DIE CAMOUFLAGE DER KYBERNETIK

WOLFGANG HAGEN

Hardware — parabelhaft verkürzt gesagt — ist eine Frage der Epistemologie. Neue Techniken und Technologien sind möglich und machbar, wenn die sie begründende Wissenschaft in ihrem Arsenal der Experimentation und Instrumentation einen entsprechenden Know-How-Kernel bereitstellt. Gemeint ist damit ein aus Prognosen und Planung gemischter Diskurs, der dann von einem repräsentativen Teil der Forscherorganisation der betreffenden Wissenschaft plausibel verdichtet werden muß. Oft genug aber — weshalb Diskursanalyse unverzichtbar bleibt — bringen kontingente und völlig unvorhersehbare Ereignisse das Ganze erst wirklich in Gang.

Was die Genealogie des Computers betrifft — der »von-Neumann-Maschine«, wie sie uns heute hundertmillionenfach umgibt — so liegt dieses Setting gleichsam lehrbuchhaft vor uns. Sie kommt mit zwei Planungs-Papieren in Gang, das eine die Atombombenforschung, das andere die militärische Rechnenplanung betreffend. Kontingenz bleibt, daß beide Papiere zeitgleich, nämlich im August 1942, und unabhängig voneinander an der hochgeheimen Front der Militärforschung der USA erscheinen. Das eine stammt von Robert Oppenheimer und seinen »luminaries«. Sein »National Defense Research Council«-Bericht erwirkt den militärischen Start des »Manhattan-Project«,mit der Folge des Aufbaus der milliardenteuren Los-Alamos-Industrie-Labore und den Abwürfen von »The Little-Boy« über Hiroshima sowie »The Fat-Man« über Nagasaki im August 1945. Das andere stammt von John Mauchly und John Presper Eckert. »The Use of High Speed Vacuum Tube Devices for Calculations« enthält den Entwurf der ersten rein elektronischen Rechenmaschine zur Berechnung von Geschütz-Richttabellen, ENIAC genannt, der (abgesehen von Input und Output) operativ ohne mechanische Bauteile auskommen sollte. Aus der Korrektur seiner Logik, die für hydrodynamische >Bomben-Gleichungen< unzureichend ist, resultiert der Computer.

Die kontingente Verknüpfung beider Diskurssphären, die militärisch und epistemologisch keinen Zusammenhang hatten, kam im Herbst 1944 durch John von Neumann zustande. Aus der Mathematik der Wasserstoffbombe hatten sich Berechnungsaufgaben ergeben, die sich am Ende nur mit verbesserten Rechenmaschinen für Geschütz-Tabellen bewältigen ließen. Der hochrangige Geheimnisträger, wissenschaftlicher Berater fast aller geheimen Militärprojekte der USA im 2. Weltkrieg, durfte aber diesen Zusammenhang auf keinen Fall preisgeben. Schon deshalb mußte er die gefundene Maschine tarnen. Dazu verhalf ihm die Metaphorik eines Diskurses, der später als »Kybernetik« bekannt wurde. John von Neumann initiiert und fördert diese Camouflage umso mehr, als die wissenschaftsübergreifende Interdisziplinarität der Kybernetik dem Computer (und den gewaltigen Investitionen zu seinem Bau) eine ideale Friedenslegitimation bietet. Das Kriegsziel, die Super-Bombe, verfolgt er — am Ende erfolgreich — weiter.

Epistemologien sind eben auch eine Frage der Hardware. Im Fall des Computers sprengt sein materialer Bauprozeß die ihn begründenden Epistemologien auseinander, zieht den Einsatz völlig neuer heran, dazu die Notwendigkeit der Tarnung und Camouflage dieses doppelten Geschehens. Die Medien der neuzeitlichen Wissenschaft, also ihre Instrumental- und Experimentalgeschichte, zeigen allesamt diesen ursächlich dispersiven Effekt. Kritische Wissenschafts-Archäologen haben dafür aus einem anderem Blickwinkel den Begriff des »epistemischen Dings« geprägt, der die überschießend erratischen Effekte von Wissenschaftsmedien (Instrumentation und Experimentation) generell bezeichnen soll.[1] Im Fall des Computers hat die epistemologische Tarnung

qua Kybernetik den gleichen, aber inversen Effekt, nämlich die überschießenden Fragen, die sich aus dem materialen Einsatz der Hardware ergeben, zwar camouflierend, aber damit noch keineswegs theoretisch konsistent zu beantworten.

Die folgenden Überlegungen wollen zeigen, wie tief der Gegensatz zwischen John von Neumann und Norbert Wiener reicht, den ihre gemeinsam betriebene Camouflage der Kybernetik zugleich verbarg und verbergen sollte. Für von Neumann ist der Computer keineswegs eine »all purpose machine« im Sinne einer sich-selbst-steuernden, autorekursiven Logik des kybernetischen Phantasmas. Deshalb kam es dem Computer-Erfinder auch nie in den Sinn, eine Programmsprache für seine »all-purpose«-Maschine zu entwickeln. Seine nachfolgenden Studien zur Automatentheorie gingen vielmehr auf die Problematik der mathematischen Konsistenz zurück, die er, Anfang der 30er Jahre, in seiner Axiomatisierung des quantenmechanischen Meßprozesses bereits entwickelt hatte. Sie entfalten eine statistisch-probabilistische Selbstreproduktionslogik von integrierten Turing-Maschinen. Aber von Neumann zeigt darin ebenso klar, daß seine Automatentheorie, die (wie die Kybernetik) einem quantenmechanischen Paradigma folgt, ihre epistemologische Grenze an jenem fundamentalen Mechanismus erfährt, den sie nicht abbilden und nicht reproduzieren kann, — nämlich das Gehirn.

I.»Like electricity did«

Das erste Papier, das für die Computerentwicklung entscheidend wurde, stammt aus der Feder der Oppenheimer-»Erleuchteten« (Robert Oppenheimer[2], Hans Bethe[3], Edward Teller[4], John H. VanVleck[5], Felix Bloch[6], Enrico Fermi[7], Leo Szilard[8], später auch John von Neumann[9], Stanislaw Ulam[10] u. a.). Die Gruppe berechnete im August 1942 abschließend und präzise,

— daß 30kg U^{235} ausreiche, eine Bombe mit der Zerstörungskraft von 100kT TNT zu konstruieren;
— daß in etwa 18 Monaten genügend spaltbares Material vorliege;
— daß nicht nur eine >Geschutz-Ziindung< der Bombe (Aufeinanderschießen von subkritischen Massen) denkbar sei, sondern auch eine >Implosionsziindung< (Zusammendrücken subkritischen Materials);
— daß eine A-Bombe als »Zünder« für eine Wasserstoffbombe machbar sei.

»Wenn man 2 oder 3 Tonnen flüssigen Deuteriums [ein Wasserstoffisotop, W. H.] und 30 kg U^{235} hat, entspricht das 10 Millionen Tonnen TNT. Geschätztes Zerstörungsgebiet 1000 km^2. Radioaktivität tödlich im gleichen Gebiet für einige Tage.«[11]

1 Vgl. Hans-Jörg Rheinberger, »Experimentalsysteme, Epistemische Dinge, Experimentalkulturen. Zu einer Epistemologie des Experiments«, in: *Deutsche Zeitschrift für Philosophie*, 42/3 (1994), S. 405-418.
2 *1904 (New York), †1967, Physiker, Schüler von Rutherford, Bohr und Dirac.
3 *1906 (Straßburg), Physiker, Schüler von Sommerfeld, '33 in die USA emigriert.
4 *1908 (Budapest), Physiker, Schüler von Bohr, '35 in die USA emigriert.
5 *1899 (Middletown), †1980, Physiker.
6 *1905 (Zürich), †1983, Physiker, Schüler Heisenbergs, '33 in die USA emigriert.
7 *1901 (Rom), †1954, Physiker, Schüler Borns, '39 in die USA emigriert.
8 *1898 (Budapest), †1964, Physiker, Schüler Einsteins, Plancks und von Laues, '33 emigriert.
9 *1903 (Budapest), †1957, Mathematiker, Schüler Hilberts, '33 in die USA emigriert.
10 *1909 (Lemberg), †1984, Mathematiker, '35 in die USA emigriert.
11 »National Defense Research Council«-Bericht (Conant) vom 26.8.1942, zit. nach Richard Rhodes, *Die Atombombe oder Die Geschichte des 8. Schöpfungstages*, Nördlingen 1988, S. 425.

