

musste im historischen Kontext der geneigten Leserschaft noch erklärt werden, was überhaupt der Vorteil dieser ‚digitalen Computer‘ und mithin der Vorteil etwaiger Impulscodierungen sei: „These computers permit extreme flexibility and rapidity in the mathematical solution of complex problems, and a pulse representation of mathematical quantities is of great use in these projects, as are the methods of storing and counting information.“²¹²

Radar- als Computergeschichte

Nach dem Zweiten Weltkrieg waren Millionen Radarröhren vorhanden, die neue Verwendung jenseits von Radar finden konnten – daran erinnert Peter Berz in seiner historischen Rekonstruktion elektrostatischer (Bild-)Speicher.²¹³ Ebenso waren es Radar-Ingenieure, die ein Radardenken auf nunmehr andere Technologien applizierten. Oder wie es Frederic Calland Williams, der am Rad Lab Mitherausgeber der Bände *Electronic Time Measurements* und *Waveforms* war, formulierte: Das Kriegsende „converted a mass of radar experts with endless problems for which they were seeking solutions, into a mass of experts with endless solutions and no problems“.²¹⁴

In welchem neuen Anwendungsbereich der von Williams verkündete radar-epistemische ‚new approach‘ (vgl. das vorige Unterkapitel) zur Problemlösung genutzt werden konnte, lässt sich an eben jenem Williams exemplarisch und programmatisch für andere Radaringenieure nachzeichnen. Mit dem Radarexperten Tom Kilburn wurde er nach Weltkriegsende an die University of Manchester berufen, um in einem Team unter Maxwell H.A. Newman an der Konstruktion eines Computers zu arbeiten: dem späteren „Manchester Baby“, einem ersten ‚general purpose‘, speicherprogrammierbaren Computer.²¹⁵ Nachdem im September 1948 Alan Turing²¹⁶ dem Team beitrug, erinnerte Williams später in einer Retrospektive an die produktive Kollaboration von Radartechnikern und Computertheoretikern, die für die Computergeschichte technologisch nachhaltig werden sollte:

212 Chance (1949): „Uses of Waveforms“, 8.

213 Berz, Peter (2009): „Bitmapped Graphics“, in: Axel Volmar (Hrsg.), *Zeitkritische Medien*, Berlin, 127-154.

214 Williams, Frederic C. (1975): „Early Computers at Manchester University“, in: *The Radio and Electronic Engineer* 45(7), 327-331, 327.

215 Vgl. Croaken, Mary (1993): „The Beginnings of the Manchester Computer Phenomenon: People and Influences“, in: *IEEE Annals of the History of Computing* 15(3), 9-16.

216 Ich danke an dieser Stelle Thomas Nyckel, dessen Turing-Expertise maßgeblich für dieses Kapitel war.

„Tom Kilburn and I knew nothing about computers, but a lot about [radar] circuits. Professor Newman and Mr. A. M. Turing in the Mathematics Department knew a lot about computers and substantially nothing about electronics. They took us by the hand and explained how numbers could live in houses with addresses and how if they did they could be kept track during a calculation.“²¹⁷

Es war die durch Turing personalisierte Theorie des Berechenbaren, die nach geeignetem elektronischen Equipment verlangte, wie es Radaringenieuren bestens vertraut war, damit Logik apparativ den Digitalcomputer begründen konnte. Konkret war es das vom Radar vertraute Denken in diskontinuierlichen Mikrotemporalitäten, Impulsen und Rechteckwellen, das in der Digitalcomputertechnik produktiv werden sollte. Bereits 1947 – d.h. vor seiner Zusammenarbeit mit Radartechnikern – erläuterte Turing der *Mathematical Society of London* das binäre Operieren von Digitalcomputern anhand seiner Arbeit an der „Automatic Computing Engine“ (ACE). Dabei fußte seine Einführung diskreter Zustände auf der Diskretisierung zeitkontinuierlicher Wellen durch etwas, dessen diskrete Zustände potenziell seit Einführung von Zahlzeigern bekannt war – Uhren:

