielle Bedeutung gehabt, und jetzt

war es plötzlich wieder nicht mehr so, daß Bandbreiten und Kanäle und Kabel in jeder Menge zur Verfügung standen, sondern man mußte Nachrichten richtig verschlüsseln und sie dann aber auch in der hinreichenden Menge in die Kanäle kriegen, und letztendlich kann man sagen, daß nach dem Krieg so viele neue Mischtechniken absehbar waren aus hochfrequenten, aus Mikrowellen-Verbindungen, aus PCM-Techniken und kanalsparenden Techniken, daß es für alle Beteiligten außerordentlich verwirrend war zu überprüfen, welche technischen Vorschläge noch Sinn machten und welche nicht, wieviel Nachrichten, wieviel Impulse, wieviel Codes man eigentlich noch in einen Kanal reinkriegen konnte oder nicht, und deshalb war überhaupt das Interesse, einen solchen Maßstab zu haben, gegen den man die Dinge vergleichen konnte, außerordentlich groß. Und das war die Informationstheorie.

Shannon

Und das war der große Schritt, den Shannon dann brachte, nämlich die Information jetzt auch zu betrachten vor dem Hintergrund gestörter Kanäle, und zwar technisch gestörter Kanäle, wie z. B. in Funkverbindungen u.a. auch, um dann zu sagen, wie muß eine Nachricht codiert sein, damit sie soviel Redundanz, der Begriff entstand dann, enthält, daß sie auch bei gestörten Kanälen immer noch eine zuverlässige Nachrichtenübertragung ergibt. Und das war eigentlich die wesentliche Aussage von Shannon, und das war überraschend für viele zu dem Zeitpunkt. Ein Kanal kann außerordentlich stark gestört sein, wenn seine Kanalkapazität größer ist als die Kapazität, die durch diese Störungen, auch wenn sie stochastisch sind, vernichtet wird, läßt sich immer eine Codierung finden, daß die Nachrichten mit beliebiger Zuverlässigkeit übertragen werden können. Und das war neu. Die zweite Art der Störung, die es natürlich gab, waren Störungen, Störungen in Anführungsstrichen muß man sagen, von einer Quelle zu einem Empfänger, von dem die Quelle nicht wollte, daß er die Nachricht empfängt. Dann mußte zwischen Quelle und dem eigentlichen Empfänger eine künstliche Störung in Form einer Codierung eingeführt werden, eine Verschlüsselung, die es dem nichtberechtigten Empfänger halt nicht erlaubt, diese Nachricht zu empfangen. Und Shannon hatte gearbeitet im Krieg in der Kryptographie und die zweite Arbeit, die er dann veröffentlichte nach dem Krieg, war die „Communication Theory of Secrecy Systems“, das heißt, da war die Fragestellung „Wie muß man verschlüsseln?“. Überhaupt kann man sagen, daß in der Kommunikationstechnik und -theorie und auch in der Physik immer diese Beziehung zwischen, vom Anfang des Jahrhunderts, zwischen Beobachter und Prozeß immer eine Rolle spielt. Der Prozeß, der den Beobachter beeinflusst, aber der Beobachter, der auch den Prozeß beeinflusst, und dann in der Kryptographie Beobachter und Prozeß, gewissermaßen die miteinander eine Vereinbarung treffen, um den, voll symmetrisch, den Prozeß zu gestalten.

R.: Shannon hat ja einen Teil seiner Aufsätze in der Zeit nicht alleine geschrieben, sondern z. B. mit Weaver zusammen, wenn ich mich richtig erinnere. Wissen Sie etwas über die Situation von Weaver?

H.: Warren Weaver war der Leiter der mathematischen Forschung, in der Kriegsforschung im 2. Weltkrieg, also der Chef-Mathematiker gewissermaßen in den USA, und für ihn hat Shannon gearbeitet in der Zeit. Es gibt eine Ausgabe als Buch von seiner Kommunikationstheorie, die mit Weaver zusammen erschienen ist, aber das Originalpapier, was den Hauptteil ausmacht, ist komplett alleine von Shannon geschrieben worden. Er hat dann mit – „Philosophy of PCM“ gibt's da noch, hat er mit anderen zusammen geschrieben.

R.: Ich meinte die Co-Herausgabe mit Weaver zusammen. Interessant ist, daß die Arbeiten Shannons ja alle in einer Zeitschrift von Bell erschienen sind, „Bell's Systems Of Technology Journal“ —

H.: „Bell System Technical Journal“, das ist gewissermaßen die technische Hauszeitschrift da der amerikanischen Telefongesellschaft gewesen. Das war die einfachste Methode für ihn, ein Papier unterzubringen, und man kann sagen, Shannon war jemand oder ist jemand, der in die Vermarktung seiner Theorien in Form, jetzt das richtige Journal mit der weitestmöglichen Verbreitung usw. kein großes Interesse dafür hatte, sondern er hat das geschrieben, was er für richtig hielt, und dann die Zeitschrift genommen, wo es am einfachsten unterzubringen war, wobei das auch eine respektierte technische Zeitschrift natürlich war, das „Bell System Technical Journal“, und er hat dann später auch in anderen Zeitschriften verwandte Arbeiten geschrieben. Shannon selber hat ja noch viele andere Gebiete behandelt von der Konstruktion zuverlässiger Mechanismen, wie schon drüber gesprochen, von unzuverlässigen Komponenten, über Relais-Algebra, d.h. auch als Vorbereitung auf die digitalen Rechner, aber auch zu Schachprogrammen für Computer oder einer Theorie des Jonglierens. Er ist ein passionierter Fahrer von Einrädern gewesen, also Gleichgewichts- und Stabilitätsdinge interessierten ihn da sehr, und eine Sache im besonderen Werke zu späterer Zeit war ein Rechner, mit dem man die vier Grundrechenarten ausführen könnte in römischen Ziffern, und das ist nicht trivial, weil die römischen Ziffern halt nichts mit unserem Zahlensystem zu tun haben und kein Stellensystem besitzen. So, eine Maschine, die ich bei Shannon selber gesehen habe, die auch philosophische Qualitäten hat, ist eine kleine Kiste mit einem Schalter draußen, und wenn man den Schalter betätigt, dann rumort's in der Kiste und man sieht, es ist eigentlich ein Sarg, und der klappt dann auf und es kommt ein Arm raus und zieht an dem Schalter und macht ihn wieder auf Null und dann geht der Deckel wieder zu.

Nach dem 2. Weltkrieg

R.: Wenn man jetzt das Szenario nach dem 2. Weltkrieg in den USA sich ansieht, Sie sagten, da sind jetzt sehr viele neue Elemente eigentlich hinzugekommen, auf verschiedenen Ebenen der Technologie-Entwicklung oder auch des Nachdenkens über diese Techniken. Man sollte beispielsweise auch noch erwähnen, daß Wiener diese kybernetischen Ideen ja zunächst im biologischen Bereich entwickelt hat, also er hat sie im Grunde nicht auf einer technischen Ebene formuliert, sondern im Rahmen eines biologischen Projekts. Und daraus ist dann etwas entstanden, ein Kommunikationszusammenhang von Mathematikern, Technikern und Physikern, Biologen, Anthropologen, Psychologen, im Rahmen der Macy-Stiftung, die von 1946 bis 1955 zehn oder mehr Tagungen abgehalten hat, um Probleme zu theoretisieren oder auf einer theoretischen Ebene zu klären, die beispielsweise im Bereich der Medizin angefallen sind, das war jedenfalls die Absicht des Stifters. Und soweit ich weiß, sind ja also dort erschienen bei diesen Treffen der Macy-Stiftung Shannon, von Neumann, Heinz von Foerster, Gregory Bateson, Margret Mead, die Anthropologin,

H.: McCulloch

R.: McCulloch, der Neurophysiologe, also Leute aus sehr vielen unterschiedlichen Bereichen, die aber offensichtlich dort ein hohes Verständnis füreinander hatten. Es gab also eine Art interdisziplinärer Behandlung des Konzepts der Kybernetik von der Information und Steuerung, mit Folgen auf jedem der Gebiete, aus dem sie kamen, also sei es auf dem Gebiet der Verhaltenswissenschaft, sei es auf dem Gebiet der Gehirnforschung oder auch der biologischen Anpassung von Pflanzen usw. wie eben auch auf dem Gebiet der Informationstechnik und der Entwicklung der Computer. Sie haben ja einige von den Teilnehmern an dieser Runde kennengelernt, gibt es Anteile in Ihren Gesprächen, die sich speziell auf diese Macy-Gruppe bezogen haben?

H.: Wenn ich mich recht erinnere, dann kam in der Unterhaltung mit Shannon raus, daß das – sagen wir mal – sehr anregend und interessant war, daß aber irgendwelche Weichenstellungen davon nicht ausgingen, wobei man auch sagen muß, daß das, was hier in Europa dann später unter der großen Überschrift „Kybernetik“ von Norbert Wiener zusammengefaßt herüberkam und das viele dieser Dinge enthält, in den USA eben sehr verschiedene einzelne Strömungen waren, die sich zum Teil berührten, aber zum Teil auch auf unterschiedlichen Veranstaltungen eigentlich waren. Aber ich glaube, also das ist richtig, die Zeit damals war von einer ungeheuren Aufbruchstimmung gekennzeichnet, weil man feststellte, es werden Dinge möglich, die bisher nicht für möglich gehalten gewesen sind, selbstregelnde Automaten z. B. Man machte sich Gedanken über die grundlegende Struktur von Automaten und von Rechnern, von Turing über John von Neumann usw., ich glaube, Turing war auch mal auf einer dieser Sitzungen dabei. Und man hatte ja damals die Erwartung beispielsweise, daß das Problem der automatischen Übersetzung innerhalb von 10 Jahren gelöst werden könne

oder daß sich selbst regelnde Automaten relativ schnell größere Dinger eigentlich übernehmen können, damals entstand auch der Begriff des Elektronengehirns. Es war also diese Aufbruchstimmung, und man sah die, hatte die Perspektive, was alles möglich ist, bloß danach dann kamen eben die vielen konkreten technischen Aufgaben, die klarmachten, daß alles viel schwieriger ist und viel länger dauert, als man sich das zunächst vorgestellt hatte. Vielleicht ist auch bezeichnend in dem Zusammenhang, das habe ich in dem Briefwechsel, in den Briefen von Norbert Wiener entdeckt, daß er sich zu dem Zeitpunkt, als auch diese Kybernetik entstand, und er sein Buch dann vermarktete, in Auseinandersetzung mit Ron Hubbard befand, der damals seine Dianetics irgendwie anfing, ins Leben zu rufen, und Norbert Wiener claimte, daß wär zu nah an Cybernetics und würde von seiner Popularität irgendwie zehren. Erfolglos, wie sich zeigte. Ja, die Kybernetik war insofern also von den Beteiligten, mit denen ich gesprochen habe, wurde überhaupt nicht als ein einheitliches Thema gesehen, sondern als eine Gesamtheit, als ein Versuch, etwas böse mal gesagt, als ein Versuch von Norbert Wiener, vieles für sich zu claimen, was andere eigentlich gemacht hatten und was aus unterschiedlichen Quellen kam, wobei diese Ansicht nicht heißen muß, daß es nicht doch - das ist die Ansicht von Beteiligten, die also das eben aus der Sicht des Einzelthemas sehen - daß es nicht doch insgesamt diese Zeit charakterisiert hat.