Das »Manhattan-Project«, dessen wissenschaftliche Leitung man Oppenheimer daraufhin übertrug, hatte von Anfang an drei Projekt-Ziele, die nach der Zündungstechnik atomaren Sprengmaterials abgestuft waren. Unproblematisch erschien (1) die Realisierung einer >Geschütz-Ziindung<. Unklarer dagegen (2) die >Implosions-Ziindung<. Völlig unklar, sowohl was Zündung und Wirkungsgrade betraf, (3) die Fusions-Bombe. Sie setzte (1) oder (2), also eine noch nicht existierende Spaltungsbombe als Zünder voraus.[12] »The courage of these physicists and their faith in theoretical thinking is, indeed, to be admired«.[13]

Aber Hasardeure waren die »Erleuchteten« nicht. Bomben sind Hardware und Hardware eine Frage der gegebenen Epistemologie. Geschütz-Zündungen basierten auf atomarer Spaltungsphysik, wie sie Enrico Fermi[14] schon seit den dreißiger Jahren systematisch betrieben hatte, epistemologisch also gut bekannt war. Mit Teilchen-»Beschuß« von radioaktivem oder anderem Material hatte die Physik seit Rutherfords[15] Entdeckung des Atomkerns (1909/10) Erfahrungen.[16] Die Entdeckung des Neutron (1932) durch Chadwick[17] war ebenfalls aus Beschuß-Experimenten hervorgegangen, nicht anders Hahns[18] revolutionäre Uran-Spaltung von 1938. Technologisch ist die Hiroshima-Bombe eine Extension der experimentellen Laborphysik. Sie extendiert die besagten Beschuß-Experimente in die Größenordnungen einer Zerstörungsbombe. Eine unterkritische Menge von U^{235} wird in einem Geschütz auf eine unterkritische Uranmenge geschossen, um die Kernreaktion in Gang zu setzen. Die Hiroshima-Bombe »Little Boy« hatte die Form eines in Stahl eingefaßten Artelleriegeschützes. Offene Fragen waren im Sommer '42 >lediglich< die Wirkungsquerschnitte des Uranisotopenzerfalls. Dann waren ein schnellstfeuerndes Geschütz zu entwickeln, Produktionsanlagen für hyperreines U^{235} zu errichten und ein Meiler zur Produktion von Plutonium zu bauen. Praktische Probleme, für die die Industriestadt Los Alamos aus dem Boden gestampft wurde.

Schon anders lag die Frage der Implosionszündung. Ihr theoretisches Design lief darauf hinaus, eine subkritische Plutonium-Hohlkugel mit Explosivstoffen zu ummanteln. Aber wie genau? Der konventionelle Explosivstoffwürde die Hohlkugel zu einer kritischen Masse zusammendrücken und die Reaktion auslösen. Ein gewagtes Unterfangen ohne einschlägige Vorgängerschaft in den Labors der Mikrophysik. Panzerungsexperten waren gefragt, Spezialisten für armierte Verbindungen. Im Spätsommer 1943 kam deshalb der Mathematiker John von Neumann hinzu, ein Experte in Fragen der Hydrodynamik. Er errechnete, daß das Plutonium durch den Mantelsprengstoff so unerhört verdichtet würde, daß bereits eine subkritische Kugelmasse als Ausgangsmaterial für die Reaktion ausreiche. »Auch würde keine vorzeitige Detonation infolge

12 Eine A-Bombe entwickelt ihre Sprengkraft aus der Kernspaltung aller Atome einer kritischen Masse eines Uranisotops; die Kerne >zerplatzen< und entwickeln gegeneinander gewaltige elektrische Abstoßungskräfte. Eine H-Bombe entwickelt ihre Sprengkraft durch die Fusion vonWasserstoff- zu Heliumatomen, die Fusion wird >angeregt< durch die Strahlung/Hitze einer explodierenden Spaltungsbombe; die frei werdenden Energien folgen einer vielfach verketteten Reaktion von Fusion und Spaltung. Das alles aber war 1942 so beschrieben nichts als graue und abstrakte Theorie.

13 Stanislaw Ulam, »Thermonuclear devices«, in: R.E. Marshak (Hg.), *Perspectives in Modern Physics,* London 1966, S. 594.

14 *1901, †1954, italienischer Physiker und Nobelpreisträger.

15 *1871 (Neuseeland), †1937, Physiker.

16 Vgl. Ernest Rutherford, »The scattering of α and β particles by matter and the structure of the atom«, in: *Philosophical Magazine,* 6/21(1911), S. 669-688.

17 James Chadwick, *1891 (England), †1974. Vgl. Emilio Segrè, *Die großen Physiker und ihre Entdeckungen:* München 1997, 651ff.

18 Otto Hahn, *1879 (Frankfurt), †1968, Chemiker, Entdecker der Uranspaltung.

von Verunreinigung durch leichte Elemente drohen. In anderen Worten: Man bringe die Implosion voran, und eine verläßlichere Bombe stünde in kürzerer Zeit bereit.«[19]

ImVergleich dazu blieb die Fusionsbombe fast schon Fiktion. Die Idee, so berichtet Teller, sei Fermi (Nobelpreisträger 1938) aufdem Columbia-Campus 1941 »out of the blue« gekommen.[20] Fermi errechnete im Kopf eine dreimal so große Fusionsenergie wie die einer Spaltungsbombe. Oppenheimers »Erleuchtete« brachten neue Hinweise bei. Mit Tritium (einem anderen Wasserstoff-Isotop) als Katalysator ergab sich eine ungefähre Näherungs-Lösung der Fusionsinitiierung. Das reichte den »luminaries«, um der Bombe schon einmal einen Namen zu geben: »The Super«. Wie in einer riesigen dicken Zigarre sollte eine Tonnenladung Deuterium in einem Stahlzylinder liegen, an deren Kopfseite eine Spaltungsbombe plus Tritium als Anzünder fungieren sollte. Gleich einer sich fortfressenden Fusionswalze sollte das Ganze nanosekundenschnell »abbrennen«. Als die Labore von Los Alamos bezugsfertig waren, übernahm es Teller, den Vorgang weiter zu berechnen. »Computing applications [..] ranged from computational support for experimental work to critical-mass calculations and the hydrodynamics of implosions and explosions.«[21]

Anfänglich rechneten, wie in der Industrie üblich, vor allem Frauen, graduierte Mathematikerinnen (»Rosie, the Riveter«[22]). Diese Frauen hießen »Computer«, denn ihre Arbeit war »computation« — numerisches Lösen komplizierter Gleichungen aller Art, mit Bleistift, Papier und mechanischen Tischrechnern. Aus ihrem Kreis stammen die Ehefrauen einiger Los Alamos-Wissenschaftler, unter ihnen auch Mice Teller, die Frau von Edward, ohne deren Besessenheit von den H-Bomben-Gleichungen das Projekt vermutlich völlig von der Agenda der Los Alamos-Arbeit verschwunden wäre.[23] Mit tragbarem mechanischen IBM-Rechnergerät gingen Dutzende »Computer-(innen)« von Los Alamos daran, für die nichtlinearen partiellen Differentialgleichungen[24] der Hydrodynamik von Implosionswirkungen numerische Lösungen zu finden. Gänzlich unbekannt aber waren theoretische Lösungswege, wie sie heute unter dem Titel »partielle Differentialtheorien« zurVerfügung stehen. Also mußten, nicht zum Rechnen, sondern für die Rechentheorien, immer mehr hochrangige Mathematiker, wie John von Neumann oder Stanislaw Ulam, aber auch mathematische Physiker, wie Richard Feynman oder Victor Weisskopf, requiriert werden, dazu Dutzende von hochqualifizierten >Fachsoldaten< aus dem »Special Engineering Detachment« der US-Army.

Und dennoch blieb die mathematische Kalkulation von Wasserstoffbomben überkomplex. Neben der Neutronenwirkung der Spaltungsvorgänge, derWirkung geladener Partikel der zerplatzenden Atomkerne, Strahlungs-, Druck- und Hitzeausbrei-

19 Rhodes, a.a.O., S. 488.

20 In einem Interview mit Rhodes, ebd. S. 376f.

21 N. Metropolis/E.C. Nelson, »Early computing at Los Alamos«, in: *Annals of the History of Computing*, 4/4(1982), S. 348-357, hier S. 348.

22 »Rosie, die Nieterin«, Spitzname für die »Computer«-Soldatinnen in der Army (Paul E. Ceruzzi, »When computers were human«, in: *IEEE Annals of the History of Computing*, 13/3(1991), S. 237-44, hier S. 239).