„We might say that the clock enables us to introduce a discreteness into time, so that time for some purposes can be regarded as a succession of instants instead of a continuous flow. A digital machine must essentially deal with discrete objects, and in the case of the ACE this is made possible by the use of a clock. All other digital computing machines except for human and other brains that I know of do the same.“²¹⁸

Turing stellte die Episteme des Diskontinuierlichen in den operativen Fokus digitaler Rechenmaschinen. Digitale Computer stünden in einem „sharp contrast with analogue machines“, denn bei diesen würden Zahlen „represented by sequences of digits“.²¹⁹ Diese ‚digits‘ wiederum, wie er kurz darauf erklärte, zeichneten sich bereits bei den Digitalcomputern seinerzeit durch ein binäres Prinzip aus. Entscheidend ist nun, wie Turing die diskreten Digits zu codieren gedachte bzw. ‚digit‘ von ‚nicht-digit‘ technologisch zu unterscheiden suchte und anhand einer Schematisierung verdeutlichte (vgl. Abb. 42).

217 Williams (1975): „Early Computers at Manchester University“, 328.

218 Turing, Alan M. (2004 [1947]): „Lecture on the Automatic Computing Engine“, in: B. Jack Copeland (Hrsg.), *The Essential Turing: Seminal Writings in Computing, Logic, Philosophy, Artificial Intelligence, and Artificial Life plus the Secrets of Enigma*, Oxford, 362-394, 382.

219 Ebd., 378.

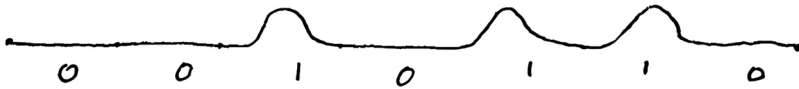


Abbildung 42: Hinreichende Unterscheidbarkeit von Spannungsunterschieden ‚in the scale of two‘ (Turing). Eine Computer Clock diktiert Zeitpunkte, zu welchen geprüft wird, ob eine höhere oder niedrigere Spannung vorliegt – basierend auf einer kontinuierlichen Schwingung.

Turings Denken war hier, 1947, durch kontinuierliche Schwingungsverläufe charakterisiert. Diese suchte er durch die Einführung der erwähnten ‚Computer Clock‘ in zwei hinreichend voneinander unterscheidbare Zustände zu klassifizieren, wie es die Abbildung emblematisch zeigt. D.h. die Digits ergaben sich durch eine elektrotechnische Operation auf einer kontinuierlichen Welle: Zu vorgegebenen Zeitpunkten wurde gemäß des Clock-Signals geprüft, ob eine höhere oder niedrigere Spannung vorlag. Explizit basierten die Digits digitalen Rechnens nicht auf Rechteckimpulsen.

Turing konzeptualisierte in seiner „Lecture on the Automatic Computing Engine“ ein Prinzip des ACE-Digitalcomputers, das sich durch zwei hinreichend voneinander unterscheidbare Zustände auszeichnete. Ein Jahr später, durch seine Bekanntschaft mit Radaringenieuren im Kontext der Arbeit am Manchester Baby, sollte diese Unterscheidbarkeit binär werden. Galt es bereits beim Radar, flache Flanken zwischen Impuls und Nicht-Impuls tunlichst zu vermeiden, war es dieses Denken in steilen Impulsflanken, das sich als überaus kompatibel mit den bereits früher bei Turing anzutreffenden Techniken der Signaldiskretisierung erwies. Das produktive Konvergieren bzw. die Kooperation von digitaler Logik (*binary computing machines*) und digitaler Technik (*radar pulse generators*) stellt sich in dieser medienhistorischen Retrospektive als wesentliches Moment von Digitalcomputern in ihrer frühen Formatierung dar. Waren beim Radar bereits die technischen Module zur Erzeugung millionenfacher ultrakurzer Impulse pro Sekunde vorhanden, stellten diese ein paradigmatisches zeitökonomisches Beispiel für die in Digitalcomputern zu implementierenden Impulstechniken zur Codierung von Daten bereit. Mit den Worten Turings arbeiten Digitalcomputer „in the scale of two“, wobei es die Konvention sei, „that an electrical pulse shall represent the digit 1 and that absence of a pulse shall represent a digit 0.“²²⁰ Die Kooperation mit Ra-