R.: Bei Wiener in einem seiner beiden Vorworte ist mir aufgefallen, daß er mehrmals Anstöße erwähnt, die er von Vannevar Bush bekommen hat. Das hatte ich bisher immer überlesen, der Name ist erst seit ca. zwei Jahren wieder in der Diskussion durch die Wiederentdeckung dieses berühmten Artikel in der „Atlantic Monthly“ 1945, „As We May Think“, wo er ja so eine Art Vision eines universalen Informationssystems namens Memex entwirft, das auf Mikrofilm alles Wissen speichert und zugreifbar macht. Bush wird über diesen Beitrag ja gehandelt als der theoretische Visionär des World-Wide Web oder des Internets heute, und mir war nicht aufgefallen, daß er natürlich eine Geschichte bereits hat und offensichtlich eine wesentliche Figur auch in der Rüstungsforschung war.

H.: Ja, Vannevar Bush war eine entscheidende Figur und war Chef des NDRC, des National Defence Research Committee, d. h. auch Berater der jeweiligen Präsidenten, und er war durch die gemeinsame Tätigkeit an dem „Differential Analyzer“, den Vannevar Bush erfunden und entwickelt hatte, Mentor von Shannon. Er war also der, ja, kann man sagen, der Pate von Shannon, der auch die Empfehlungen über die Themen gab, zu denen sich Shannon doch widmen könnte. Das war einmal diese theoretische Genetik, also Algebra für eine theoretische Genetik, und vor dem Krieg war Shannon dann anschließend am Institute of Advanced Studies in Princeton zu einer Zeit, als Gödel und von Neumann und Einstein und alle möglichen Leute da waren, und war dann, als der Krieg ausbrach, wurde er von Vannevar Bush auch motiviert, sich den kriegswichtigen Themen zu widmen. Vannevar Bush war eine ganz zentrale Figur, sowohl für Shannon als auch im NDRC.

Die Gesamtentwicklung 1928 bis 1948

R.: War das das Wichtigste in dieser Phase, also 1928–1948?

H.: Heute gibt es eine hochinteressante technische Entwicklung, die man vielleicht in gewisser Weise mit einigen Phasen von früher vergleichen kann, und das ist die Tatsache, daß man jetzt anfängt, über das Internet zu telefonieren. Und plötzlich, obwohl es lange Zeit keine Rolle gespielt hat, ist es enorm wichtig, vernünftige Sprachqualität über geringstmögliche Bandbreiten und -kapazitäten zur Verfügung zu stellen, weil im Internet halt die Bandbreiten gering sind, oder die Datenraten, die man da erreichen kann, gering sind, und man möglichst viel reinpacken möchte, man möchte so ein Paketeteil. Da das kommerzielle Interesse daran außerordentlich groß ist, wenn man also um den Faktor 10 billiger oder für 1/10 billiger telefonieren kann plötzlich, dann steckt da viel dahinter und möglichst auch mit reinen Software-Lösungen. Plötzlich tauchen Themen wieder auf wie Vocoder-Lösungen, daß man also Sprache analysiert, dafür sind die Programme und die Prozessoren heute wahrscheinlich schnell genug, um dann digital über die Leitungen zu übertragen und auf der anderen Seite wieder zu synthetisieren. Das war für den praktischen Gebrauch eigentlich seit den Anfangszeiten der Telefonie nicht mehr nötig. So, jetzt ergibt sich möglicherweise ein Fenster von fünf bis acht Jahren für eine solche hochinteressante theoretische und praktische Fragestellung. Danach, wenn Satellitensysteme von 840 Satelliten da sind, die also Megabitraten an den Verbraucher bringen, ist es wieder irrelevant, und so kann man eigentlich sagen, daß das gegenseitige Überholen von Rechenkapazität und Kommunikationskapazität eigentlich immer wieder die Fragestellung ändert. Und insofern sind vielleicht viele von den Dingen, die früher schon mal angepeilt worden sind, auch später, auch wenn 30, 40 Jahre dazwischen vergangen sind, plötzlich wieder relevant. Das ist vielleicht ein Aspekt, den man hier betrachten kann.

Und auch das digitale Fernsehen, wenn man noch einen anderen Punkt bringt, der heute dann wieder Bandbreiten frißt und zu Reduktionsverfahren zwingt, digitales Fernsehen, wenn das digitale Fernsehen nicht über das Fernsehen, sondern über das Netz in die PCs kommt, dann ist die Anforderung an Bandbreiten noch deutlich höher, aber auch das kommerzielle Interesse ist natürlich entsprechend größer, und auch das ist ein solcher Punkt, der möglicherweise Software-Lösungen belohnt, die halt enorme Datenreduktion erlauben und damit den Informationsbegriff eben wieder auch technisch relevant machen. Nach dem Krieg war natürlich dieser Informationsbegriff, als er dann als Theorie der Information überall bekannt war, absolut nicht unstrittig.

Es gibt also einen Menschen, der sagte, diesen so definierten Begriff die Theorie der Information zu nennen, wäre genauso, als würde man die Technik der Grammophon-Aufzeichnung die Theorie der Musik nennen,

und sicherlich von einem der Mitstreiter da von Shannon gibt es die Äußerung, also mit diesen Information-warshippers hatten sie eigentlich nicht viel am Hut. Ja, wenn wir mal versuchen, einfach jetzt von diesem Blick her zurückzugehen und noch mal zu gucken, wie fing das an, was war eigentlich die erste, der erste Einstieg in das Ganze, dann war das die Technik der Telegrafie.

Die zwanziger Jahre: Telegrafie

R.: Also, wir sind jetzt so in den 30er Jahren.

H.: Wir sind jetzt in den 20er Jahren, und in den 20er Jahren war das Telefon schon eine unglaublich attraktive Technologie, also ich würd' mal sagen von der ganzen Dynamik und von dem, was man sich davon versprach, vergleichbar heute mit dem Internet, weil das Telefon nun wirklich jedem die Möglichkeit gab, direkt mit jemand anders in Kontakt zu treten, ohne über irgendeinen Dritten erst vermittelt zu werden. Selbst wenn die Vermittlung manuell noch passierte, aber die Nachrichten konnten so ausgetauscht werden, wie sie also jeder gewohnt war, auch direkt mit anderen auszutauschen. Insofern wendete sich dann sehr schnell das ganze Interesse der Telefonie zu. In der Telegrafie nahm natürlich dann auch mit der Möglichkeit, telegrafische Nachrichten, selbst wenn sie auf einem Stück Papier an die Post ankamen, das telefonisch zu übertragen, nahm der eigentliche Telegrafatenverkehr ab. Z.B. in Deutschland nahm die Zahl der Telegramme von 81 Millionen im Jahr 1921 auf rund 20 Millionen im Jahr 1936 ab, d.h. es war auch einfach nicht mehr so viel Verkehr. Und noch später konzentrierte sich dann die Telegrafie komischerweise oder auch plausiblerweise auf ganz spezielle Gruppen von Aktivitäten. Also z.B. den Handel mit leicht verderblichen Waren, Blumen, Fischen usw. und vieles andere wurde halt mit dem Telefon gemacht, wo Geschäftsverbindliches hergestellt werden mußte, aber der normale Briefverkehr nicht ausreichte. Fax gab's ja damals noch nicht. Also, was schriftlich war, mußte mit dem Telegramm erledigt werden.

Wenn man so zwischen dem Ende des vorigen Jahrhunderts und den 30er Jahren vergleicht mal, welcher Aufwand betrieben werden mußte, um also Telegrafatenkabel auszustatten, da kann man sagen, so ein Kabel, wie es im Atlantik verlegt wurde 1880, brauchte also 21 kg Kupfer pro Kilometer noch, während eine Fernschreibverbindung in den 30er Jahren nur noch 180 Gramm pro Kilometer brauchte, weil eben so viele Verbindungen über ein Kabel gehen konnten, d.h. der - und da gleichzeitig der Verkehr zurückging, war die Telegrafie eigentlich keine Technik, die dann noch irgendwelchen theoretischen Anforderungen stellte. Man sagte also generell, wenn man ein Telefonproblem gelöst hat, dann hat man jede Menge Telegrafatenprobleme auch mitgelöst. Trotzdem, und das war zu der Zeit, wäre nie einer darauf gekommen, das zu sagen, daß bestimmte Aspekte der Telegrafaten-Theorie 20 Jahre später hochaktuell sind. Man dachte eigentlich, das ist eine Technik,

die eigentlich erledigt ist. Nur mit PCM, Puls-Code-Modulation, und anderen digitalen Techniken, selbst heute irgendwann mal mit dem digitalen Fernsehen, hat man im Prinzip wieder das gleiche Problem wie bei der Telegrafie, nämlich zeichenorientiert zu übertragen und immer aus der Bedeutung eines Kontextes, also den Informationsbegriff in verschiedenen Leveln, dann Redundanz rauszunehmen aus dem Ganzen, und dieses Thema war früher eben in den 20er Jahren eine Relation eines Zeichens zum Alphabet, mehr machte man nicht, und das kann morgen sein, wenn man mit digitalem Fernsehen in die PC's an den normalen Modems gehen will, die also vielleicht 9.600 bit pro Sekunde Datenrate haben oder vielleicht ein bißchen mehr, 14,4 oder

R.: 28,8, das ist wohl schon Standard

H.: 28,8. Selbst 64 beim ISDN, 64 Kilobit pro Sekunde, dann besteht die Ressource, aus der man Informationsgewinn oder Redundanzgewinn ziehen kann, in immer weiteren Abhängigkeiten auf dem verschiedenen Level, also nicht nur pro Bild, sondern auch jetzt pro zeitlicher Veränderung eines Bildes oder, wenn man dann an Codes denkt, die vielleicht sogar nicht lineare Effekte nutzen, daß man also ganze Chaos-Theorien also nutzt, um zum Beispiel ganze Bildinhalte schneller generieren zu können und so auf eine Art

R.: — es gibt fraktale Kompressions-Verfahren —

H.: — ja, genau, fraktale Verfahren, um da noch mehr rauszuholen. Das heißt, man wird sich schon in solchen Fragestellungen – auf anderem Level – aber wieder Problemen gegenübersehen, die man in der Telegrafie schon hatte. So, die Fernschreibtechnik, das habe ich schon gesagt, war die Telegrafentechnik des kleinen Mannes, und damit waren eigentlich die Probleme schon erledigt. Wenn man sich jetzt mal der Theorie zuwendet, Hartley, also das erste und berühmteste oder die erste berühmte Arbeit, die berühmten Arbeiten waren die von Nyquist, insbesondere auch im Jahr 1928 entstand eine Arbeit „Certain Topics In Telegraph Transmission Theory“. Hier wird das Abtasttheorem eigentlich begründet, was ich schon erwähnt habe und das ein allgemeines Theorem der Signalanalyse heute ist, eine normale mathematische, eine wichtige mathematische Grundlage für die Signalanalyse.

Hartley

Hartley war jemand, der ein breites Spektrum an Interessen hatte und – jetzt habe ich das hier noch mal genau – der seit 1925 eigentlich daran war, quantenmechanische und Anti-Einstein-Arbeiten in der Relativitätstheorie zu generieren, also es gibt z. B. ein Papier von ihm von 1929, „A Way of Mechanism of Quantum Phenomena“, er hatte also versucht, mit entsprechenden harmonischen Analysen da was zu der Quantenmechanik zu

sagen, und blieb dabei für die nächsten 40 Jahre. Ein Thema, das auch einen großen Teil seiner Arbeiten dann ausmachte, war übrigens auch eine Zeitlang mal der Tonfilm, in dem Bell für einige Zeit auch aktiv war, und im Tonfilm sind ja die Aufzeichnungen als eine Schwärzungsspur, die dann optisch gelesen wird, auch eine analoge Technik. Aber hier zu der Telegrafentheorie, der erste, der auch wirklich den Begriff der Informationstheorie, also Theory of Information, verwendete, war Hartley, der das 1928, wenn ich mich recht erinnere, prägte.