23 Metropolis, *Early Computing*, a.a.O., S. 349.

24 Differentialgleichungen sind Gleichungen, die neben einer oder mehrererVariablen *(t)* auch Funktionen dieserVariablen *y(t)* und deren Ableitungen *dy/dt* (Differentiale) enthalten. Nichtlineare partielle Differentialgleichungen beschreiben naturwissenschaftliche und technologische Vorgänge, etwa Reaktions- und Diffusionsprozesse, oder Ladungstransport in Halbleitern. Realistische Problemstellungen werden durch nichtlineare partielle Differentialgleichungen in komplexen Geometrien formuliert, für die keine analytischen Lösungen existieren. Bei Stoß- und Druckvorgängen etwa weisen die charakteristischen Variablen über kleine Raumbereiche sprunghafteWerteänderungen auf. Ein numerisches Verfahren muß diese Sprünge räumlich sauber auflösen und gleichzeitig mit hoher Genauigkeit die Werte der Erhaltungsgrößen approximieren.

tungsvorgänge, mußten in drei Dimensionen zahllose weitere Orts- und Zeitparameter berücksichtigt werden. Die Kalkulationen liefen zunächst auf die Frage hinaus, welche kritische Menge von Tritium nötig wäre, um einen Prozeß der »Selbstentflammung« eines in Deuterium eingelagerten Tritium-Zylinders in Gang zu bringen. »An understanding, in greatest detail, of the details of the preceding fission explosion was necessary [...] The subsequent interaction of the effects of the fission explosion had to be foreseen and calculated [...] All the questions of behaviour of the material as it heated and expanded — the changing time rate of the reaction; the hydrodynamics of the motion of the material; and the interaction with the radiation field, which »energy-wise« would be of perhaps equal importance of that of the thermal content of the expanding mass — had to be formulated and calculated.«[25] In Los Alamos war die offene Arbeit zudem erschwert durch eine extreme Geheimhaltungspflicht über das militärische Ziel. Als ein Techniker den Physiker Emilio Segre, damals Mitarbeiter Fermis, fragte: »What on earth we are hatching up there?« bekam er die wissenschaftsgeschichtlich mehr als korrekte Antwort: »Now, just listen to me, what we do here if we do it, will make a revolution like electricity did.«[26]

Unter den Mathematikern in Los Alamos war John von Neumann ebenso herausragend wie später im Kreise der Macy-Szientisten. Seine einzige Schwäche mag gewesen sein, daß er sich keine Gesichter merken konnte und so langjährige Arbeitskollegen schon nach kurzer Zeit nicht wiedererkannte. Ansonsten verfügte er über ein phänomenal unbildliches Gedächtnis und wußte kapitelweise Bücher, einmal gelesen, auswendig zu rezitieren. Mit seinem unerschöpflichen Reservoir an physikalischen Materialkonstanten und Grundgleichungen aller Art war er in Los Alamos unverzichtbar. McCulloch berichtet, wie präzise und materialreich von Neumann in den ersten Macy-Konferenzen von 1946 die Beteiligten mehrfach schwindelig geredet hatte. Von Neumann hatte sich in der theoretischen Mathematik mit international gerühmten Standardwerken zur ökonomischen Spieltheorie und Quantenmathematik[27] längst einen Namen gemacht. Der Emigrant aus Europa war seit 1933 — freiwillig und entschlossen[28] — in so vielen Projekten der wissenschaftlich-militärischen Forschung involviert wie kein zweiter. Er hatte exzellente Verbindungen bis in die Spitze der politischen und militärischen Machtapparate hinein. Über ihn kam das Dispositiv des elektronisches Rechnens nach Los Alamos und auf dem Rückweg die Logik der Computerarchitektur in die Elektronik und Mathematik.[29]

Dazu sein Humor in jeder Lage. Spaßeshalber hatte von Neumann im Frühjahr 1944 seine Rechenbrigaden überredet, mit Tischrechnern, mechanischen Multiplikatoren und Lochkartensortierern bewaffnet, ein >Rennen< zu machen gegen einen der schnellsten elektromechanischen Rechner der Zeit. »The Los Alamos Problem« versus »Mark I«, den Howard Aiken an der Harvard University gerade fertig gestellt hatte. Die Alamosianer brauchten drei Wochen, währenddessen die Harvard-Maschine noch nicht einmal bei der Hälfte angelangt war.[30] — Gegen den damals immer noch schnellsten existierenden Rechner, den 1930 gebauten »Differential Analyzer«, von Vannevar

25 Ulam, *Devices*, a.a.O., S. 595.

26 Bernice Brode, *Tales of Los Alamos: Life on the Mesa 1943-1945*, Los Alamos 1982 [1954], S. 63.

27 John von Neumann/Oskar Morgenstern, *Theory of Games and Economic Behavior*, Princeton 1944; John von Neumann, *Mathematische Grundlagen der Quantenmechanik*, Berlin ²1996 [Nachdr. der Ausg. 1932].

28 Vgl. Tamas Legendy/Tibor Szentivanyi (Hg.), *Leben und Werk von John von Neumann. Ein zusammenfassender Überblick*, Mannheim 1983.

29 Früchte der Los-Alamos-Arbeit von Neumanns in Sachen Analysis u. a. John von Neumann, »Numerical inverting of matrices of high order«, in: *Bulletin of the American Mathematical Society*, November 1947; John von Neumann, *Functional Operators: Measures and Integrals*, Princeton 1950.

30 Metropolis, *Early Computing*, a.a.O., S. 351.

Bush auf Differentialrechnung »getrimmt«, hätte John von Neumann seinWettrechnen vermutlich verloren. Aber alle drei in den USA existierenden »differential analyzer« waren seit Kriegsausbruch militärisch requiriert und standen für Spielchen nicht zur Verfügung.

II.»One thing at a time, down to the last bit!«

Pearl Harbor, Dezember 1941, war ein Angriff aus der Luft auf im Hafen liegende Großschiffe. Der folgende Rüstungsfeldzug veränderte die amerikanische Industrie von Grund auf. Flaschenhals der Entwicklung blieben jedoch auf Jahre hinaus die aberhundert schnell gebauten Geschütztypen, genauer gesagt: ihre Zieltabellen, ihre »firing tables«. Sie zu berechnen, darauf war Vannevar Bushs »Differential Analyzer« gemünzt. Einer stand in der Moore School der University of Pennsylvania.

Zufall oder nicht, im Sommer 1944 wurde John von Neumann mit Hermann Goldstine bekannt, der im Auftrag des Ballistic Research Laboratory (BLR) in der Moore-School den »differential analyzer« betreute. Ein Nachfolger war in Planung, ein hundertmal schnellerer Rechner, genannt »Electronic Numerical Integrator and Computer« (ENIAC). Der »Differential Analyzer« war zwar schnell, aber fehleranfällig und wartungsintensiv wie ein altes Auto. In dieser Bedrängnis offerierten John Mauchly, Moore-Professor, 34, und John Presper Eckert, frisch graduiert, 23, den Befreiungsschlag. Sie schlugen vor, einen neuen »Differential Analyzer« zu bauen, aber nur aus Röhren und ohne mechanische Verschleißteile (deren Reparaturen die Rechenrückstände verursachten hatten). Das war der ganze Anfang der Revolution, an deren Ende wir unsere heutigen Computer finden.

Mauchlys Memorandum »The Use of High SpeedVacuum Tube Devices for Calculations«[31] vom August 1942 listete ebenso nüchtern wie detailliert die allererstaunlichsten Parameter desVorhabens auf. Der Röhrenrechner solle mit 100 tausend Pulsen getaktet werden und dadurch einen >speed< von sagenhaften 1000 Multiplikationen pro Sekunde erreichen. 100 tausend Multiplikationen für eine Geschoßbahnberechnung unterstellt, hieß pro Geschoßbahn eine Rechenzeit von 100 Sekunden anstelle der 15 oder 30 Minuten, die der mechanische »analyzer« benötigte (oder der drei bis fünfTage eines Menschen). Als der ENIAC offiziell vorgestellt wurde, 1946 für alle »firing tables« zu spät, waren es nur 20 Sekunden. Weder Physiker wie John V. Atanasoff, der seit den 30er Jahren mit Röhrenschaltungen für Berechnungen experimentiert hatte[32], noch die elektronischen Zähler für kosmische Strahlungen der »Bartol Research Foundation«; weder Larry Hafstadt noch Merle Trive in Washington, die elektronisch nukleare Messungen vorbereiteten,[33] auch nicht die röhrengestützten mobilen »antiaircraft fire control«-Apparaturen, die bei RCA in Planung waren,[34] operierten mit diesen Pulsgeschwindigkeiten. Daß 1942 zwei unbekannte junge Ingenieure elektronische Verhundertfachungen analog-parallelen Rechnens in den Ausmaßen des »Differential Analyzers« für realisierbar erklärten, stand der wissenschaftlichen Verwegenheit des Atombomben-Proposals der Oppenheimer-»luminaries« in nichts nach, im gleichen August 1942.

31 Nach Arthur W. Burks/Alice R. Burks, »The ENIAC: First general-purpose electronic computer«, in: *Annals of the History of Computing*, 34(1981), S. 311-399, hier S. 332.

32 Ebd.330f.

33 John Mauchly, »The ENIAC«, in: N. Metropolis/J. Howlett/Gian-Carlo Rota *(Hg.),A History of Computing in theTwentieth Century*, New York 1980, S. 541-549, hier S. 544.

34 Jan Rajchman, »Early research on computers at RCA«, in: Metropolis, *History of Computing*, a.a.O., S. 465-469, hier S. 467.