220 Ebd., 385. Dass Impulse neben ihrer diskreten Erscheinung auf logischer Ebene ebenso binär agieren, wird in Quellen explizit. So heißt es in einem Aufsatz zur mathematischen Bedeutung von Impulsen in digitalen Maschinen: „Zur Darstellung der Ziffern dienen Impulse. Im Interesse bester Betriebssicherheit wird weder Amplitude noch Breite eines Impulses als wesentliche Eigenschaft verwendet, sondern nur das Merkmal der Anwesenheit oder Abwesenheit.“ Speiser, A. P. (1956): „Impulsprobleme der

dartechnikern im Jahr 1948 machte ihn nunmehr vertraut mit dem Arsenal an Impulstechniken, von denen er 1947 bereits sprach.

Elektronische Computer sind mitnichten eine Konsequenz von Radartechnik. Vielmehr stehen Radar- und Computertechnologie in historischer Ko-Emergenz. Allerdings kann festgehalten werden, dass die Entwicklung von Digitalcomputern epistemisch vom Rechteckimpuls des Radars wie auch technisch von den Modulen zu seiner Herstellung nachhaltig profitierte. Dass Digitalcomputer grundsätzlich Impulstechniken zur Codierung, Prozessierung und Speicherung von Daten verwenden, zeigt sich auch daran, dass sie im historischen Kontext „pulse-operated computers“²²¹ genannt wurden. Dies intensiviert ihre Nähe zum Radar als originärer Impulstechnik begrifflich. Interessant ist, dass der epistemische Technologietransfer – vom Radar zum *pulse code*- respektive Digital-Computer – bspw. von Seiten des Rad Lab expliziert wurde. Dort attestierte man zukunftssträchtig, „[t]he precision and rapidity of [radar] pulse methods have led to the use of these methods in computation, and all indications are that this use will greatly increase.“²²² Ebenso wurde auf deutscher Seite der Impulstechnik 1956 bescheinigt, „man kann fast sagen, daß die Entwicklung auf diesem Sondergebiet der Modulation nur durch die Radaraufgaben in den Kriegsjahren so stürmisch verlaufen ist.“²²³ Demgegenüber vernachlässigen noch aktuelle Histories of Computing²²⁴ die Bedeutung der radarspezifischen Impulstechnik, die zum *Trigger*, nämlich buchstäblichen *Impulsgeber* des Digitalen wurde. Damit steht die allenfalls randständige Erwähnung von Radar in der Computergeschichte in massiver Diskrepanz zur historischen Bedeutung von Radar für die Entwicklung von Digitalcomputern. Diese Bedeutung lässt sich an den folgenden drei Fallbeispielen illustrieren.

Doug McCann und Peter Thorne halten in ihrer technikhistorischen Aufarbeitung des ersten australischen Digitalcomputers – dem CSIRAC (*Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation Automatic Computer*) – fest, dass die

elektronischen Rechenmaschinen“, in: F. Winckel (Hrsg.), *Impulstechnik. Vortragsreihe des Außeninstituts der Technischen Universität Berlin-Charlottenburg*, Berlin/Heidelberg, 204-226, 204.

221 Bell, P.R./Forbes, G.D. /MacNichol, E.F. (1949): „Storage Tubes“, in: Chance et al. (Hrsg.), *Waveforms*, 707-729, 708.

222 Chance, Britton (1949): „Introduction“, in: Britton Chance/Robert I. Hulsizer/Edward F. MacNichol/Frederic C. Williams (Hrsg.), *Electronic Time Measurements* (MIT Radiation Laboratory Series 20), New York, 1-3, 3.

223 Kramar, E. (1956): „Die Anwendung der Impulstechnik in der Funknavigation“, in: Winckel (Hrsg.), *Impulstechnik*, 156-175, 156.