So, das hier sollte man vielleicht zitieren. Was er, Hartley, 1928 als sein Programm vorgab, und das war für die Zeit schon enorm, ist: „Was ich hoffe zu erreichen, ist ein quantitatives Maß zu schaffen, mit dem die Kapazitäten verschiedener Systeme, Information zu übertragen, verglichen werden können. Ich werde dabei die Anwendungen dieses Maßes auf Systeme der Telegrafie, der Telefonie, der Bildübertragung und der Television, also des Fernsehens, sowohl über Draht als auch über Funk, vergleichen.“ Das hat er 1928 schon gesagt. Also er hatte einen generellen Anspruch.

Hartley hat das erste Mal, das war seine große Leistung, die technischen Eigenschaften eines Kanals in Zusammenhang gebracht mit der Informationsmenge, die eine bestimmte Symbolsequenz enthalten kann, er hatte noch bei den Symbolen Gleichverteilung angenommen, also nicht, daß die unterschiedliche Wahrscheinlichkeiten des Auftretens hatten, aber hat diesen Logarithmus als das Maß, der Logarithmus der Zahl verschiedener Möglichkeiten solcher Symbolsequenzen, als Maß der Information, das hat er also da schon definiert. Und das war eigentlich völlig neu. Und er hat dieses den technischen Möglichkeiten oder den technischen Charakteristika eines Kanals gegenübergestellt, der Dämpfung zum Beispiel, das war eigentlich das Wichtige. Nicht der Störung, also der statistischen Störung, aber der Dämpfung. Also so ein langes Kabel transkontinental in den USA, war es eine Frage eben, wie oft muß man da wieder Verstärker einbauen, sehr kostenintensiv, und das wichtige Maß dafür ist eben die Dämpfung, und diese Art – „Störung“ kann man nicht sagen –, aber das limitierte eben die Kapazität. Und es ist ganz interessant zu sehen, daß dieser logarithmische Informationsbegriff, der hat ihn offensichtlich so sehr fasziniert, daß er noch 1955 andere logarithmische Maße einzuführen vorschlug, also dann entsprechend später 1955, z.B. ein logarithmisches Maß für Entfernungen, eigentlich nicht so einsichtig, muß man sagen, oder für beliebige andere Größen, mit denen sich auch andere dann nicht anfreunden konnten.

Es gab übrigens in der Zeit eine große Diskussion zwischen den USA und Deutschland, insbesondere ob die Dämpfung auch logarithmisches Maß, Dezibel ist eigentlich das Dämpfungsmaß, und damals zu dem Zeitpunkt stritt man sehr, ob man den natürlichen Logarithmus oder den 10er Logarithmus als Basis nimmt für die Dämpfung. Wurden große philosophische Diskussionen in allen Fachzeitschriften geführt, tatsächlich steckte dahinter, daß natürlich Meßgeräte schon und Meßverfahren

existierten, und jeder wollte also sein Zeug durchsetzen. So, und da die Dämpfung, die Dämpfung logarithmisch zu machen, war deshalb wichtig, weil man Kabelstrecken mit bestimmten Dämpfungen addieren können wollte, und dann sollten auch die Dämpfungen addierbar sein, und dadurch mußte es also logarithmisch sein. So, und in diesem ganzen Zusammenhang kam eben das erste Mal diese logarithmische Definition der Information von Hartley. Und dann wurde eben auch eine Zeitlang die Einheit der Information als Basis des 10er-Logarithmus – wir machen das ja heute, das Bit ist auf Basis des 2er-Logarithmus, ganz einfach - und es gab auch eine Zeit, da hat man halt mal den 10er-Logarithmus als Einheit der Information betrachtet, und diese Einheit als ein Hartley. Gut. Spielt heute, also ich weiß nicht, würde es irgendeine Rolle spielen, aber das war mal so ...

So, dann kommt hier dieser Hartleysche Informationsbegriff mit Charles Peirce, also das ist ein Hinweis, der von McCulloch stammt. Also McCulloch erwähnt das. Wenn man dem jetzt mal nachgeht, dann kann man sagen, dann kann man vermuten, daß da was dran ist. Hartley sprach seit 1939 in internen Papieren bei Bell von der Theory of Information. Also so ein paar spätere Kritikpunkte an dieser Theory of Information waren also beispielsweise, habe ich vorhin schon erwähnt, „to call this the theory of information is like calling the theory of gramophone recording production the theory of music“. Oder zu dem Wahrscheinlichkeitsmaß für Information, auch das war ja zunächst mal überhaupt nicht plausibel, gibt's den Kommentar: „Es scheint so, daß, wenn Baron Münchhausen entgegengehalten wurde, seine Geschichten seien unwahrscheinlich, daß er dann hätte antworten können, umso informativer selber wären sie ja.“ Also viele meinten, sich dann noch entschuldigen zu müssen für den Begriff der Information.

Shannon und Hartley

R.: Wo stützt sich Shannon auf Hartley und wo reicht er tatsächlich über ihn hinaus?

H.: Ja, der Shannon kannte die Arbeit von Hartley schon recht früh, er kannte Hartley auch, der immer noch bei, auch in der Zeit als Shannon da war, immer noch bei Bell verhanden war, und er ist auch heute der Ansicht, oder eben sagte das in dem Interview, daß er damals schon der Meinung war, daß Hartley eine hochinteressante Fragestellung eigentlich begonnen hat hier mit dem Maß der Information, daß er aber bestimmte Sachen nicht betrachtet hat, und einer der wesentlichen Unterschiede oder Erweiterungen, die Shannon dann gebracht hat, war, direkt den Entropie-Begriff einzuführen, als Maß für die Information und Entropie-Begriff auf der Basis der einzelnen Auftretenswahrscheinlichkeiten. Hartley hatte noch angenommen, daß jedes wohl die gleiche Wahrscheinlichkeit des Auftretens hat und damit sich das Maß der Information ergibt. Bei Shannon ist jedes, wird jedes Symbol mit seiner Auftretenswahrscheinlichkeit eingehen hier

und so ergibt sich nämlich, durch diese Definition kann man dann verzichten, zwischen Menge und Genauigkeit von Information zu unterscheiden, weil man sagt, die absolute, das absolute Maximum der Information ist die gleiche Wahrscheinlichkeit aller Ereignisse, und dieses gibt es nicht, sondern es gibt immer einen Zustand davor, und das heißt, es ist ein rein quantitatives Maß, mit dem man die Information angibt. Den Genauigkeitsbegriff braucht man nicht mehr, d. h. man braucht keinen qualitativen Begriff mehr, so, plus die Innovation, die Störung eben zu betrachten und dann gleich in die Codierung, also die Gestaltung der Information, weiterzugehen.

Die anderen Arbeiten, wenn man sich jetzt andere Arbeiten von Hartley ansieht, dann hatten die eigentlich keine Relevanz mehr für den weiteren wissenschaftlichen Weg, sie waren noch mehr oder weniger kurioser innerhalb von Bell. Es gibt noch ein Papier, das eigentlich, ja, man kann sagen, bei Codierungs- oder Verschlüsselungstechniken wieder eine Rolle spielen könnte, aber hatte eigentlich auch keine wissenschaftliche Kraft mehr. Hartley wunderte sich in verschiedenen Papieren, was passiert eigentlich mit der Information, wenn man Zahlen addiert. Also man hat, so mal 7 ist die Summe aus 5 und 2, wenn man diese Summierung mal vollzogen hat, dann ist die Information, aus welchen Summanden das ganze entstanden oder auch aus welchen Faktoren ist es tatsächlich entstanden, verschwunden. So, also das ist eine, da gab's verschiedene Papiere von ihm, in denen er versuchte, daraus was zu machen, aber da wurde eigentlich nichts mehr daraus. So, wie wirksam war eigentlich das Hartleysche Papier selber in der damaligen Community derer, die das also eben aufnehmen mußten. Die einzige Folgediskussion, die sich daraus ergab, war in Deutschland etwas spärlich, aber er wurde hin und wieder zitiert.

Hartley hatte aber das Pech, daß er nun genau zu dem Zeitpunkt, als seine Arbeit kam, als diese Debatte um das richtige Dämpfungsmaß hochpolitisch zwischen Deutschland und den USA war, und vielleicht lese ich hier mal so kurz vor: „Damit kam er wohl in einen Schubkasten mit seiner Theorie, und damit war er also auch in Deutschland dann, da war er erledigt.“ Hartley wurde von, in 1927, als Bericht in einer nachrichtentechnischen Zeitschrift über die Konferenz in Como, wo Hartley sein Papier vorgetragen hatte, Hartley erörterte ein Maß, um die Leistungsfähigkeit irgendeines Systems zur Übertragung von Nachrichten festzuhalten und wies als solches nach das Produkt aus der Breite desjenigen Frequenzbandes, in welchem andauernd Wechselströme mit dem wesentlich gleichen Wirkungsgrad übertragen werden, und der Zeitdauer, während der zur Verfügung steht.

Zur Frage des Übertragungsmaßes gehört auch der Vortrag von *Breisig*, das ist nämlich derjenige, der diese Besprechung hier macht, welcher eine einheitliche Form für logarithmische Maße von Verhältnissen physikalischer Größen gleicher Art forderte, und zwar unter der allgemein üblichen Anwendung natürlicher Logarithmen, d.h. er hatte gar nicht realisiert, daß

Hartley etwas völlig anderes als ein Dämpfungsmaß hier vorgestellt hatte, das gar nichts mit der Diskussion, ob natürlicher oder 10er-Logarithmus, ob Dezibel oder Neper, also die deutsche Alternative dann, zu tun hatte, sondern es wurde jetzt in diesen Kontext gebracht, und war damit eigentlich subsumiert. Also die unmittelbare Wirkung des Papiers von Hartley war in dieser Hinsicht nicht so groß, wobei eine der einzigen deutlich positiven Reaktionen auf dieses Konzept von Hartley, kam von einem Herrn Lüschen, der hatte bei Siemens in der Nachrichtentechnik damals das zentrale Labor gegründet und leitete, das war so ein Top-Nachrichtentechniker da in Deutschland, der sagte dann, Hartley, die Relation, die Hartley da vorgestellt hat zwischen Zeit und Bandbreite, sei eine der wichtigsten Erkenntnisse der letzten 10 Jahre. Also das war schon was. Vor allen Dingen wäre es aufgrund dieser Beziehung möglich, die von zahlreichen Erfindern vorgeschlagenen Idealsysteme wirklich zu bewerten.

So, und dann kam natürlich einer der entscheidenden Kommentare, der zeigt, weshalb es danach nicht weiterging damit, ich zitiere auch einen zeitgenössischen Autor: „Da der bisher benutzte Begriff der Nachrichtenmenge für das Fernsprechen wenig geeignet ist, empfiehlt es sich, einen zweckmäßigeren zu suchen, der zu der üblichen Weise, die Leistungsfähigkeit von Fernsprechsystemen zu beurteilen, besser paßt.“ Das heißt, beim Telefonieren wußte man nun gar nicht, wo sollen da Zeichen sein, und damit war das eigentlich dafür unbrauchbar und für die neue technische Diskussion die falsche Theorie. Die Qualität von solchen Verbindungen oder von Fernsprechverbindungen, und da tauchten dann Begriffe wie Verständlichkeit auf, und da war wieder zwar Statistik drin, aber eine Fehlerstatistik eigentlich. So, in Deutschland gab es einige Theorien oder Konzepte, die eigentlich nie über das hinausgehen, was Nyquist schon 1928 gemacht hatte, also nie mehr das erreichten, was Hartley gesagt hatte, die würde er eigentlich subsumieren, und damit sehr nachrichtentechnisch. Es gab auch eigentlich keinen Ort in der Forschung in Deutschland, der eine solche allgemeine Theorie irgendwie hätte produzieren können, vielleicht eine Hochschule, aber das passierte nicht.