Dazu mußten die beiden Ingenieure allerdings auf die sichere Seite gehen. Mauchly und Eckert setzten auf den einfachsten Baustein, eine Allerwelts-Ein-Gitter-Radio-Triode, wie sie billig und verläßlich in jedem Radio-Shop an der Ecke zu haben war. Nur mit diesen Allerweltsbausteinen, röhrentechnisch längst überholt, konnte ihr ENIAC zum Computer werden. Bedingung der Möglichkeit für eine Computerarchitektur neuen Typs, schrieb John von Neumann später, sei, »that no tubes of unusual complexity or with fundamentally new functions are to be used« und »the type of tubes used are the conventional and commercially available ones«.[35]

Auf der Flip/Flop-Schaltung mittels normaler Radiotrioden (entwickelt von Eccles und Jordan 1919) waren alle Komplexitäten des ENIAC aufgebaut. Eckert griff dezidiert auf diese erste und einfachste Flip/Flop-Schaltung zurück, weil sie mit mittelguten Widerständen fehlerfrei operiert.[36] Den Preis, nämlich immerhin zwanzig Trioden zu schalten, um eine einzige Dezimalzahl (in einem Flip/Flop-Ring-Zähler/Speicher) zu repräsentieren, nahm der junge Ingenieur lässig in Kauf. Er hatte bereits als Zehnjähriger unter Anleitung seines Vaters sein eigenes Röhren-Radio zusammengelötet und tat also in der heißesten Kriegsphase in gewisser Weise nichts anderes.[37] Alle Computer der Welt enthalten seither diesen elektronischen Grundbaustein, als Verschaltung der elementarsten Röhreneigenschaft, nämlich den Flip/Flop-Trigger, heute im Chip-Format.

Nur war der ENIAC, wie Mauchly und Eckert ihn bauten, alles andere als ein Computer im heutigen Sinn. Er war nichts anders als das Abbild eines analog und parallel rechnenden »differential analyzers« in Röhrenform. Und füllte, wie dieser, einen Saal: Ein U-förmig aufgestellter Gigant von 24m Länge, 8m Breite und 1m Tiefe, angefüllt mit 18 000 komplex verschalteter Röhren (Trioden und Doppeltrioden), 70 000 Widerständen, 10 000 Kondensatoren, 1500 Relays, 6000 Schaltern, auf 78 verschiedenen Gleichstromlevels operierend, bei einem Stromverbrauch von 140 Kilowatt/Stunde. Dieser Gigant — zwischen Mai 1943 und September 1945 fertiggestellt — konnte in seinen fast zwei Dutzend arithmetischen Einheiten, Akkumulatoren, »Multipliern« und »divide square-rootern« gerade mal zwanzig Zahlen (zehnstellige) speichern, bearbeiten oder verändern. 1995 haben Studenten der Moore School of Electrical Engineering den ENIAC in allen Funktionen auf einem $7{,}5 \times 5{,}3\,\mathrm{mm}^2$ — Chip nachbauen können.

Für die Ingenieure und Mathematiker seiner Zeit war das Revolutionäre am ENIAC nicht sein logisches Design, sondern seine technischen Dimensionen. In 70 m^2 Schaltkästen abertausende, 100kHz getaktete 90V-Röhren zusammenzubringen, ohne daß die ganze Elektrik ein chaotisches »Eigenleben« an Seiteneffekten produzierte, — das war die Probe aufs Exempel, deren Ergebnis kein Physiker, Mathematiker oder Ingenieur hätte vorhersagen können. Zwar hatte das Team einige andere militärische Elektronenrechner-Projekte bei RCA oder am MIT konsultiert; auch war in England bereits mit dem Bau des »Colossus« begonnen worden, ein 1500-Röhren-Rechner, speziell dafür gebaut, die Codes der deutschen, mit der Enigma verschlüsselten U-Boot-Befehle erfolgreich zu knacken.[38] Aber vom Colossus wußten die Ingenieure der Moore-School nichts; und die Konsultationen zu anderen Militärprojekten waren eingeschränkt, denn sie unterlagen, wie der ENIAC, höchster Geheimhaltung.[39] Daraus

35 John von Neumann, »First draft of a report on the EDVAC« (ed. by Michael D. Godfres), in: *Annals of the History of Computing*, 15/4(1993), S. 27-75, hier S. 37.

36 Vgl. John Presper Eckert, »A survey of digital computer memory systems«, in: *Proceedings of the IRE*, October 1953.

37 Vgl. Peter Eckstein, »J. Presper Eckert«, in: *IEEE Annals of the History of Computing*, 18/1(1996), S. 25-44.

38 Vgl. B. Randell, »The Colossus«, in: Metropolis, *History of Computing*, a.a.O., S. 47-92.

39 Vgl. Mauchly, »The ENIAC«, a.a.O., S. 543.

folgte aber nur noch einmal, daß die Bauweise des Elektronenrechners auf den einfachsten und konservativsten Prinzipien der Röhrentechnik basieren mußte. Daß er zunächst im prinzipiellen Aufbau dem »Differential Analyzer« gleichkam, war dem einzig vorhandenen Wissen geschuldet.

Hardware aber zersprengt, wie gesagt, oft genug die zugrunde liegende Epistemologie. Mauchly und Eckert stellten nach einem halben Jahr Bauzeit fest, daß ihre beiden Prinzipien, Implementierung boolscher Algebra in Flip/Flops und Nachbildung des »Differential Analyzer«, im Widerspruch zueinander lagen. Jedenfalls stiegen die Verschaltungsaufwände ins Unermeßliche; die Truppe rettete sich mit der Entwicklung eines zehnfach gestaffelten »Puls-Codes«, der für die Additions-, Multiplikations- und Divisions-Gruppen jeweils komplizierteste Sub-Pulse auf die Daten- und Programmleitungen des ENIAC schickte, was die funktionelle Unüberschaubarkeit des Giganten noch potenzierte. Kurz, — bereits im Frühling 1944 war klar, daß, lange vor Fertigstellung des ENIAC, ein Nachfolgemodell aufgelegt werden müsse, wollte man tatsächlich Fortschritte erzielen. Burks: »We [...] planned to built a stored-program computer, the EDVAC (for Electronic Discrete Variable Arithmetic Computer). It would have a large mercury delay line memory, at least 1024 words of 32 bits. In comparison, ENIAC hat 20 words of variable storage, about 400 words of read-only store, and the equivalent of perhaps 200 instructions, mechanically set.«[40]

Die eniac-Erbauer waren also von ihrem eigenen Grundbaustein, nämlich dem prinzipiell nur durch Elektronen-Geschwindigkeit limitierten ›flip/flop-circuit‹ ihres Rechners eingeholt worden. Im Widerspruch ihrer beiden Zielstellungen verfangen, zogen sie konsequent die Schlüsse aus der medialen Supplementarität der mit Elektronengeschwindigkeit verschalteten flips/flops des ENIAC. Nachdem der Taktgeber des ENIAC, »cycling-unit« genannt, funktionsfertig war (Ende '43), gab es keinen offensichtlichen Grund mehr für das parallele Prozessieren arithmetischer Einheiten, wie es der »Analyzer« vorgab. Einen 100K-Takt zu prozessieren erwies sich als völlig problemlos, ja der eniac-Trigger mußte sogar stark >gebremst< werden. Mauchly und Eckert hatten de facto einen Megahertz-Taktgeber in der Hand, der indessen für den ENIAC schon nutzlos war. Implementiert, hätte ein Megahertz-Takt binäre, aber eben serielle Additionen in 32 μsec (hunderttausendstel) Sekunde möglich und Multiplikationen um ein Vielfaches schneller gemacht. Professionelle Ingenieure wie Mauchly und Eckert drehen aber auf halbem Wege nicht in ganz neue Richtungen, sondern legen ein paralleles Konzept neben das anhängige. Die Devise des neuen Konzeptes EDVAC hieß: »One thing at a time, down to the last bit!«[41]

Jetzt, im August 1944, stieß John von Neumann dazu und begleitete das Team als ranghöchster »military consultant« sechs Monate lang. Der Chefrechner aus Los Alamos kam, weil er eine hochgeheime Aufgabenstellung hatte. Keine »firing table« (wofür ENIAC gedacht und gemacht war), sondern das »Super Problem«. Eine zweidimensional vereinfachte Fusionsbomben-Kalkulation war die erste abgeschlossene Rechnung, die auf dem ENIAC implementiert wurde. Unterstützt von Mauchly und Eckert gingen dazu die Alamosianer Nicholas Metropolis und Stanley Frankel monatelang ans Werk, — die Einzelheiten unterliegen bis heute der Geheimhaltung.[42] Das eniac/Alamos-Team schob eine zweite, »declassified«-Berechnung aus dem Bereich der Spaltungsbombe nach, deren Einzelheiten zugänglich sind.[43] Diese, um die Jahres-

40 Burks, »The ENIAC«, a.a.O., S. 338.

41 Ebd.

42 N. Metropolis, »The Los Alamos experience, 1943-1954«, in: Stephen G. Nash *(Hg.),A History of Scientific Computing,* Boston 1990, S. 237-50, hier S. 241.