224 Vgl. Haigh, Thomas/Ceruzzi, Paul E. (2021): *A New History of Modern Computing*, Cambridge, MA.

australische Isolation während des Zweiten Weltkriegs 1939 zur Gründung der CSIR Division of Radiophysics führte, um ein australisches Radarsystem zu entwickeln. Als Trevor Pearcey, der entscheidende Konstrukteur des CSIRAC, Ende des Jahres 1945 an die Abteilung kam, konnte sich dieser der technischen Ressourcen der Division im Bereich der Radar-Impulstechnik direkt für das „electronic computing“ bedienen. Damit lieferte er wesentliche Grundlagen für den CSIRAC. Zuvor hatte er bezeichnenderweise zwischen 1940 und 1945 in England zu Radarsystemen gearbeitet.²²⁵

Ein zweites Fallbeispiel ist das „Whirlwind“-Projekt des MIT Servomechanisms Laboratory, in dessen Kontext sich ab 1944 der Konstruktion des „airplane stability control analyzer“ (ASCA) – ein Flugsimulator – gewidmet wurde. Zunächst sollte jener Whirlwind als Analogcomputer konzipiert werden. Jay Forrester, der Leiter des Programms, entschied sich jedoch für Digitaltechnik, da diese mehr Flexibilität versprach. Zu dieser Zeit gab es Digitalcomputer u.a. an der University of Pennsylvania, in Princeton, in den Bell Laboratories, in Harvard und bei der IBM – diese waren jedoch für die Lösung mathematischer Probleme konzipiert. Sie realisierten keine echtzeitliche Dateneingabe oder -ausgabe, d.h. sie basierten nicht auf echtzeitlichem Feedback zwischen Mensch und Maschine, wie es für einen Flugsimulator erforderlich war. „Real-time problems required speed and reliability well beyond that which could be expected from the mathematically oriented developments“,²²⁶ hielt John F. Jacobs, ein Mitkonstrukteur des SAGE-Computers,²²⁷ hierzu fest. Mithin entschied sich hier die Frage, was ein Computer überhaupt können und wie seine Funktionalität auf basaler Ebene formatiert sein sollte. Notwendigerweise – weil ein Flugsimulator – wurde der Whirlwind eine digitale Maschine, die möglichst echtzeitlich auf seine Umwelten respektive Dateneingaben zu reagieren imstande war. Diese Konzeption digitaler Rechenmaschinen wiederum brauchte nicht auf Flugsimulatoren beschränkt bleiben, so Jacobs: „What had begun as an airplane stability control analyzer soon became a project to develop a general purpose digital computer to be used for a variety of real-time control problems.“²²⁸ Konsequenterweise gründete das Servomechanisms Laboratory um 1950 das Digital Computer Laboratory (DCL), das sich ausschließlich dem Whirlwind-Projekt widmete. Zentrale Maxime des Whirlwind als „general pur-

225 McCann, Doug/Thorne, Peter (2000): *The Last of the First. CSIRAC: Australia's First Computer*, Melbourne, vii & 1.

226 Jacobs, John F. (1986): *The SAGE Air Defense System. A Personal History*, Bedford, MA, 8.

227 Ausführlicher zum SAGE-Computer vgl. Ulmann, Bernd (2014): *AN/FSQ-7: The computer that shaped the Cold War*, München.

228 Jacobs (1986): *The SAGE Air Defense System*, 8.

pose'-Maschine war dabei, dass dieser möglichst schnell rechnen sollte, um echtzeitliche Interaktion zu gewährleisten. Dadurch wurde die Arbeitsgeschwindigkeit des Computers zum zentralen Kriterium und dementsprechend die zu verwendenden *timing circuitries*. „Fortunately“, so erinnerte sich derselbe Jacobs und damit schließt sich der Kreis zur Radartechnik, „the World War II radar developments provided high-speed pulse circuits“, um jene Echtzeitlichkeit des digitalen Rechnens zu realisieren.²²⁹