Die Organisation der Kriegsforschung in den USA ab 1942

Also ab 1942, vielleicht noch mal zur Organisation der Kriegsforschung in den USA, wurde das Office of Scientific Research and Development gebildet, Chef war Vannevar Bush, der direkt dem Präsidenten berichtete, und darunter gab's diesen NDRC, also die eigentliche technische Forschungsorganisation, die hatte verschiedene Divisions, und da gab's also Ballistik, ... Division, Feuerleittechnik war 'ne zweite, dann Transport, dann Electrocommunication war Division 13, Radar Division 14, Radio Coordination Division 15, also alles Themen, die eigentlich hier in dieser Weise eine Rolle spielten. Und dann wurden auch ab 42 die Mathematiker in außerordentlich großem Maße miteinbezogen, und das führte dazu, jeder oder viele dieser Mathematiker wie Wiener brachten eigentlich ihre

Theorien und Lösungsmethoden mit, und man sieht an einigen, daß da Lösungen schon fertig waren, die jetzt halt auf die Probleme stießen, für die sie Lösungen sein konnten.

Man kann, es gab diesen Panel of Applied Mathematics in diesem NDRC, der wurde geleitet von Warren Weaver, das war die Angewandte Mathematik, und von Thornton Fry. Thornton Fry war auch der Chef der Mathematiker bei Bell gleichzeitig. Also diese Gruppe organisierte das, und man kann sehen, wenn man die Ausgangstechniken sieht, die die verschiedenen Leute miteinbrachten in das Feuerleit- und Servotechnik-Problem, also z.B. die statistische Mechanik von Norbert Wiener, Thermodynamik, statistische Mechanik, die elektrischen Nachrichtentechniken mit dem neuen Projekt aus Bell Labs, diesem Feuerleitcomputer. Die Netzwerktheorie von Bode, auch Hendrik Bode aus den Bell Labs und die klassische Mechanik und klassische Dynamik aus der traditionellen Feuerleitforschung, also ballistische Kurven usw. Das kam alles in diesen, über den Panel of Applied Mathematics in die Feuerleittechnik, und nach dem Krieg entstanden eine Vielzahl neuer Theorien, die sich aus diesen Kombinationen ergeben, z. B. die statistische Methode der Nachrichtentechnik, neu von Wiener, die theoretische Nachrichtentechnik in der Servotechnik von McCall und Farrow, Bell Labs, die Technik heißt Servotechnik, und die Dynamik in der Netzwerktheorie von Bode, der dann später nach Harvard ging. Das war ein großer Schmelztiegel eigentlich von Problemen und von mathematischen Methoden.

R.: Es sind ja wohl einige, dann zivile Forschungseinrichtungen von ziemlicher Bedeutung aus diesen militärischen Abteilungen entstanden, das habe ich bei Ihnen auch gefunden, das MIT ist aus der Abteilung „Radiation“, also wohl Radarforschung, hervorgegangen.

H.: Das Radiation Lab am MIT, und die hatten sogar noch Etats, die dann einfach, nachdem der Krieg zu Ende war, schon eingeplant waren. Da mußte jetzt einfach was gemacht werden, und, ja, ein gewisser Trägheitseffekt, also die Programme liefen dann mit anderen Zielstellungen weiter. Es war auch für viele dieser Zwischeninstitute da zwischen Hochschulen und staatlicher Förderung, also die an den Hochschulen waren auch von staatlichen Förderungsprogrammen finanziert, die eine Maschinerie von Promotionsgenerierungen halt waren, da mußten viele Leute ihre Dissertationen machen, und dann war es auch so, daß nach dem Krieg viele kleine Elektronikunternehmen entstanden, und die Leute, die da drin waren, suchten nach Kontakten sowohl mit Hochschulen als auch mit potentiellen Kunden als auch mit potentiellen Zulieferanten, Konkurrenten usw. Dafür waren eben die Meetings der I... oder der IRE, also der entsprechenden Radio Engineers Organisationen, und auch die Treffen zum Thema Informationstheorie immer ein beliebter Anlaß, sich da zu treffen und Informationen auszutauschen.

Dann war natürlich parallel, begann natürlich auch die, begannen die digitalen Computer nach dem Krieg zu entstehen —

R.: — mit Konzepten, die im Krieg ja zum Teil entwickelt wurden —

H.: — mit Konzepten, die im Krieg entwickelt wurden, aber aus Zeitgründen nicht mehr eingesetzt werden konnten, und von denselben Leuten.

Man hatte eigentlich zwei große Anwendungsgebiete, wo Rechner erforderlich waren in dem Thema der Feuerleitkontrolle. Das eine waren die ballistischen Rechenzentren, die die Tabellen erstellten, und das andere waren die, gewissermaßen die On-Line-Rechner der Feuerleitcomputer, die im Feld da im Einsatz waren. Nehmen wir mal diese ballistischen Rechenzentren. Da entwickelte sich die Technik zunächst von manueller Technik dann über diese Differential-Analyse, Autoren à la Vannevar Bush, da wurden auch etliche eingesetzt, dann auch im Krieg noch zu den digitalen Rechnern auf Basis von Relais und dann auch auf Basis der IBM-Lochkartengeräte, um die Berechnung ballistischer Tabellen zu automatisieren. Und letztendlich war diese Berechnung auch der Eintritt für den ENIAC, also für den ersten elektronischen digitalen Rechner programmierbar, der 1946 eingesetzt wurde und die anderen bis dahin im Einsatz befindlichen um Geschwindigkeitsverhältnis 500 : 1 übertraf.

So, um sich mal eine Größenordnung der Aufgaben vor Augen zu führen, die da in diesen ballistischen Rechenzentren bestanden, vielleicht einige Angaben: Ein ballistischer Kurvenverlauf, den die da zu berechnen hatten, Kombination der Variablen aus den entsprechenden Kanontypen, Munition usw., benötigte 750 Multiplikationen, um hinreichend bestimmt zu sein. Dafür wurden Leute eingesetzt, die mit 'ner Tischrechenmaschine 12 Stunden brauchten. So. Der analoge Differential-Analysator und die digitalen ersten Rechner, Relais-Rechner, die eingesetzt wurden, die brauchten dafür 10 bis 20 Minuten. Eine typische Feuerleittabelle brauchte zwischen 2.000 bis 4.000 derartiger Bahnverläufe. Das muß man sich mal vorstellen zu der Zeit, als es also noch manuell gemacht wurde. Im August 44 waren bei der entsprechenden Zentrale der US-Streitkräfte für ballistische Berechnungen, die war in Aberdeen und in Philadelphia, Ballistic Research Laboratory, 15 solche Tabellen fertiggestellt, weitere 74 waren in Arbeit und täglich gingen Anforderungen nach 6 weiteren Tabellen ein. Neue entwickelte Artillerie können nicht eher in Betrieb genommen werden, ehe nicht die ballistischen Eigenschaften getestet, die Kennwerte berechnet und solche Tabellen zusammengestellt waren. Man hatte 44 in diesem Ballistic Research Laboratory 176 Computers, also Menschen, Computern, beschäftigt, die diese Berechnungen machten. Dann waren 10 solche analogen Differential-Analysatoren, wahre Höllenmaschinen, also in Aberdeen, und 14 in Philadelphia installiert.

R.: In Aberdeen in Schottland?

H.: Ja, und in Philadelphia installiert und etliche IBM- und Relaisrechner dann. So. Das war natürlich unglaublich und da waren die digitalen Rechner wegen der leichteren Programmierbarkeit usw., die übernahmen dann also sofort da diese Aufgaben. Dieses Beispiel ist auch das erste Beispiel, wo man eben sagen kann, diese ganze Technik macht Berufe zu Geräten, die Computers waren halt früher Berufe. Die echten Kommandogeräte, also die On-Line-Rechner, die an der Front dann die Positionierung der entsprechenden Geschütze übernahmen, das war was anderes, die blieben bis zum Ende analoge Geräte, und auch da kann man ein paar konkrete Angaben machen. Vorher waren mechanische Geräte, die Flugleitaufgaben bewerkstelligten, die mußten ja letztendlich mechanisch die Bewegungen, die also in der Verfolgung am Himmel der Flugzeuge entstanden, runtertransformieren in eine Kiste, in Zahnräder und Reibräder usw., in eine Kiste, und das heißt, die Störungseinflüsse konnten da enorm sein, selbst Staubkörnchen oder nicht präzise Technik führten dazu, daß das völlig daneben ging. Sehr sensitive Technik, und man mußte eine Technik, die dort eingesetzt werden konnte, mußte vorzugsweise so sein, daß sie direkt da, wo die mechanischen Geräte verwendet wurden, halt jetzt direkt 1 : 1 elektronische Geräte eingesetzt werden, und da waren die Analog-Rechner, wie dieses Kommandogerät M 9 ideal geeignet, weil die direkten mechanischen Inputs als ein elektrisches Vorhersagenetzwerk in Potentiometer und andere Bewegungen übersetzten und dann fand die ganze Berechnung elektrisch statt, aber als 1 : 1-Abbildung der mechanischen Lösung.

Und dann gab's also etliche Baureihen von diesen Dingen, und der erste Typ des M9, der dann für die Serie freigegeben wurde, wurde also im Dezember 42 ausgeliefert, und dann kam hier die, dann arbeiteten für diese Maschine Shannon, Wiener und andere an der Verbesserung der Vorhersagetechnik. Also da machte sich das direkt bemerkbar, und man brachte bis Anfang 1944 mehrere hundert dieser Geräte nach Großbritannien, und in der Normandie wurden 500 Systeme angelandet von dieser Sorte und sorgten also entscheidend mit für die alliierte Luftüberlegenheit dabei. Die brauchten nämlich weniger als 100 Schuß pro Abschluß, und das war natürlich schon eine gewaltige Leistung, und in diese verbesserten Geräte wurde dann von Bolish, Shannon und Blackman die entsprechende verbesserte Vorhersagetheorie auch implementiert, also es hatte direkte Konsequenzen, und war einer der Ursprünge der Servo- und Vorhersagetheorie. Später nach dem Krieg wurden die natürlich für, generell für Probleme der Nachrichtentechnik dann eingesetzt. Gut.

R.: Im Vergleich jetzt Schuß pro Abschluß, haben Sie da eine Vergleichszahl?

H.: Nee, die hab' ich jetzt nicht. Man kann auch nicht direkt sagen, daß das nur aufgrund dieses Kommandogerätes, sondern da hängt natürlich auch der

Annäherungszünder mit drin, ja, und die Radarerfassung, also insgesamt das Gesamtsystem, aber man muß noch sagen, daß alle - das Problem ist bei dieser ganzen Vorhersage immer die Datenglättung, daß man aus den ... Meßwerten also eine glatte Kurve irgendwie kriegt, um dann die Vorhersage zu machen. Und tatsächlich wurde das mit relativ einfachen geometrischen Dingen dann gemacht, die Wienersche Vorhersagetheorie wurde praktisch nicht mehr eingesetzt. Bei Bahnverläufen, wo die dann große Vorteile gebracht hätte, und von den Militärs, also so hochkomplexe und wendige Bahnverläufe von den Militärs sind nicht mehr erwartet worden. So, es fiel auch 1942 mit den Erfolgen, die da erzielt wurden, eine Entscheidung, alle Programme, digitale Feuerleitgeräte zu entwickeln, einzustellen, also eine solche Entwicklung wurde eingestellt. Obwohl theoretisch eben schöner, war das praktisch in der erreichbaren Zeit nicht mehr.