43 S. Frankel/N. Metropolis, »Calculations in the liquid-drop model of fission«, in: *The Physical Review,* 72/10(1947),S. 914-25.

wende 1944 nun gut begründete Hoffnung, daß bald tausendfach schnellere Allround-Rechner zur Verfügung stehen würden, machte Furore bis in die höchste Spitze von Los Alamos hinein.[44] eniac-Ingenieur Burks erinnert sich, daß John von Neumann im März 1945 noch einmal zwei ganze Tage in der Moore-School war, um vom Team alle Details des neuen Rechnertyps EDVAC ZU erfahren. »EDVAC was to have«, erklärte man ihm »a memory unit of mercury tanks, arithmetic equipment, magnetic tapes for input and output, and control equipment. There were to be one or two switches to transfer instructions and numbers from memory tanks to the computing equipment. There were to be serial adding, multipyling, and dividing circuits, fed by short delay lines.«[45]

Kurz darauf hat sich John von Neumann daran gemacht, die Konzeption des EDVAC, die keineswegs die seine war, in einem »draft« (Konzept-Entwurf) niederzuschreiben, das unter seinem Namen Ende Juni von der »Moore School of Electrical Engineering« der »University of Pennsylvania« veröffentlicht wurde. Selten ist ein handschriftlicher Konzept-Entwurf, unvollendet, fehlerhaft abgeschrieben und schlecht hektografiert, so berühmt und einflußreich geworden wie dieser. Denn von Neumanns »First draft of a Report on the EDVAC« ist nichts anderes als der Architekturgrundriß unserer heutigen Computer. Ein Computer des von-Neumann-Typs unterscheidet sich von jedem anderen Rechnertyp durch seine strikte Sequentialität, er operiert ausschließlich mit binären Zahlen und realisiert das Konzept der >gespeicherten Programmierung<.

III.»First Draft of a Report on the EDVAC«

Von Neumann war der Mathematiker der Nagasaki-Bombe. »It was von Neumann who had calculated the complex shape of the high-explosive lenses in the Fat Man bomb«[46], wohl ohne computerisierte Rechnerunterstützung. Was das »Super Problem« der Fusionsbombe betraf, ist John von Neumanns Rolle eine andere, aber nicht weniger bedeutend. Daß er im August 1944 zum eniac-Team stieß, folgte dem Wissen, daß mit keiner gängigen Rechenmaschine der Welt die komplexen Zündungsvorgänge der Super-Bombe sich würden errechnen lassen. Nur ein neuer Typ, eben das, was ein dreiviertel Jahr später »the Neumann-device« hieß, würde diese Arbeit leisten können. In Princeton, an von Neumanns »Institute for Advanced Studies«, wurde der IAS gebaut, in Los Alamos ein »von-Neumann-Rechner« mit dem bezeichnenden Namen MANIAC. Aber schon hier war die Entwicklung unterbrochen, denn der Krieg war zu Ende, das Manhattan Project erledigt, zahllose Institute und Einrichtungen geschlossen. Tausende Wissenschaftler mußten sich nach neuen Jobs und neuen Aufgaben umsehen.

An eine koordinierte militärische Entwicklung der »Super-Bombe« war nicht mehr zu denken. Schon gar nicht in dem Sinne, große militärische Millionenbeträge in den Aufbau neuer, leistungsfähiger Rechner zu stecken.Vier Jahre nach dem Krieg — die Fusions-Rechnungen waren immer noch keinen Schritt weiter gekommen — entwikkelt Stanislaw Ulam, der Mathematiker der Fusionsbombe, für den MANIAC und den IAS-Rechner ein Rechenprogramm.Aber die Implementierung sowohl in Los Alamos als auch in Princeton scheiterte. Ende 1949 entschloß sich Ulam, mit seinem Freund Cornelius Everett, den Progress der Fusion tatsächlich per Hand auszurechnen. »We started work each day for four to six hours with slide rule, pencil and paper .. «[47] Das Ergebnis monatelanger Rechnung lag im März 1950 in einem fünfzigseitigen Bericht

44 Vgl. William Aspray, *John von Neumann and the Origins of Modern Computing*, Cambridge/Mass. 1990, S. 47; Richard Rhodes, *Dark Sun. The Making of the Hydrogen Bomb*, New York 1995, S. 250f.

45 Burks, »The ENIAC«, a.a.O., S. 339.

46 Rhodes, *Dark Sun*, a.a.O., S. 250.

47 Stanislaw Ulam: *Adventures of a Mathematician*, Berkeley 1991, S. 214f.

vor und war niederschmetternd. Die Menge an Tritium, die Teller, Ulam und andere als ausreichend angesehen hatte, war um den Faktor 100 zu gering.

Um nun wiederum Ulams >erschüttemde< Ergebnisse zu überprüfen, mußte so oder so eine computerisierte Gegenrechnung her. Im Mai 1950(!) hatte es von Neumann endlich geschafft. Auf dem nach dem »stored Program«-Prinzip umgebauten ENIAC(!) lief nun die bis dahin umfänglichste Fusions-Reaktions-Rechnung der Ex-Alamosianer. Auch sie ist heute immer noch »classified«. Die Ergebnisse bestätigten Ulams negatives Resultat. So hat die erste Rechnung auf einem Computer neuenTyps, dessen logisches Design sich der Wasserstoff-Bombe verdankt, die ironische Pointe, daß sie deren Nicht-Funktionieren zeigt. Ulam ersann daraufhin ein völlig neues Zündungsprinzip — eine ganze Kaskade von A-Bomben als Zünder. Mittels dieser Technik versenkte die USA am 1. November 1952, 07:14:59:04 Uhr, das halbe Eniwetok-Atoll für immer ins Meer.[48]

Im Rückblick ergibt sich: Während die Einzelheiten seines Computer-Designs ausnahmslos der gemeinsamen Arbeit im Mauchly-Team entstammen, erweitert von Neumann in seinem handschriftlichen Grundriß das Ganze um ein, allerdings wesentliches Element, um vom Allerwesentlichsten, nämlich dem Zweck des Unterfangens, abzulenken. In seiner Darstellung verwandelt sich der Computer, der der Bombenberechung dienen soll, in ein Gebilde aus harmlosen Körper- und Organfunktionen. Oder anders gesagt, wenn es den Begriff schon gegeben hätte, in eine kybernetische Maschine. Oder nein, indem er sie so bezeichnete, brachte er die Camouflage des Computers als kybernetische Maschine überhaupt erst in Gang. Das »central control« [49]-Organ (Neumann »CC«/heute: »Central Processor Unit« — CPU) erhält seine »orders« (Maschineninstruktionen) über ein »input«-Organ (I/Bus) aus dem »memory«-Organ (M/Arbeitsspeicher). In Abhängigkeit von den »orders« erhält das »central control« auch »data« aus dem »memory«-Organ, die es ggf. zur numerischen Verarbeitung an ein »central arithmetic«-Organ (CA/Koprozessor) weiterleitet, um nach verschiedenen Operationen dieses Typ das Ergebnis an das »memory«-Organ weiterzuleiten, von wo aus über ein »output«-Organ an das »outside recording medium of the device« (R/Festplatte) geleitet wird. Genau dieses Konzept wird seither unter dem Terminus »stored programming« zusammengefaßt. Dieser Begriff fehlt freilich bei von Neumann, wie auch jeder Hinweis auf die Programmierbarkeit seines »devices«. Das »draft« enthält diesbezüglich mehrfach leereVerweise auf ungeschriebene Paragraphen.

Abgesehen von seiner neuen Tarnungsmetaphorik gibt es im Computer-Architekt John von Neumanns kein Detail, das nicht von anderen entwickelt worden wäre. Das hat nach dem Krieg zu bitterstem Blut und in der Folge auch zu einem Patent-Prozeß geführt, der bis in Mitte der siebziger Jahre andauerte. John von Neumann gibt in seinem Papier den Koautoren seines Konzepts keinen Kredit. Auch Alan Turing nicht, dessen grundlegende Arbeit »On Computable Numbers«[50] von 1937 offenbar bei den Arbeiten im eniac-Team keine Rolle spielte. Turing war vielmehr ironisch genug, einer ersten Leser und Befürworter des von Neumannschen »Drafts«. In Turings Konzept für den ersten »echten« englischen Computer, den »Automatic Computing Engine« (ACE)[51] nimmt er das »Draft« ausdrücklich zum Vorbild. Es ist nicht einmal gesichert, daß von Neumann schon 1945 Turings Arbeit von 1937 kannte.[52] Erst im Kontext seiner späteren Automatentheorien bezieht er sie ein, aber

48 Rhodes, *Dark Sun*, a.a.O., S. 503ff.

49 Neumann, *First Draft*, a.a.O., S. 34.

50 Alan Turing, *On Computable Numbers With an Application to the Entscheidungsproblem*, London 1937.

51 Alan Turing, *Proposals for Development in the Mathematics Division of an Automatic Computing Engine (ACE)*, presented to the National Physical Library, 1945. Repr. ComSci 57, National Physical Laboratory, Teddington, UK, 1972.

die Epistemologie des Goedelschen Unentscheidbarkeits-Kalküls — der Kontext der Turing Arbeit von 1937 — hat ihn offenbar wenig interessiert. Ein wahrhaft überraschender Befund, der aus meiner Sicht zwei Gründe hat. Ganz offensichtlich wollte von Neumann erstens mit der organologischen Metaphorik seines Computergrundrisses Anschluß finden an eine neue, aber vielversprechend wachsende wissenschaftliche *community*, die er selbst, zusammen mit seinem Freund Norbert Wiener, zu bilden im Begriffe war. Wenn diese *community*, unter welchem epistemologischen Segel auch immer, Computer bauen würde, konnte es von Neumann nur Recht sein. Und zweitens: Die »all-purpose-machine«, die ihm das eniac-Team in den Schoß gelegt hatte, aktualisierte bei von Neumann eine ganz andere, alte, aber sehr tiefliegende, bereits in seiner Mathematik der Quantenmechanik angelegte epistemologische Spur: nämlich die einer automatischen, selbstgenerischen Maschine vom Typ eines quasi-»bewußten«, alle Entropien der Unentscheidbarkeit hinter sich lassenden, selbst-korrigierenden Automaten.