Drittens schrieb ein zentraler Konstrukteur des ENIAC im Juli 1963 in der Retrospektive über seine Arbeit an diesem Digitalcomputer und die Problematik, zeitkritische Module zu implementieren. Anders als man zunächst vermuten würde, konnte er, John Presper Eckert, nicht von seiner Expertise mit Analogcomputern profitieren, sondern musste die vom Radar vertrauten Schaltungen adaptieren: „My experience with analog computers was no great help in building the digital ENIAC (...). The influence of the radar switching and timing circuitry was more important and significant than the analog computer.“²³⁰ Eckert beschäftigte sich zuvor an der Moore School of Electrical Engineering an der University of Pennsylvania mit Problemen der präzisen Zeitdifferenzmessung im Kontext von Radar-ortungen.²³¹ Mithin deutete Eckert an, dass eine epistemische Genealogie digitaler Computer, die deren elektronische Materialität ernst nimmt, nicht bei Analogcomputern, sondern beim Radar ansetzen sollte.²³²

Diese drei Fallbeispiele illustrieren die Bedeutung von Radar für die Genese von Digitalcomputern. Es ist „no myth“, schrieb bereits 1962 der US-amerikanische Radarpionier Robert Morris Page, „that the short-pulse techniques originally developed for radar have been applied to world-wide navigation, coded pulse

229 Ebd., 9.

230 Zit. n. Haigh, Thomas/Priestley, Mark/Rope, Crispin (2016): *ENIAC in Action. Making and Remaking the Modern Computer*, Cambridge, MA/London, 19.

231 Vgl. Eckert, Presper (1988): „Transcript of an Interview with J. Presper Eckert, Chief Engineer, ENIAC Computer“, <https://americanhistory.si.edu/comphist/eckert.htm>, 17. 10.2022.

232 Ein weiteres Fallbeispiel zur Illustrierung der Bedeutung von Radartechnik für frühe Digitalcomputer *ex negativo* wäre der „Harvard Mark II“-Computer. Dieser wurde gerade *nicht* digital, sondern als elektromechanischer Relaiscomputer konstruiert. Grund dafür war, dass niemand im Konstruktionsteam mit den Impulstechniken des Radars oder zumindest des Fernsehens vertraut war, wie der Mitkonstrukteur Robert Campbell schrieb: „It may be noted that we had no one on board with experience in technology of television or of radar: these fields were to provide the principal expertise in high-speed pulse circuitry.“ Campbell, Robert (1999): „Mark II, an Improved Mark I“, in: *Makin' Numbers. Howard Aiken and the Computer*, hrsg. v. Bernard Cohen u. Gregory W. Welch in Zusammenarbeit mit Robert V.D. Campbell, Cambridge, MA/London, 111-127, 113.

modulation for communication and telemetry, digital automation and computation, and digital logic and learning machines“²³³ Page folgend sind die elektrotechnischen Ursprünge des Digitalen in den Mikrotemporalitäten und Impulstechniken des Radars zu finden. Ebenso hielt der Mitkonstrukteur des SAGE-Radarsystems John Jacobs in der Retrospektive fest, welche biographischen Hintergründe seine Kolleg:innen am Digital Computer Laboratory, das Teil des Lincoln Laboratory wurde, hatten: „A significant number of the staff of the Digital Computer Laboratory had backgrounds similar to mine: that is, they had learned about radar, communications, and radar direction finders in World War II.“²³⁴

Galt es beim Radar, Impulse und mithin Rechteckwellen zu erzeugen, um die etwaige Präsenz entfernter Objekte zu lokalisieren, d.h. Geodaten zu *generieren*, wurden die Techniken zur Erzeugung eben jener binären Zustände bei der Konstruktion von Digitalcomputern verwendet, Daten binär zu *codieren*. Dabei zählt der Impuls beim Digitalcomputer nur bedingt als tatsächlich physikalisches Signal. Impulse zählten – und zählen noch immer – im Digitalcomputer als minimalistische Information gemäß der Diskretisierung zeitkontinuierlicher Ereignisse auf Basis der *computer clock*, um etwaige Unbestimmtheitsräume zu vermeiden.²³⁵ Elektrische Impulse zählten nunmehr als Symbole, weshalb es sich beim Digitalcomputer um eine grundlegend symbolische Maschine im Sinne Friedrich Kittlers handelt. „Dieser Paradigmenwechsel im Kommunikationsbegriff“, so kommentiert Wolfgang Ernst, „wurde durch die Kombination von Elektrotechnik und Mathematik eingeleitet.“²³⁶ Die mathematische Komponente der binären Codierung war dabei weitaus älter und findet ihre Ursprünge weit vor dem 20. Jahrhundert; die elektrotechnische Komponente der Allianz von nunmehr realisierter elektronischer Binärcodierung findet jedoch eine Bedingung in der im historischen Kontext