Ich habe schon zitiert, daß George Stibitz, der von der Relais-Technik bei Bell herkommt, den Vorschlag eines digitalen Anti-Aircraft-Leitgerätes machte, das wurde also nicht entwickelt. Von ihm stammte aber wahrscheinlich erstmals der Begriff der 'binary places' oder „binary digits“, also dem Bit, das kommt also aus, ist eine Lehe aus der Computertechnik.

R.: Wenn wir diese Feuerleittechnik mal im Systemvergleich sehen, Deutschland, es gab ja diesen Zuse-Rechner, der aber nicht eingesetzt wurde in dem Gebiet, sondern, soweit ich weiß, zur Tragflächenberechnung bei Flugzeugen. Es gab Ansätze in der Radarforschung, die aber nicht weit genug gingen. Heinz von Foerster war ja tätig in Berlin —

H.: — und es gab ja ein explizites Verbot in Deutschland, sich mit Zentimeterwellen zu beschäftigen, und das hat, weil die Ressourcen halt für andere Dinge eingesetzt worden sind, und das hat dazu geführt, daß man da ins Hintertreffen geraten ist. Ja, es ist sehr schwer zu sagen, wie die, welche Gründe dafür, verschiedene Programme eigentlich verantwortlich waren, aber diese Fire Control, die Annäherungszünder und auch Radar waren ja im wesentlichen motiviert auch durch den erwarteten Luftkampf um England, also eine Konzentration auf die defensiven Techniken, um England erst mal zu retten, während die Deutschen sehr viel in Luftüberlegenheit investiert haben. Ja.

Theoretische Probleme der Informations- und Kommunikationstechnik im zweiten Weltkrieg

R.: Welche anderen Fragestellungen, Problemstellungen gab es in dieser Zeit? Sie haben ja die Hartley-Problematiken geschildert, dann jetzt die speziell im Krieg entstandenen Problemlösungen. Gab es darüber hinaus weitere Bereiche, in denen Probleme in der Informationstechnik entstanden sind, die also schon vor dem Krieg oder spätestens danach dann virulent geworden sind?

H.: Ja, ich hab' mal verschiedene dieser Elemente in ein Übersichtsbild gebracht. Wenn man also die Themen nimmt, die im wesentlichen das Ganze vorangetrieben haben zu unterschiedlichen Zeiten und auch mit unterschiedlichen technischen Ergebnissen, dann kann man vielleicht das folgendermaßen sortieren: Man kann sagen, zunächst mal die kommerzielle Zeichenübertragung, also die Telegrafie, die von der klassischen auf die Hochleistungs-Telegrafie und nachher auf die, was das Thema beendet im Prinzip. Dann gab es die militärische Zeichenübertragung von Daten, also Datenübertragung in Flugleitsystemen, da gab's diese Technik des „Follow the Pointer“, also man hatte einen Zeiger, der zeigte, wo muß die Richtung hingehen, und dann einen anderen, den mußte man immer in Deckung halten, der hat das Geschütz also gesteuert, und aus diesem kam, was der Gedanke dann naheliegend, diese beiden automatisch zu verknüpfen, so daß man dann praktisch einen Servo-Mechanismus hat. Servo. Dann die militärische Zeichenübertragung von geheimen Daten, also Fotografie und Codiermaschinen, die sich daraus ergaben. Dann die kommerzielle Sprachübertragung, also Telefonie mit der ganzen Verstärker-, Wellen-, Filter-Theorie, und die militärische Sprachübertragung mit dem Ziel, Geheimhaltung. „Scrambler“, solche Sprachzerhacker, auch Vocoder als Mittel der geheimen Sprachübertragung und Puls-Code-Modulation und dann letztendlich das automatische Rechnen, also von analog zu digitalen Rechnern, das waren so die wesentlichen Treiber, die zu unterschiedlichen Zeiten eine unterschiedliche Anzahl von Ingenieuren beschäftigten, die das entsprechend verbessern mußten.

In der Zeit vor dem 2. Weltkrieg war es eigentlich relativ klar die Struktur, daß die Telegrafie am Ende war und Fernsprechen und Rundfunk eigentlich die Probleme stellten, und mit der Ausbreitung des Rundfunks in den Jahren gingen die Sender dann von 250 Watt pro Sender auf 100 Kilowatt und mehr, da tauchten so Probleme zweiter Ordnung auf, wie elektromagnetische Verträglichkeit, wie macht man es, andere nicht zu stören usw., da hatte man sehr viel damit zu tun. Das war es eigentlich in der Zeit davor. Im 2. Weltkrieg selbst gab es - ich muß es vielleicht noch mal sagen - gab es einmal das ganze Thema Radar, enorm wichtig, enorm erfolgreich und Entwicklung, Produktion, Nutzung, Optimierung der Radartechnik mit dem Hauptproblem, die entsprechenden kurzen Pulse zu erzeugen, also die Puls-Technik, die dann später für die Nachrichtenübertragung enorm wichtig war. Man kann sagen, Radar war eigentlich eher eine Meßtechnik als eine Übertragungstechnik. Die Elemente, die dafür entwickelt wurden, wurden später für die Übertragungstechnik auch verwendet. So, neben der Radartechnik und der Feuerleitung mit allen Problemen, die ich da vorhin schon geschildert habe, gab's natürlich die klassische Nachrichtentechnik oder Fernmeldetechnik im 2. Weltkrieg, nämlich enorme strategische Nachrichtennetze aufrechtzuerhalten mit großen Belastungen von Gesprächszahl usw. in den Knoten und auch die operativen Nachrichtennetze mit starker Nutzung der Funktechnik.

Man wollte also komplette Systeme haben, die anpaßbar waren an die diversen taktischen und geographischen und technischen Bedingungen. Es war eine viel größere Vielfalt, als man so in der ruhigen Ziviltechnik irgendwie vor sich hatte. Dann wollte man die Impuls-Techniken nutzen, um Richtfunk zu machen, der nicht abgehört werden konnte, und dann mußte man die Nachrichtennetze weltweit aufbauen, und da spielte die Kryptographie natürlich eine zentrale Rolle, also Verschlüsselungstechnik.

Also wenn man da mal so ein paar anschauliche Daten nimmt: Bei Ende des Krieges waren in dieses ACAN heißt es, ARMY COMMAND & ADMINISTRATIVE NETWORK, das also von der amerikanischen Armee betrieben wurde, das dreifache des Wertes der internationalen Verbindungen aller dieser kommerziellen Gesellschaften AT&T, RCA, Western Union, also sämtliche amerikanischen Kommunikationsgesellschaften, hatten ihre Netze da eingebracht, aber jetzt war das auf den dreifachen Wert gestiegen, d. h. es war ein Wahnsinnswachstum innerhalb kürzester Zeit in Netzgröße. 822.000 mal Funk- und Drahttelegrafie, die da zu „handeln“ waren. Also so ein Zentrum dieses Netzes im Washingtoner Kriegsministerium hatte – nur mal so'n paar Daten, damit man sieht, was für eine Verkehrslast dann nachher drauf lag – hatte 1942 550.000 Worte pro Tag zu bewerkstelligen und 1945 9,5Millionen Worte als Datenlast. Und dieses Netz mußte ja einheitlich verwaltet, einem einheitlichen Schlüsselmanagement usw. unterzogen werden, und das reichte nachher von Berlin über München, Brüssel, London, Washington, Fernost, also ist schon, nicht verglichen mit heute, sondern verglichen mit den Zuständen, die vorher waren, eine enorme Größe.

R.: Und im wesentlichen alles mit Analog-Technik und die Schaltungen alle Relais-Schalter.

H.: Natürlich. Relais-Schaltungen und Fernschreiber. Vor allen Dingen, weil man Fax noch kaum hatte, mußten die verbindlichen Befehle usw., also Fernschreiben spielt, weil die Fernschreiben auch besser verschlüsselbar waren als Telefongespräche, war das noch mal eine gewaltige Nutzung der Fernschreibtechnik. Da gibt's dann, beispielsweise, man hatte dann auch mal berechnet, was diese Verbindungen eigentlich kosteten, und so kostete z.B. eine Botschaft von San Francisco nach Washington Effektivpreis von 600 Dollar, damaliges Geld. Also das waren schon entsprechende ... Das Royal Corps of Signals, was die Nachrichtentruppe der britischen Armee, Nachrichtentruppe, die hatte im 1. Weltkrieg, hatten die 38.000 Mann, im 2. Weltkrieg hatten sie 150.000. Das sind alles Zahlen, die im Prinzip sagen, der Nachrichtenaufwand, diesen Weltkrieg halt da am Laufen zu haben, der war eben enorm. Hier, das ist auch interessant: Die allgemeine Telegramm-Statistik in den USA, und insofern kann man fast die Theorie abhängig machen von dieser Statistik, weist '47 genau den gleichen Stand aus wie Ende der 20er Jahre, durch die militärischen Netze. Dann fing man plötzlich wieder an, Schnelltelegrafiersysteme zu machen, also die ganzen

Fragestellungen, die eben in den 20er Jahren mal oder eigentlich noch viel früher relevant waren. So, und dann war auch damit mal Schluß, und dann ging's um die Puls-Code-Modulation als ein digitales Mittel, auch Fernsprechverbindungen zu digitalisieren z.B.

Nächstes großes Thema in diesem Netz neben der hohen Verkehrslast war die Kryptographie. Verschlüsselung, Entzifferung, Code-Bereitstellung, Konstruktion von Code-Maschinen, mathematische Codiermaschinen, war ja enorm dieser Nachrichtenverkehr, den ich da genannt habe, der war ja zu verschlüsseln, und da aus diesem ganzen Signal Security Service ging die Signal Security Agency hervor, die dann später die National Security Agency, also die NSA, war. Die hatten also damals dann schon 1944 2.500 Leute, die nur mit Ver- und Entschlüsseln, Schlüsselverteilung und Schlüsselverteilungsmanagement zu tun hatten. Also, und Shannon arbeitete ab 42 für den Signal Intelligence Service, also für diese Truppe, und war also da in dem Zusammenhang auch oft in Washington. Die haben dann in der Zeit - mal eine Vergleichszahl so gesagt - im 1. Weltkrieg war jeweils in dieser Kryptographie-Truppe jeweils einer von 10.000 Mann unter Waffen war einer in so einer Kryptographie, im 2. Weltkrieg waren es jeweils einer von 800 Mann. Und das ist ja jetzt, wir haben ja die Unterhaltung gestartet mit dem Blick auch von heute, und das ist ein, behaupte ich, einer der Punkte, wo die Welt heute und künftig des Internets plötzlich wieder vergleichbar wird, weil beim Banking, beim Kaufen, und auch beim Austauschen von Meldungen plötzlich auf dem Internet Schlüsselmanagement und die Sicherheit gegen feindliche Interference, also von irgendwelchen Hackern, plötzlich wieder eine große Rolle spielt.

R.: Ja, es gibt ja auch so eine Art Krieg um Kryptologie seit einigen Jahren in Verbindung mit dem Internet, also beispielsweise das Exportverbot seitens der USA für komplizierte kryptographische Verfahren und das Anwendungsverbot für hochverschlüsselte Nachrichtenübertragung zwischen privaten oder nicht-staatlichen Stellen in Frankreich, also es ist eine sehr merkwürdige Erscheinung, die zum Teil sicherlich schlicht nur durch die Geschichte begründbar ist wie in den USA – das ist ja ein Verbot, das nicht praktikabel ist. Selbstverständlich werden diese Schlüssel exportiert

H.: Läßt sich nicht aufrechterhalten.