IV.»Neuron functions can be imitated …«

»Neuron functions can be imitated [...] by vacuum tubes«. Für diese Analogie propagiert von Neumann einen der wichtigsten Grundlagentexte der späteren Kybernetik als Quelle, nämlich McCulloch/Pitts »Logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity«.[53] Wiener und die Macy-Kybernetiker haben immer wieder diese Analogie der neuronaler Schalteigenschaften zu Computerfunktionen beschworen. Nicht zuletzt deshalb hießen Computer bis in die 60erJahre hinein »Elektronengehirne«. Die organologische, neurophysiologische Analogie, die das Nervensystem des Menschen, also die Psychologie des Willkürlichen und Unwillkürlichen, als eine zur Selbstregulation fähigen Maschine identifiziert, zieht sich fortan wie ein roter Faden vom 1945er »Draft« durch alle zehn Macy-Konferenzen, zu deren Chairman Wiener und von Neumann wohl nicht zufällig McCulloch erkoren.

Indem von Neumann den logischen Schaltungskalkül des Computers in McCullochs Metaphorik artikuliert, tut er zweierlei. Vordergründig tarnt er den militärischen Zusammenhang des Projekts. DieTatsache, daß von Neumann die nach seinem »Draft« umgebauten Rechenkapazitäten de facto einzig und allein dafür nutzte, Gleichungssysteme im Kontext der H-Bombe zu berechnen, zeigt das wahre Ziel der Tarnung. Der Falke von Neumann will die Wasserstoff-Bombe im Rüstungsinventar der USA realisiert sehen, aber dafür müssen, so gilt es jedenfalls bis 1949/50, Rechenkapazitäten nie gekannten Ausmaßes her. Mit seinem Verweis auf McCullochs und Pitts Neuro-Kalkül legt von Neumann eine Spur der epistemologischen Verbreiterung des Computer-Plots an, die eine vielversprechend wachsende Interdisziplinarität verspricht. Um die Rieseninvestitionen für den Hardwarebau von Computern zu initiieren — und nur darum ging es von Neumann —, hätte der hochrangige *consultant* in Kriegszeiten möglicherweise die entsprechendenVerbindungen gehabt. Jetzt, zu Friedenszeiten, mußten neue, ganz andere Wissenschaften, Wissenschaftler, Institute und Universitäten gefunden werden, um die entsprechenden Ressourcen zu gewinnen.

Schon im Mai 1942 waren Wiener, Julian Bigelow, Arturo Rosenblueth, McCulloch, Pitts und Frank Fremont-Smith in New York zu einer kleinen »Conference on Cerebral Inhibition« zusammengekommen, noch ohne von Neumann.[54] Thema war,

52 Zit. in: Andrew Hodges, *Alan Turing: The Enigma*, New York 1983, S. 170.

53 Neumann, *First Draft*, a.a.O., Abschn. 4.2.

54 Steve J. Heims, *John von Neumann and Norbert Wiener: From Mathematics to the Technologies of Life and Death.* Cambridge/Mass. 1980, S. 185.

was nach den kriegstechnisch unbrauchbaren und systematisch gescheiterten Bemühungen Norbert Wieners von seinen Forschungen eines »AA-Predictors« zum verbesserten Abschuß feindlicher Flugzeuge übrig geblieben war. Nämlich der Versuch, durch eine Art teleologisch-philosophische Überhöhung das Wiener/Bigelow'sche Autokorrelations-Kalkül zur Flaksteuerung auf die Ebene menschlichen »Verhaltens« und cerebraler Funktionsweisen zu verallgemeinern. Wiener, Bigelow und Rosenblueth ziehen aus dieser '42er Konferenz mit einer kleinen wissenschaftlichen Veröffentlichung Resümee:

> Absichtliches aktives Verhalten läßt sich in zwei Unterklassen aufteilen, in >riickgekoppeltes< (oder >teleologisches<) und >nicht riickgekoppeltes< (oder >nicht teleologisches<) Verhalten. [...] In einem allgemeineren Sinn bedeutet Rückkoppelung, daß ein Teil der Ausgangsenergie eines Apparates oder einer Maschine wieder eingespeist wird. [...] Allerdings kann eine kontinuierlich rückgekoppelte Steuerung zu einem sehr holprigen Verhalten führen, wenn die Rückkoppelung unzureichend gedämpft ist und deshalb bei gewissen Schwingungsfrequenzen positiv statt negativ wird. [...]
>
> Dieses Bild von den Folgen einer ungedämpften Rückkoppelung hat eine auffallende Ähnlichkeit mit den Beobachtungen, die man bei einem Patienten mit einer Schädigung des Kleinhirns machen kann, wenn dieser eine Willenshandlung durchführt.[55]

Co-Autor Rosenblueth, ein mexikanischer Arzt und Physiologe, war über Jahre hin Schüler und Mitarbeiter Walter B. Cannons, des Doyens der amerikanischen Psycho-Physiologie. Diesen »Proto-Kybernetiker« Walter B. Cannon und seine experimentalphysiologischen »Homöostase«-Theorien in die Tradition Vladimir Bechterevs und dessen Lehrers Paul Flechsig zu stellen, ist nach den diesbezüglichen Forschungen Ute Holls keine verwegene Genealogie. Flechsig war bekanntlich derVater der im mechanistischen Weltbild und der Kontinuitätsphysik des 19ten Jahrhunderts verwurzelten Gehirnphysiologie. »Seitdem es Methoden der Gehirnanatomie gab, >das Organ mit seinen Milliarden von Ganglienzellen und Nervenleitungen auseinanderzulegen<, wie Flechsig und Bechterev dies unter anderem gemeinsam an den zentralen Bahnen der Gehörsnerven von Foeten durchgeführt hatten, waren >mechanische Betrachtungen der Seelenerscheinungen< wissenschaftlich verbindlich.«[56] Dieser Betrachtungsweise ist auch Walter B. Cannon verpflichtet gewesen, wie er Bechterev 1928 noch in personam mitzuteilen wußte.

Über Rosenblueth und Cannon aktualisieren Wiener und von Neumann einen epistemologischen Kontext, der die lange Tradition der physiologisch und experimentell orientierte Psychologie einbezog und damit Teile der empirischen Soziologie und Anthropologie anschloß. Um diese Erweiterung des Zusammenhangs von »the computer and the brain« zu befördern, hatte John von Neumann gemeinsam mit Howard Aiken und Norbert Wiener bereits im Januar 1945 einen Kongreß in Princeton organisiert. Anwesend u.a. die Physiologen McCulloch und Lorente de Nó, Wiener, Bigelow, sowie Hermann Goldstine aus dem Moore-Team. Es war die erste vor-kybernetische Konferenz, die für die ein Jahr später von der Macy-Foundation geförderte Konferenz-Reihe das Vorbild gab.[57] Mit den Macy-Konferenzen kamen dann, neben Rosenblueth, Margaret Mead und Gregory Bateson ebenso ins Spiel wie Paul Lazarsfeld, der berühmte Doyen der empirischen Sozialforschung. Der selbstreferentielle

55 Norbert Wiener, »Verhalten,Absicht und Teleologie«, in: ders., *Futurum Exactum. Ausgewählte Schriften zur Kybernetik und Kommunikationstheorie,Wien* 2002, S. 59-70, hier S. 63f. [in diesem Band, S. 327-332].

56 Ute Holl, *Kino, Trance und Kybernetik*, Berlin 2002, S. 250.

57 Von Neumanns Autorität brachte es mit sich, daß in diesem Frühjahr 1945 freilich noch ganz andere, sehr viel potentere Geldgeber für das Unterfangen auf den Plan traten, nämlich die Rockefeller Foundation und Guggenheim. Sie zogen sich aber offenbar später zurück.Vgl. Heims, *Neumann and Wiener*, a.a.O., S. 185f.

logische Kalkül der Nervenfunktionen gab all diesen Treffen das Leitmotiv, dessen technische Hardware-Extension im Computer von Neumann nicht müde wird, in den ersten Macy-Konferenzen immer wieder seinen erstaunten Mitstreitern zu erläutern. Die Wirkung, den Computer als das zentrale Projekt der amerikanischen Forschungsentwicklung implementiert zu haben, hat von Neumann damit gut vorangebracht. Die von Wiener aber inzwischen propagierte Generallinie der »Kybernetik« teilte er wissenschaftlich keineswegs. In seiner Rezension zu Wieners Kybernetik-Buch in *Physics Today* heißt es 1949:

> The author is one of the protagonists of the proposition that science as well as technology, will in the near and in the farther future increasingly turn from problems of intensity, substance, and energy, to problems of structure, organization, information, and control. Any statement of this kind and generality is risky, inviting — and not quite innocently inviting — misinterpretation, and of dubious value outside of its technical context. It may, nevertheless, be important and valuable, if its true context exists and if it has a background of fruitful ideas.[58]

Von Neumanns Kritik an Wieners Kybernetik mündet in dem Vorhalt der falschen Generalisierung eines für begrenzte Bereiche der Wissenschaft adäquaten Konzepts. Dahinter steckt nicht nur von Neumanns notorische Abneigung gegen Kontinuitätsphysik und metaphysische Naturdeutungen aller Art. Hinzu kamen ja noch von Neumanns tiefe mathematische Differenzen mit Wiener in Bezug auf die Quantenmechanik, die Ergodentheorie und die Theorie der Automaten,[59] sowie in Bezug auf die Verklammerung der Begriffe Entropie und Information, die nicht Wiener, sondern von Neumann bereits Ende der zwanziger Jahre entwickelt hatte. Aber von Neumann bleibt freundlich, lobt die »Brillanz« des Wienerschen Buches und seinen »zutiefst originellen Charakter«.