R.: Das läßt sich nicht. Das Netz ist eben international und also jede Verschlüsselungstechnik hat ihre Urheber, und diese Urheber kommunizieren mit anderen, und deshalb gibt es selbstverständlich in der Schweiz oder in Finnland Server, auf denen diese kryptographischen Verfahren abrufbar sind von Europäern, und das Exportverbot ist schon unterlaufen.

H.: Das ist nicht durchzuhalten, ich halte es aber auch für sehr wichtig, wenn man nämlich den Geldverkehr sicher und zuverlässig über das Internet abwickeln kann, das heißt, wenn man so was wie eine monetäre Politik auch für elektronisches Geld machen kann, letztendlich steckt ja das mit dahinter.

Also kann man sagen, der Vorläufer dieser Problematik war der 2. Weltkrieg mit den entsprechenden handelnden Parteien, und man wird sich dran gewöhnen müssen, daß man nicht beliebige Zugriffsmöglichkeiten hat auf solche Kommunikationen oder solche Dinge hat. So. Also man sagte da im 2. Weltkrieg, Codes wurden eine Fracht, die fast so wichtig waren wie Nahrung oder Munition. So, dann gab's das Problem der operativen Nachrichtennetze, die also vor Ort waren, der Handys, der Funkgeräte, die die Leute da hatten, da tauchte dann das Puls-Modulations-Thema auf, d.h. man nutzte die Radar-Technik, die man im Prinzip hatte, als Hochfrequenz für Lichtfunk. Dann kam die Puls-Code-Modulation als eine Technik, die im 2. Weltkrieg ihren Ursprung hatte, und dazu gibt's ja auch von Shannon, Oliver & Pierce dieses Papier von 1949 „Philosophy of PCM“, die also die entsprechende Anwendung der Informationstheorie auf PCM-Systeme erlaubte. Die PCM, die Vorteile, die man dann sah zu dem Zeitpunkt gegenüber den klassischen Techniken, kreierte also eine Digital-Euphorie, kann man sagen, nach dem Krieg, daß man nun wirklich die Übertragungsqualität auch für Sprache völlig abkoppeln konnte von der Übertragungsentfernung oder von der Netztopologie, vom Medium, weil es beliebig steigerbar war in seiner Qualität so wie die Genauigkeit digitaler Computer eben auch beliebig steigerbar war im Unterschied zu den analogen. Dann konnten auf dieser Basis alle Übertragungsmedien kompatibel sein, und alle Verkehrsarten konnten auf dieser Ebene gemischt werden, und man konnte auch Installationen für höhere Übertragungsqualitäten oder Verkehrsaufkommen schrittweise erweitern.

Dennis Gabor

R.: Sie sagten, Gabor hat die zweite wichtige Kommunikationstheorie neben Shannon entwickelt. Die ist eher semantisch orientiert und nicht statistisch, und sie hängt sich an das technische Problem der Bandbreiten.

H.: Ja. Vielleicht einiges zu dem Background von Gabor. Gabor war ja Physiker, Jahrgang 1900, und erst mal von daher schon eine wissenschaftliche Generation älter als Shannon, der also 16 Jahre jünger war. Und Gabor hatte 1927 an der Technischen Hochschule in Berlin im Fach Physik promoviert und arbeitete dann von 27 bis 33 bei Siemens im Forschungslabor an Gasentladungs- und Plasmaphysik-Problemen. Er ging dann 1934 erzwungenermaßen nach England und arbeitete da in einer Forschungsposition bei einem britischen Konzern BTH im Bereich von Elektronenphysik und Elektronenmikroskopie, wo auch quantenmechanische Aspekte dann anfangen, wichtig zu werden. Zu dem Spektrum der Firma, in der er da war, gehörten außerdem noch Akustik,

Tonfilm, Kinogeräte, Beleuchtung und solche Dinge, und Gabor war, obwohl diese Firma BTH stark in der Radartechnik engagiert war im Krieg, war er an keiner Stelle in der Kriegsforschung beteiligt, und insofern, also einmal war eine wissenschaftliche Generation schon vor Shannon und dann war sicherlich 'ne Phase Verschiebung dadurch, daß er halt nicht an Kriegsforschung teilgenommen hat, sondern an Dingen, die sich parallel dazu ergeben haben, so daß das eine weitere Phasenverschiebung eigentlich war. Seine Arbeit heißt „Theory of Communication“, die erschien 1946.

Er war eigentlich der einzige, der sich in England also auf die Arbeiten von Hartley berief, und, jetzt muß man sich vorstellen, daß seine physikalische Informationstheorie, die er vor dem Hintergrund der Anwendung Telefonie, subjektiver Akustik, wie versteht man bestimmte Frequenzzeitsignale, in einer Zeit, wo in den USA dann das digitale Fieber herrschte, nach dem Krieg konnte die nicht auf fruchtbaren Boden fallen, sowenig übrigens auch wie seine ersten Ideen, die auch aus der Zeit stammen zum Thema Holografie, die man zunächst für völlig abwegig gehalten hatte. Es war ja die Theorie weit vor dem Laser, der es dann auch möglich machte, die Holografie auch tatsächlich mal experimentell auszuprobieren. Den technischen Hintergrund für seine Theory of Communication bildeten Sprach- und Musikübertragung, also die Techniken von Tonfilm und Telefonie und Wahrnehmung durch das Ohr.

Er untersuchte, welche Einflüsse Frequenzänderungen in einer bestimmten Zeitfolge auf die Wahrnehmungsfähigkeit durch das Ohr haben. Er meldete jedoch den Gültigkeitsanspruch seiner Theorie auf die Analyse der Information und ihrer Übertragung durch Sprache, Telegrafie, Telefonie, Radio oder Television an, also weit über das hinaus, was eigentlich seine Basis war, die gesamte Nachrichtentechnik. Es ist interessant, immer da, wo, immer dann, wenn Shannon von „English text“ sprach, sprach er von „English tongue“, das ist eigentlich der Unterschied.

Sein tieferes philosophisches Motiv eigentlich war, und das ist für einen Physiker, der sich mit Quantenmechanik auch eine Zeitlang beschäftigt hat und bei der Elektronenmikroskopie wirklich in die kleinsten Größenordnungen vorgedrungen ist, war, das philosophische Konzept der Frequenz als Wechselhäufigkeit und damit also bei Wellenpaketen, die im Prinzip auch nur durch ihre, wie Elementarteilchen, die auch nur durch ihre Frequenz und ihre zeitliche Dauer beschrieben werden. Deshalb war bei ihm die fundamentale Beziehung, und die nannte er das „Hartley Law“ oder hatten früher andere schon genannt, aber er behielt den Begriff bei, „Hartley Law“, das Zeit-Gesetz, die Beziehung zwischen Zeit und Frequenz, das, was ich vorhin als das Abtasttheorem von Nyquist bezeichnet habe. Während Shannon seine mathematischen Methoden aus der Algebra und aus der Statistik holte, holte Gabor seine Methoden aus der Quanten-Mechanik, aus Akustik und eben auch der Elektronenmikroskopie.

Für ihn, und jetzt kommt der große Unterschied, die kleinste Einheit der Information war für Shannon ein bit, halt der Logarithmus der Wahrscheinlichkeit zur Basis 2, und bei Gabor war die kleinste Einheit einer Information ein Logon, nannte er das, ein Elementarsignal, und zwar ein Signal, das in dem Diagramm aus Zeit und Frequenz die Größe $1/2$ einnimmt. Und immer, wenn eben ein Signal, das das Ohr aufnimmt oder irgendwas sich in dieser Fläche bewegt, dann ist das ein Logon als Informationseinheit, und seine Arbeit war praktisch zwei Jahre früher erschienen als die von Shannon, Shannon's Arbeit war aber schon fertig gewesen, d. h. die hatten völlig unabhängig voneinander diese beiden Konzepte gemacht, und Gabor sprach in seinem Papier auch von der Theory of Information, die er damit hatte, die aber eben Basis war für die Einordnung und Voraussage von Experimenten zur Hörwahrnehmung und nichts mit Text zu tun hatte. Er hat dann auch 47 noch mal nachgelegt, da war Shannon's Arbeit immer noch nicht erschienen, sondern vielleicht so informelle Diskussionen, aber Shannon's Arbeit war halt nicht bekannt, und hat eine Arbeit veröffentlicht, die nannte sich dann auch „Acustical Quanta In The Theory Of Hearing“, also er ging dann, brachte auch den Begriff der Quantentheorie, der akustischen, oder „Quanta of Information“, sprach er auch von „Quanta of Sound“. Dann erwähnte er sogar explizit auch Anregungen von Physikern und Akustikern, die er erhalten habe, die Unbestimmtheitsrelation der klassischen Physik und der Quantenmechanik für die Akustik anzuwenden.

Leider kam ich, wie gesagt, nicht mehr dazu, mit Gabor zu sprechen, mich hätte sehr interessiert, inwieweit diese Denkansätze dann letztendlich auch zur Holographie fruchtbar gewesen sind, um zur Holographie zu kommen, und man kann halt daran sehen, wenn man hinreichend geniale Wissenschaftler nimmt, dann ist es eigentlich mehr oder weniger egal, mit welchem Methodenapparat welches Problem sie sich annehmen, irgendwas Interessantes kommt da schon bei raus, nur für die technischen Fragestellungen der Zeit war das eben sehr unterschiedlich, weil Shannon gewissermaßen mitgegangen war mit der technischen Entwicklung im Krieg und er nicht. Also er stellte dann die Frage an seine Theorie, wieviel Logons müssen je Sekunde übertragen werden, damit Sprechübertragung verständlich ist.

R.: Während bei Shannon – ich versuche gerade, es mir verständlich zu machen, also für Shannon ist die Voraussetzung bereits die, daß er mit symbolverarbeitenden Maschinen arbeitet.

H.: Voll alles rein digital, es geht um Symbole, und es geht eigentlich um die, ja wieviel bit ist die Kapazität eines Kanals, eines gestörten Kanals, wieviel bit an echter Information kann ich übertragen, und dann die zweite Frage, wie muß ich die Information so kodieren, daß sich eben eine zuverlässige Übertragung trotz Störung ergibt.

R.: Während in der Logon-Auffassung von Gabor so eine Art Symbolverweigerung zugrundeliegt.

H.: Da gibt es keine Symbole, das ist Physik. Das ist Physik, und er sagt dann auch, die zweite Frage ist, wieviel Logons müßten je Sekunde übertragen werden für die Reproduktion von Sprechen oder Musik, die das Ohr vom Original nicht unterscheiden kann, d. h. wieder, welches Bandbreite-Zeit-Produkt, und da muß man natürlich schon mal sagen, daß ist eigentlich immer eher für eine physikalische Situation relevant als für ein großes Netz, wo immer Störungen sind und wo man sich eigentlich damit befassen muß, daß man die Störungen irgendwie wegstreift. So, und dann hat er sich also über das Ohr und wie das Ohr überhaupt Signale auseinanderhält, und hat dann noch eine weitere Arbeit geschrieben, also in 47, auf die ich jetzt vielleicht nicht näher einzugehen brauche.

R.: Also Gabor arbeite gleichzeitig an der —

H.: — an seiner Kommunikationstheorie und an der Holografie.

R.: Und für die Holografie bekam er den Nobelpreis.

H.: Hat er 1971 dann den Nobelpreis gekriegt, aber arbeitete eben von '45 bis '47 etwa daran. Und zwar im Zusammenhang mit Versuchen der Kompression der Frequenz durch Aufzeichnung, Abtastung der Aufzeichnung und Überlagerung mit einer Folge von Elementarimpulsen.

Übrigens ist beim Tonfilm auch sehr anschaulich, das ist ja eine optische Aufzeichnung am Rand des Films, da kann man die Logons richtig sehen, ja, das sind eigentlich die Flächen, die Schwärzungsflächen aus Frequenz und Zeit. Und für beide Fragestellungen, nämlich die Holografie und diese Kompression, hat er also mit den gleichen Techniken der Filmaufzeichnung gearbeitet und auch mit dem gleichen Techniker zusammen, der diese Experimente gemacht hat, das war, ging Hand in Hand. So, die Fragestellung, für die Telefonie-Übertragung dieses tatsächlich zu nutzen, war eigentlich gar nicht die technische Fragestellung, die zu der Zeit dann die Leute interessiert hat, weil da ging's um Digitalisierung, wie kann ich also PCM anwenden und wie kann ich also die Qualität nicht über eine Logon-Manipulation, sondern über eine Digitalisierung und einfach eine entsprechende Aufbereitung generieren. So. Und hier ging es auch immer um die Erhaltung der Phasenbeziehungen also zwischen den einzelnen Frequenzanteilen eines Signals. Das ist bei Sprache nicht wichtig, aber bei Musik ist es natürlich entscheidend, und daraus hatte er gerade versucht, seinen Kompressionsgewinn zu ziehen.

Und von der Aufnahme seiner Theorie, das hat sich halt in Richtung Akustik und Optik ergeben, aber es ist durchaus nicht ausgeschlossen, wenn die Holografie mal eine wesentliche Rolle spielen sollte, vielleicht ist dann

diese Art des Informationskonzeptes genau das Richtige, um das zu beurteilen. Es gab zusätzlich nach dem Krieg eine Menge von Kommunikationsmodellen von Nachrichtentechnikern, die auf Hartley aufsetzten, zum Teil auch nicht, aber meistens auf Hartley aufsetzten, in Japan, in England, in Deutschland, in den USA. Die Bekannteste davon oder die, die am weitesten gekommen ist, ist die Arbeit von Tallar in den USA, der hat eine Dissertation verfaßt und später einen Artikel daraus machte, 49 erschienen, „Theoretical Limitations On The Rate Of Transmission Of Information“, aber auch, er hatte halt das Pech, daß Shannon ein Jahr später also eine wesentlich ausgereifere Theorie vorstellte. Wie die sich jetzt im einzelnen unterschieden, ist vielleicht hier nicht so wichtig, der entscheidende Beitrag wurde dann von Shannon geleistet.

Claude Shannon

R.: Ja, und im entscheidenden Unterschied zu Gabor stellt Shannon eine mathematische Theorie der Kommunikation auf, die gegen die Art der Quellen, die übertragen werden, völlig gleichgültig ist, also ihm ist das, was übertragen wird, völlig unwichtig. Er nimmt da alle vorhandenen Techniken, er zählt die hier auf, was es alles geben kann, man kann alles sampeln, komprimieren, quantisieren und kodieren, eben digitalisieren, und von daher muß das System oder seine Theorie eben die Qualität dieser Quelle überhaupt gar nicht beachten. Shannon's Theorie behandelt den Informationsaustausch zwischen Maschinen, und eine Schnittstelle für den Menschen ist zunächst mal nicht vorgesehen, und es geht da um das Überleben einer Information gegenüber der Störung.

H.: So ist es. Ja.

Es ist übrigens interessant, daß die analoge und die digitale Denkweise, die hat ja in der Wissenschaft oder in dem, was da die Mathematiker da trieben, auch ihre Reflektion in den Ausbildungen in bestimmten mathematischen Modellen, also sagen wir mal die Fourier-Analyse und Differentialgleichung, das sind die klassischen mathematischen Methoden der Analog-Technik, während Algebra, Statistik dann eher der digitalen Technik zuzuordnen sind, d.h. das waren auch andere Ausbildungsschulen, die dahintersteckten, und da gab es auch zwischen den Technikern sehr oft die Kriege und Diskussionen zwischen den analogen und den digitalen Leuten. Es gibt nur ganz wenige, die den Bogen eigentlich so spannen können, das ist interessant. Und setzt sich halt in dem Unterschied zwischen Sprechen und Text dann fort.

R.: Was können Sie über Ihre persönliche Begegnung mit Shannon berichten?

H.: Wenn ich mich recht erinnere, hat er, also ich habe ihn dann besucht in Winchester, das ist an der Massachusetts-Avenue, die ist ja Dutzende von

Kilometern lang, in der Nähe von Boston, und das erste, was mir auffiel, war, daß da eine Fahne wehte, das war, wie er mit später erzählte, die Südstaatler-Fahne, der Konföderation. Und, ja also die Begegnung, ich war zweimal bei ihm und hab' in Summe also, glaube ich, irgendwie so um die fünf Stunden, vier bis fünf Stunden, da mich mit ihm unterhalten. Wie ich zugeben muß, zu dem Zeitpunkt auch noch in einem Englisch, was sicherlich nicht perfekt war, das war etwas mühsam vielleicht streckenweise, aber sehr beweglich, sehr munter und pffiffig und witzig. Und er hatte, ich hatte das vorhin schon gesagt, er hatte ja neben diesen ernsthaften Dingen, die er da gemacht hat, viele andere Sachen gemacht, also seine Theorie der Börse, z. B. hat er also eine Theorie der Börse irgendwie verfaßt, und ich habe ihn dann gefragt, ob, es wurde berichtet, daß er also an der Börse ein kleines Vermögen gemacht hat in der Zeit da zwischen den 50er Jahren und später, ob das auf seine Analyse des Spiels an der Börse und der Theorien da zurückzuführen war, da sagte er also, wenn er ehrlich ist, hängt's damit zusammen, daß viele der Leute, die er aus den ersten Informationstheoriediskursen und aus den anderen Dingen nach dem Krieg kannte, halt kleine Unternehmen aufgemacht haben, und es dann auch gerne hatten, wenn halt berühmte Leute dann irgendwie mal einen Anteil hatten oder so, da ist er da hier und da miteingestiegen, und manche von denen haben sich sehr gut entwickelt.

Aber er hatte dann mal mit anderen zusammen eine Statistik der Roulette-Spiels in konkreten, also Roulette-Anordnungen, da sind immer irgendwelche Fehler drin und da gibt's, wenn man hinreichend eine Zeitlang beobachtet und eine Analyse macht, welche Hälfte der Scheibe wieviel Treffer kriegt, da gibt's da also Regelmäßigkeiten, so daß man die Gewinnwahrscheinlichkeit deutlich erhöhen kann, aber bis zum Einsatz in Las Vegas haben sie es da auch nicht gebracht, und dann hat er halt Einräder gesammelt und ist also Einrad gefahren, Balanceproblem, Stabilitätsproblem hat er auf dem Papier geschrieben, und er hat möglicherweise auch mehrere über die Theorie des

R.: Jonglierens

H.: Ja, Juggling und Schachcomputer, er hat wohl mal mit Botwinnik gespielt in Moskau, hat zwar verloren, aber es wird gesagt, er hätte also, Botwinnik wäre noch der eine oder andere Schweißtropfen auf die Stirne getreten, so, er hat also sehr viele verschiedene Sachen gemacht, und insofern ist er sicherlich einer derjenigen, die auch heute da, wennimmer philosophische Aspekte auch oder breitere Aspekte gefragt sind, und das ist ja eigentlich immer nur dann der Fall, wenn sich neue Horizonte eröffnen, das Internet ist heute so'n Fall, wo sich plötzlich Horizonte eröffnen, sind die Leute an philosophischen Aspekten interessiert, an einem breiteren Gesichtswinkel, da hat er also auch heute noch was beizutragen, wobei ist er halt 80, weiß nicht, wie ihm das heute geht. Es gibt ein Interview, das er vor einigen Jahren mal der Zeitschrift „Omni“ gegeben hat, das ist recht interessant, wo

er sich äußert dazu, daß er ziemlich sicher ist, daß die Maschinen irgendwann viele von den Sachen, die wir als besondere eigenständige Denkleistung betrachten, auch irgendwann besser machen können. So. Interessant war auch, waren auch eigentlich die Kommentare und Gespräche mit den anderen, mit seinen ehemaligen Kollegen, Mitarbeitern usw. Und da war schon auch wichtig, daß die Arbeitsatmosphäre bei Bell zu der Zeit, als er da war und auch in dieser mathematischen Gruppe, in der er bei Bell war, so war, daß einer wie er da erfolgreich sein konnte, es hätte auch durchaus anders sein können, also es gab da auch Äußerungen von Leuten drumherum, die sagten, naja, das ist alles schön und gut, was er da macht, bloß mit meinem technischen Problem, was ich da zu ihm bringe, dafür hat er sich nie interessiert. Und das ist natürlich wichtig für eine solche Organisation, daß die in einer Forschungs- oder Denkgruppe da auch Leute beschäftigt, die halt ihre eigenen Ziele setzen und auch was Gutes rauskriegen, wenn sie sich nicht um das kümmern, was andere ihnen sagen.

R.: Zu der Zeit, also 1977, als Sie dort waren, da war er 60, da arbeitete er noch bei Bell?

H.: Nein. Er arbeitete schon lange nicht mehr bei Bell, er war ja dann später Professor im MIT und war aber auch zu dem Zeitpunkt schon, privatisierte schon zu dem Zeitpunkt. Ich habe, wenn ich mich nicht sehr irre, am MIT noch 'ne Tür gesehen mit seinem Schild, also er hatte da noch ein Büro, aber war eigentlich nicht mehr da. Marvin Minsky war ja mal Werkstudent bei ihm, bei Bell, also der hatte sicherlich Kontakte da zu allen am MIT noch, aber verfolgte halt seine eigenen Sachen, die ihm Spaß machten, und war, deshalb gab's auch gar keinen Termin am MIT, sondern ich mußte ihn zu Hause besuchen. Ja, vielleicht noch mal eine Schleife zu dem Ausgangspunkt der,– mein Einstieg in das Ganze war ja über Thomas Kuhn gewesen und die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen, also Paradigmenwechsel, und Kuhns Aussage auch, daß neue wissenschaftliche Theorien sich erst durchsetzen, wenn die Vertreter der alten ausgestorben sind.

Paradigmawechsel analog \mathbb{D} digital

Hier meine ich, gezeigt zu haben, das ist ja auch ganz interessant, daß in der Technik, wo technische Fragestellungen, wo die ganze Forschung so organisiert ist, daß eben doch technische Fragestellungen eigentlich letztendlich das Ganze treiben, daß auch da was existiert wie Paradigmen, die, Beispiel Gabor und Shannon, aufgrund unterschiedlicher technischer Fragestellungen, die durch so was wie den Krieg, und der eine nimmt dran teil und der andere nicht und die Vorgeschichte, zu völlig anderen Ansätzen führen können oder auch die Problemstellung des Telegrafierens, die dann 20 Jahre später wieder auftaucht, daß da mit den Generationen von Technik oder der Veränderung der technischen Rahmenbedingungen und der Problemlage plötzlich alte Paradigmen, Fragestellungen, wieder auftauchen

und weiterentwickelt werden können, was zunächst mal gar nicht zu erwarten war. Also wenn man sich eben Mitte der 30er Jahre dieses Feld angesehen hätte, hätte man nie gedacht, daß eine solche digitale Theorie jetzt noch mal irgendwie in absehbarer Zeit relevant ist.