V. »It may alter the way in which we look on mathematics«

Ein Kybernetiker war John von Neumann nicht. Die Kybernetik im Wienerschen Sinne propagiert die These, daß »in einem ganz konkreten Sinn alles, was Rückkoppelung organisiert, als Medium begriffen werden«[60] kann. Kybernetik ist die erste Wissenschaft, die programmatisch darauf zählt, daß alles, was berechenbar ist, wie komplex es auch sei, in eine dem individuellen Menschen letztlich überlegene Hardware rückkoppelnder Maschinen gegossen werden könne.[61] Diese Hypostasierung der Kybernetik als hybride Wissenschaft einer verallgemeinerten konstruktivistischen Automation lehnte von Neumann dezidiert ab. Um weitere Mißverständnisse zu vermeiden, bittet er im September 1949 seinen Freund Norbert Wiener, in öffentlichen Interviews (Wiener liebte das Spiel mit den Massenmedien), alle Hinweise auf »reproductive potentialities of the machines of the future« zu unterlassen. »I have been quite virtuous and had no journalistic contacts whatever.«[62] Aus guten Gründen hat von Neumann im kybernetischen Diskurs nun selbst etwas zu camouflieren, zu verbergen und zu tarnen, nämlich seinen Einspruch gegen die Kybernetik.

58 *Physics Today*, 1949, S. 33f.

59 Vgl. Heims, *Neumann and Wiener*, a.a.O., 208.

60 Claus Pias in: ders. (Hg.), *Kursbuch Medienkultur: Die maßgeblichen Theorien von Brecht bis Baudrillard*, Stuttgart 1999, S. 427.

61 Fremont-Smith: »Professor Wiener in his Introduction in »Cybernetics« (1948) points out [...], that the complexity of the computing machine type of mechanism is so great and can be pushed so far now that it potentially threatens individual decision. Is that a fair statement?/ Wiener: Brings it at low levels.« [in dieser Ausgabe Bd. I, S. 29]

62 Heims, *Neumann and Wiener*, a.a.O., S. 212f.

Von Neumann hat die Kritik an den kybernetischen Verkürzungen und Verallgemeinerungen der autoreferentiellen Automation, die er aus taktischen Gründen nicht öffentlich machen will, mit seinen nachfolgenden Studien über selbstkorrigierende[63] und selbst-reproduzierende[64] (zellulare) Automaten gleichsam überlagert. Diese Studien wurden ganz sicher durch seinen Fund im eniac-Team, und zum Teil auch durch den »kybernetischen« Plot Wiener/McCullochs angestoßen. Zugleich aber gehen sie auf sehr viel frühere Ideen zurück, die von Neumann, zusammen mit Szilard, im Kontext der Entwicklung der Mathematik der Quantenmechanik schon in den späten 20er Jahren entwickelt hatte. Aus dieser frühen Wurzel nährt sich auch seine Kritik an der Kybernetik. Der Übergang vom neuronalen Paradigma zur Theorie der Automaten, den von Neumann vollzog, basiert auf einem Einspruch gegen genau die Quelle, die er für sein Computer-»Draft« noch leitend herangezogen hatte.

In einem privaten Brief an Wiener teilt von Neumann diese Zweifel mit. Er habe erhebliche Bedenken, was die empirische Basis des McCulloch/Pitts-Kalküls betreffe. Zur Entwicklung solcher Logiken nämlich seien aus Sicht von Neumanns die entsprechenden Meßsysteme, d.h. die mikroskopisch-zytologischen Techniken der Hirnforschung viel zu wenig ausgebildet. Sie seien so >genau<, wie wenn man, um Computer-Schaltkreise zu erforschen, Pflastersteine würfe oder einen Feuerwehrschlauch auf sie richten würde. Aus der Sicht der Quantenmechanik — und das war und blieb von Neumanns Maßstab für wissenschaftliche Mathematik — hieß diese Kritik: Meßsysteme der Neurologie sind von unbrauchbarer Entropie geprägt. Damit sind sie, aus der Sicht der Epistemologie der Quantenmechanik, schlicht unbrauchbar. Die Schwierigkeiten »reside in the exceptional complexity of the human nervous system, and indeed of any nervous system.«

Von Neumanns meßtheoretische Bedenken gegen die Grundlagen der Kybernetik greifen direkt auf die Anfänge seiner eigenen mathematischen Forschungen zurück. Ihn interessiert: Wie mißt die empirische Physiologie ihren Gegenstand — die Neuronen im Gehirn? Tut sie das mit einer der Komplexität dieses Systems angemessenen Begrifflichkeit? Was heißt Messen in Bezug auf die Logik der Mathematik, wenn es um die Konstruktion kybernetischer Automaten geht? So zu fragen, zeigt von Neumanns anhaltend hohe epistemologische Sensibilität für die alten >hilbertschen< Fragen der Axiomatisierung, d.h. der Selbstbegründung der Mathematik, von denen der junge von Neumann schon in den zwanziger Jahren geprägt war. Eine im hilbertschen Sinn zureichende Axiomatisierung der Mathematik der Quantenmechanik war sein erster weitreichender Beitrag zur Entwicklung der Mathematik des 20sten Jahrhunderts. Diesen Kontext ins Gedächtnis zu rufen hilft die Tiefe des Einwandes zu verstehen, den von Neumann gegen die Kybernetik erhebt.

Schon im anschließenden Teil der *Mathematischen Grundlagen der Quantenmechanik* von 1932 steht — wie später in Batesons und von Foersters »second order cybernetics« — die Frage des »Beobachters« gegenüber einem »beobachteten System« im Mittelpunkt. Wie verhält sich ein System gegenüber seiner Messung, und was ist die Rolle des Beobachters in diesem Verhältnis? Auch damals schon spielten am Rande neurophysiologische Aspekte eine gewisse Rolle:

> Und wären unsere physiologischen Kenntnisse genauer als sie es heute sind, so könnten wir noch weiter gehen, diese chemischen Reaktionen [bei der Beobachtung der Meßgeräte mit den Augen, W. H.] verfolgend, [...] und erst am Ende sagen: diese chemischen Veränderungen apperzipiert der Beobachter. [.] D.h. wir müssen die Welt immer in zweiTeile teilen,

63 John von Neumann, »Probabilistic logic and the synthesis of reliable organisms from unreliable components«, in: Claude E. Shannon/John McCarthy, *Automata Studies*, Princeton 1956, S. 43-98.

64 John von Neumann/Arthur W. Burks, *Theory of Self-Reproducing Automata*, edited and completed by Arthur W. Burks, Urbana 1966.

> der eine ist das beobachtete System, der andere der Beobachter. [.] Die Grenze zwischen beiden ist weitgehend willkürlich [...], insbesondere braucht der Beobachter in diesem Sinne keineswegs mit dem Körper des wirklichen Beobachters identifiziert zu werden [...]. Daß diese Grenze beliebig tief ins Innere des Körpers des wirklichen Beobachters verschoben werden kann, ist der Inhalt des Prinzips vom psychophysikalischen Parallelismus.[65]

Auch die Kybernetik Wieners ist von diesem »psychophysikalischen Parallelismus« geprägt. Wiener hatte diesen »Parallelismus« (von dem die aktuellen Paradigmen der »Bewußtseinsphysik« und des »anthropischen Prinzips« ihren Ausgang nehmen) schon in seinen frühen Arbeiten zur »Rolle des Beobachters« mit Rekurs auf von Neumann aktualisiert. In seinen automatentheoretischen Arbeiten, die auch als eine Kritik der neuronalen Logik-Kalküle der Kybernetik zu lesen sind, wird von Neumann bei diesem alten, kritischen Ausgangspunkt der Quantenmechanik bleiben. Um den quantenmechanischen Meßprozeß in seinen axiomatischen Ansatz zu integrieren, teilt er 1932 die »Welt in dreiTeile I, II, III ein, I sei das eigentlich beobachtete System, II das Meßinstrument, III der eigentliche Beobachter.« Das Neue, das von Neumann in die Welt des Messens auf quantenmechanischer Basis einführt, ist die mathematisch konsistente Variabilität derVerschiebung der Grenzen dieses triadischen Systems von Beobachtung, Messung und gemessenem System.