R.: Also einer der entscheidenden Paradigmenwechsel ist die Digitalisierung

H.: Ja.

R.: Gibt es noch weitere Punkte? Vielleicht nennen Sie einfach die Labels.

H.: Digitalisierung versus subjektive Rezeption, sag' ich mal, von Sprechen, von Musik usw., und beide Themen werden wahrscheinlich auf Dauer Themen sein, die jeweils unterschiedlich wichtig sind, und sie haben aber unterschiedliche Methoden, oder auch unterschiedliche Menschen, die da drin sind und unterschiedliche Ausbildung, die diese Sachen vorantreiben. Digitalisierung, Statistik als Methodeninstrument, das sind so einige der in diesem Zusammenhang der Paradigmen, die hier die Generationen eigentlich unterschieden haben voneinander. Letztendlich läuft es entlang der Linie digital oder analoge Techniksyste, aber auch Methoden und Ausbildungsfolgen. Eine weitere Randbedingung, die hierbei eine Rolle spielte, war die enorme Intensivierung eigentlich aller Fragestellungen durch den 2. Weltkrieg. Alles, was Abhängigkeiten von, alles, was beinhaltete Fragestellungen maximaler Ausnutzung von gegebenen Ressourcen zur Übertragung oder zur Berechnung oder zu irgendwas spielte eine Rolle und dann auch, und das kann nicht einfach durch Digitalisierung beschrieben werden, Verhinderung der Interception, also durch den Gegner, in einer solchen schwierigen Situation, also Codierung, Schlüsselverteilung, Schlüsselmanagement.

Wenn man also die Entstehung der Kommunikationstheorie oder Informationstheorie in einen weiteren kulturgeschichtlichen Zusammenhang sieht, dann kann man natürlich sagen, die Telegrafie war ja die Geburt eigentlich der Nachrichtenagenturen und der Presse in dem Sinne, wie wir sie heute haben. Und das ist schon mal nicht verwunderlich, daß dann irgendwann das erste Mal der Begriff Information irgendwie systematisch auftaucht. Wenn man dann den 2. Weltkrieg nimmt, dann kann man sagen, das war eigentlich das größte Kommunikationsspiel gegnerischer Parteien, was die Welt bisher gesehen hat. Wenn man also da nimmt diese Tausenden von Kryptologen auf jeder Seite, die versuchten, sicherzustellen, daß der andere nicht mitkriegt, was man hat, dann ist das natürlich ein riesiges Szenario, da kann man fast erwarten, daß da irgendwie mal systematisch über Information nachgedacht werden muß.

Auf der anderen Seite, wenn man sich fragt, warum ist es in der Zwischenzeit, hat sich keiner drum gekümmert, muß man einfach feststellen, daß die Wissenschaftstheorie oder Wissenschaftsgeschichte diese

Art von Technik eigentlich nie ernstgenommen hat in ihrer wissenschaftlichen Relevanz oder in ihrer allgemeinen philosophischen Bedeutung. Man hatte zwar die Physik, zwar auch nicht, wenn sie Glühlampenfäden dimensioniert, aber wenn sie über Quantenmechanik und Beobachter da überlegt, dann ist sie also was Wichtiges und dann stürzen sich eben auch alle möglichen Soziologen und Historiker darauf. Aber die Technik ist vom ganzen Status her, die Techniker waren eigentlich irgendwas, was überhaupt noch nicht im Blickpunkt war, sondern eher, ich kann mich da noch dran erinnern, als die Arbeit entstanden ist, eher so Großtechnik, also Kraftwerke, wie schlimm das ist usw., aber daß in der Technik eine Theorie entsteht, die auch Einsichten über diese Technik direkt hinaus irgendwie generiert, das war eigentlich überhaupt nicht im Blickpunkt. Und deshalb hat es vielleicht so lange gedauert.

Kybernetik

Und die Kybernetik hatte ja mal den Appeal, den Sex-Appeal also einer, ich kann mich erinnern, in der DDR war also Kybernetik mal eine Zeitlang der, überhaupt der, die sozialistische Wissenschaft schlechthin, bis sie dann wieder völlig eigentlich daneben war, aber das war hier eigentlich nie in den Kreisen, die so kulturhistorisch oder kulturtheoretisch gearbeitet haben, eigentlich nie irgendwie salonfähig, würd' ich mal sagen. Und insofern ist es vielleicht kein Zufall, daß ich mich damit befaßt habe, weil ich so ein bißchen naiv aus der DDR kam, mit einer physikalischen Ausbildung und mich dann mal auf dieses Thema gestürzt habe, ohne zu wissen, ob ich da vielleicht in Fettnäpfchen trete, oder so was mache, was eigentlich nicht so furchtbar interessant ist.

R.: Kybernetik. Ich weiß ja nicht, worüber Sie mit Heinz von Foerster genau gesprochen haben und woran Sie sich noch erinnern können. Für ihn ist ja Kybernetik mehr als einfach nur Steuerung oder Kontrolle von Prozessen, sondern für ihn ist ja Selbstorganisation, Zirkularität, auch das, was an „Lernen“ in mehr oder weniger Führungsstrichen in Systemen, sich selbst organisierenden Systemen möglich ist, viel entscheidender gewesen. Der Anfang dieser Konzepte lag ja da, wo Shannon seine Theorie aufstellte, also Ende der 40er Jahre, und Shannon war ja auch sehr verbunden mit diesem Kybernetiker-Kreis, Wiener, von Foerster, McCulloch usw. Wieweit hat das auch in der Informationstheorie eine Rolle gespielt?

H.: Also es hat mit Sicherheit eine Rolle gespielt bei der großen Bewegung, die da war, also bei der Resonanz, die das Ganze gefunden hat, weil viele - Sie haben ein paar Namen zitiert, aber es gab ja hunderte von Leuten, die auf diesen Konferenzen waren und eigentlich zugehört haben - für die hat sicherlich diese Aufbruchstimmung 'ne Rolle gespielt, wo alle diese neuen Themen plötzlich, die eigentlich in verborgenen Kreisen irgendwie behandelt worden waren im 2. Weltkrieg, plötzlich auftauchten. Für die war das wichtig. Für Leute, die die Themen selber eingebracht haben, à la

Shannon oder Stibitz oder dann später Oliver – wie die hießen, die an der Informationstheorie gearbeitet haben – für die waren eigentlich diese anderen nicht direkt ihr Fachgebiet betreffenden Sachen, war mal anregend, aber nicht sehr relevant. Ich glaub', daß man hier, und das ist vielleicht auch einer der Punkte, weshalb es 'ne Zeitlang nicht untersucht worden ist, weil vor dem, im Eindruck derer, die dabei beteiligt waren, die selbst im Krieg da mitgeforscht haben, ist das Ganze ein Sammelsurium von vielen Einzelteilen. Die, die das Ganze aus größter Entfernung gesehen haben, wie die Europäer zunächst mal die Kybernetik oder wir jetzt aus größerer zeitlicher Entfernung sehen, daß es eigentlich ein Schritt irgendwie in eine neue Welt war, doch viel mehr miteinander zu tun hat als viele Beteiligte das damals gesehen haben. Und daß heute plötzlich der Begriff Cyber also ein kultureller Begriff ist, der eine große Bandbreite überdeckt, die kaum noch was mit dem zu tun hat, was da gesagt worden ist, ist ja erstaunlich eigentlich, man fragt sich einmal, das ist in der Wissenschaftstheorie dann immer die Frage, wo ist dieser Begriff eigentlich so lange aufbewahrt worden? Wo hat der weiterexistiert, da er jetzt wieder auftauchen kann? Weiß es nicht. Bei dem Begriff Information zwischen Ende der 20er und Ende der 40er Jahre war das ganz klar. In Beseps hat der eigentlich weiterexistiert. Hartley gab's noch, Shannon kannte den, und man hat das also so weiter aufgenommen. Wo dieser neue kulturelle Cybernetics, aber eigentlich eher Cyber-Begriff herkommt, bliebe noch zu untersuchen.

R.: Oberflächlich kommt der aus der Science-Fiction —

H.: Ja, aber wie kommt —

R.: Cyberspace —

H.: Ja, aber wie kommen die darauf, den Begriff zu nehmen, der eigentlich in den USA im Prinzip tot war, muß man sagen. Der Begriff Cybernetics war erledigt. Gut. Wäre vielleicht mal 'ne Frage, das zu verfolgen, wer den geprägt hat und wie das dazu kommt. An die Unterhaltung mit Heinz von Foerster kann ich mich nur insofern erinnern, als es ein wunderschöner Abend war. Er war gerade dabei, ein irgendwie neues Haus da zu planen, was in der Nähe auch der ... da irgendwie lag, das machte ihm da irgendwie Kopfzerbrechen, und er zeigte mir ganz stolz, das Grundstück war abgesteckt, und das einzige, was schon da war, war ein kleiner Holzpfosten, der schon in der Erde steckte mit einem Telefon drauf, war der Telefonanschluß. Irgendwie unterhielten wir uns dann auch über Libby, das war der Mensch, der die Delphine, also die Sprache, der diese Delphinforschung da irgendwie machte, zu dem hatte er irgendwelche Connections.

Der Oliver, glaube ich, einer der Co-Autoren von Shannon, der war da inzwischen bei, hat das bei Hewlett-Packard zu was gebracht, und den habe ich da auch relativ lange interviewt, und der hatte in der Ecke einen

Terminal, der so alle, weiß ich nicht, alle zwei Minuten rappelte der irgendwie und druckte eine neue Stelle von Pi aus. Er war, glaube ich, schon bei 2 Millionen Stellen hinterm Komma, und hatte als persönliches Hobby, daß also Pi da irgendwie was rauskommt.

Ja, also viele von denen, die ich gesprochen habe, die leben mit Sicherheit nicht mehr, die waren damals schon ziemlich alt. Thornton Fry, Warren Weaver, aber diese große Anstrengung, im 2. Weltkrieg die Mathematiker auch in die Themen reinzubringen, das hat, glaube ich, sehr viel bewirkt, und wenn man später mal diesen nachhaltigen Kulturaspekt auch betrachtet, was hat sich da eigentlich getan in der Zeit, dann hängt da viel mit dem 2. Weltkrieg zusammen, die Größe der Anstrengung und auch die Konzentration dann so vieler Kräfte, wobei da auch für die Organisation von Wissenschaft ein Punkt sehr deutlich wurde. Vorausgesetzt immer, man nimmt hinreichend geniale Leute, das ist richtig, aber je weiter eine Problemlage und ein Lösungsansatz irgendwie voneinander entfernt sind, desto neuer, wenn es dann klappt, desto neuer wird eigentlich der Ansatz, der entsteht, und desto neuartiger und überraschender. Und von der Sorte ist eben damals sehr viel passiert. Und diese Frage der, wie baut man eigentlich die Architekturen von Rechnern auf, da ist ja damals die Neumannsche Grundarchitektur entstanden, nach der heute eigentlich noch jeder PC aufgebaut ist, es fängt erst so langsam an, sich zu ändern, oder auch diese Homöostaten da, diese selbstorganisierenden Systeme, die McCulloch und – nu ist er weg –

R.: Pitts

H.: Pitts, ja, gebracht haben, das ist ja auch was, was eigentlich lange Zeit verschüttet war wieder, da hat man sich dann konzentriert auf Artificial Intelligence, heute sagt man eigentlich, ist Artificial Life das Interessante, also Ameisen zu simulieren in ihrer, die Agenten, die also in den Netzen rumschwirren, das ist eigentlich das Richtige oder das Spannende, und plötzlich werden diese Dinge wieder interessant und aktuell.