> Es ist zu zeigen, daß die Grenze sowohl zwischen I und II + III als auch zwischen I + II und III gezogen werden kann. [...] Der Nachweis dessen, daß beideVerfahren dieselben Aussagen für I ergeben (dieses, und nur dieses, gehört beide Mal zum beobachteten Teile der Welt), ist unsere eigentlich Aufgabe.[66]

Quantenmathematisch das gemessene System (I) in das Meßsystem (II) überführt zu haben (und vice versa) gehört bekanntlich zu den eigentlichen (und bis heute in ihrer letzten mathematischen Konsistenz nicht restlos geklärten[67]) Leistungen der »Mathematischen Grundlagen« des jungen von Neumann. Diese mathematische Rekursion ist der >Kernel< der Quantenmechanik. In vereinfachter Form kann man seinen Beweisgang so umschreiben: >Normalerweise< erzeugt der Eingriff eines Meßsystems in das Gemessene einen gewissen Betrag an Entropie, der im speziellen Fall der Teilchenphysik dazu führt, zumindest eine lokale Eigenschaft des Gemessenen zu verlieren, — entweder Geschwindigkeit oder den Ort des Teilchens. Beschreibt man aber das gemessene System strikt und vollständig in probabilistischen Termen und führt zudem ein Meßsystem heran, das seinerseits in probabilistischen Termen definiert ist, so gelingt ein »Messen« nach dem Muster I + II (beobachtet von III), das keine Entropie im gemessenen System erzeugt. Es handelt sich allerdings, im quantenphysikalisch Kleinen, um spezielle statistische Verfahren, die nur dann entropiefrei und systemadäquat laufen, wenn im konkreten Experimentalsystem Beobachtungs-Serien statt einer einzelnen angesetzt werden. Deshalb läßt von Neumanns Quantenmechanik die Messung (und die Rede) von einem »einzelnen« Elektron, Schrödingers Katze usw. nicht zu.

Um nicht länger ›Pflastersteine auf Elektronenröhren zu werfen<, sprich: der Inkonsistenz der zytologischen Experimentation der Hirnforschung zu entgehen, eröffnet von Neumann eine Serie von theoretischen Arbeiten zu einer quantenmechanisch begründeten Theorie der Automaten, die, was die Systeme und das »Re-Entry« ihrer Meßsysteme (nicht des Beobachters!) betrifft, auf dem Stand der Dinge, d.h. auf dem der von Neumannschen »Grundlagen« operieren. Hierbei zeigt von Neumann, daß schon mit den Mitteln jener Probabilistik, die für die Quantenmathematik galt, sowohl selbstkorrigierende als auch zellular-generische Automaten konstruierbar sind, wenn

65 Neumann, *Grundlagen der Quantenmechanik*, a.a.O., S. 223f.

66 Ebd.

67 Peter Mittelstaedt, »Universell und inkonsistent? Quantenmechanik am Ende des 20. Jahrhunderts«, in: *Physikalische Blätter*, 56/12(2000), S. 65-68.

man nur konsequent unterstellt, daß Zellen oder Automatenteile jeweils wieder Turing-Maschinen, sprich programmiert rechnende Computer enthalten oder simulieren. Damit arbeitet er im übrigen eine Ideenskizze aus (und beweist sie), die bereits in einer entlegenen Anmerkung des »Grundlagen«-Buches von 1932 angesprochen wird.[68]

Am Ende seines Lebens, als ihn völlig überraschend die Knochenkrebs-Diagnose trifft, resümiert er diesen letzten Teil seiner theoretischen Lebensarbeit, die Theorie der Automaten, noch einmal vor dem Horizont des Ausgangspunktes, den die von ihm und Wiener initiierte kybernetische Bewegung genommen hatte. Was dabei herauskommt, könnte man die >von Neumannsche Vermutung< nennen: »I suspect that a deeper mathematical study of the nervous system [..] will affect our understanding of the aspects of mathematics itself that are involved. In fact, it may alter the way in which we look on mathematics and logics proper.«[69] Mit einem Wort, ein Verständnis der Mathematik der Gehirnvorgänge bedarf — einer neuen Mathematik.

Welcher neuen Mathematik? — In seinen eigenen Automatentheorien appliziert von Neumann, wie gesagt, die statistische Mathematik der Quantenmechanik. Für deren mathematische Konsistenz und Axiomatik hatte von Neumann selbst den Beweis geführt. Dabei ging es, auf der Ebene der Quantenmechanik, um ein auto-referentielles »Re-Entry« des Meßsystems in das gemessene System. Diese rekursive Integration des Messens ins Gemessene hat die Kybernetik später vorbehaltlos als auto-referentielle Rückeinführung des Beobachters in das beobachtete System verallgemeinert. Alle Systemversuche des Konstruktivismus von Glasersfeld, Bateson über Luhmann bis S. J. Schmidt, die in der Tradition der Kybernetik entstanden, beruhen auf diesem probabilistischen Rücksprung des Beobachters in die Beachtung. Dabei übersehen sie völlig, daß die Ergodik ihrer Wahrscheinlichkeitspostulate durch nichts zu beweisen ist. Ergodische Funktionen, also z. B. die numerischen Durchläufe von statistischen Prozessen, unterstellen stillschweigend einen hohen Grad an arithmetischer Präzision. Ihre Gültigkeit konnte von Neumann sowohl in der Quantenmechanik wie in seinen Automatentheorien (die kein Re-Entry des Beobachters in den Automaten behaupten), schlüssig beweisen. Ob allerdings ein Nervensystem, das immer noch Voraussetzung für jede Art von Beobachtung bleibt, der Quantenmechanik oder einem Automaten äquivalent sei, genau daran hat von Neumann profunde Zweifel.

> All experience with computing machines shows that if a computing machine has to handle as complicated tasks as the nervous system obviously must, facilities for rather high levels of precision must be provided. [.] In the course of long calculations not only do errors add up but also those committed early in the calculation are amplified by the latter parts of it.[70]

Kurz, — die quantenmechanische Probabilistik (und auch die Kybernetik kennt keine andere) setzt einen funktionierenden Körper reeller (und komplexer) Zahlen voraus; mathematisch gesprochen: Sie genügt der Ergoden-Hypothese. Nach aller Kenntnis die von Neumann hat, kann genau dieser Typ von Wahrscheinlichkeit in der Physiologie der »Gehirnmathematik« funktional nie und nimmer gegeben sein. Andererseits muß von Neumann festhalten, »that the message-system used in the nervous system ... is of an essentially *statistical* character.«[71] Also muß die Logik der Statistik, die die Informationsverarbeitung im Gehirn regelt, eine von jeder bekannten Logik grundverschiedene sein. »Whatever the system is, it cannot fail to differ considerably from what we consciously and explicitly consider as mathematics.«[72]

68 Neumann, *Grundlagen der Quantenmechanik*, a.a.O., S. 261.
69 John von Neumann, *The Computer and the Brain* [1958], New Haven 2000, S. 2.
70 Ebd., S. 76.
71 Ebd., S. 79.

Dies sind, nach den Worten seiner Frau Klara, die buchstäblich letzten Worte, die der Mathematiker John von Neumann noch auf seinem Krankenbett geschrieben hat. Sie legt die Camouflage der Kybernetik, an deren Konstruktion von Neumann aus rüstungsstrategischen Gründen beteiligt war, radikal bloß. Denn sie enthält das schlichte Eingeständnis, daß die Kybernetik, deren Epistemologie auf nichts anderem als der der Quantenmechanik basiert, zwar selbstproduzierende Systeme konstruieren kann. Sie kann beliebig Turing-Maschinen konstruieren, die Turing-Maschinen enthalten und wechselseitig ineinander überführen. Aber genau deren logische und epistemologische Grundlage, als Meßsystem angewandt auf die Gehirn-Physiologie, scheitert grundlegend. Von Neumann zeigt, daß die Kybernetik an der Konstruktion des Systems scheitern muß, das alle ihre Konstruktionen beobachtet. Es sei denn, man würde Beobachtung, also das menschengemäße Betätigen von Gehirnfunktionen, unsinnigerweise auf ein schlichtes Meßmodell reduzieren. Anders als es die Kybernetiken zweiter Ordnung nach wie vor behaupten, scheitert jedes Re-Entry des Beobachters in das System der Beobachtung, weil wir über die Ergodik der statistischen Gehirnfunktionen nichts wissen.

Als selbständiger Kalkül funktioniert diese Wiedereinkehr der Logik in sich selbst dann eben bestenfalls nur im Kontext einer universellen Spiritualität. George Spencer-Brown, auf den sich alle »second-order«-Kybernetiker und Konstruktivisten so gerne beziehen, hat die Nähe seines Logik-Kalküls zum Spiritualismus der Universalität nicht nur nie verschwiegen, sondern propagiert sie unermüdlich.[73] Alle konstruktivistischen Theorien, von Bateson bis Luhmann, haben diese Spiritualität ihres epistemologischen Kerns bislang verborgen. So setzt sich die Camouflage der Kybernetik bis heute fort.

72 Ebd., S. 82.

73 »Das Thema des Buches ist, daß ein Universum zum Dasein gelangt, wenn ein Raum getrennt oder geteilt wird« (George Spencer-Brown, *Laws of Form = Gesetze der Form*, Lübeck 1997, S. xxxv).