233 Page, Robert Morris (1962): *The Origin of Radar: An Epic of Modern Technology*, New York, 14.

234 Jacobs (1986): *The SAGE Air Defense System*, 37.

235 Bernhard Siegert schreibt über die Diskretisierung von Zeitflüssen im Binärdigitalen dementsprechend: „Zwischen 0 und 1 *gibt* es keine Zeit. (...) Es ist der Entzug des Realen, durch das es das Symbolische gibt.“ Siegert, Bernhard (2003): *Passage des Digitalen. Zeichenpraktiken der neuzeitlichen Wissenschaften 1500-1900*, Berlin, 9. Wolfgang Ernst hält diesbezüglich fest, dass jede real gebaute Schaltung „keine reine logische, sondern auch eine Zeitfunktion“ ist, weshalb sich in der Flanke des binärdigitalen Pulses das Analoge im Digitalen artikuliere; Ernst, Wolfgang (2012): *Chronopoetik. Zeitweisen und Zeitgaben technischer Medien*, Berlin, 315. Dementsprechend kommt dem *clock signal* des Digitalcomputers buchstäblich entscheidende Bedeutung zu: „Die Ordnung der Zeit durch den Takt ist ein wichtiges Stabilitätskriterium dafür, daß digitale Datenverarbeitung nicht nur logisch, sondern auch zeitkritisch, d.h. in der wirklichen Welt stattfinden kann.“ Ebd., 316.

236 Ernst (2012): *Chronopoetik*, 317.

jungen Medientechnik Radar. Der sinnfreie Ortungsimpuls des Radars als elektromagnetische Bedingung der Entfernungsmessung auf Delaybasis wurde informativ und zu einem wesentlichen Trigger des Digitalcomputers. „In den letzten 10 Jahren sind nun eine ganze Reihe von Verfahren bekannt geworden, in denen der Impuls selbst Träger einer Information ist“, wurde der Entwicklung von Impulstechniken 1956 bezeichnenderweise bescheinigt und dadurch auf die Codierung von Daten durch vormals sinnfreie (Ortungs-)Impulse verwiesen.²³⁷ Damit mag Friedrich Kittler mit seiner grundsätzlichen Annahme von der Bedeutung von Radar für aktuelle digitale Kulturen Recht behalten:

„Radar, diese Entwicklung des Zweiten Weltkriegs, unterscheidet sich von Analogmedien wie Radio oder Fernsehen dadurch, dass das Signal keine kontinuierliche Welle, sondern tunlichst ein Rechteckimpuls von verschwindender Dauer ist. Eben darum hat erst die Radartechnologie Theorien der Information und speziell der Digitalsignale notwendig gemacht.“²³⁸

Nur nachweisen wollte – oder konnte – Kittler dies nicht. Die in diesem Unterkapitel versammelten Quellen legen aber tatsächlich nahe, dass in den bisherigen Histories of Computing die Bedeutung von Radar für die Genese früher Digitalcomputer und Theorien des Digitalen marginalisiert wurde; falls Radar in diesen überhaupt Erwähnung findet. Die hier ausgewerteten Quellen belegen, dass es die im Radar verwendeten Techniken waren, die zum Trigger – Impulsgeber – des Digitalen werden sollten. Welche konkreten „high-speed pulse circuits“ (Jacobs) des Radars in frühe Digitalcomputer einkehrten, müsste eine mikroanalytische Technikgeschichte oder vertiefende Medienarchäologie dieser frühen Digitalcomputer klären.

PCM: Pulse-Code-Modulation

Impulstechniken wurden im historischen Kontext nicht nur für das Operationsprinzip von Digitalcomputern relevant. Ebenso erfuhren sie Implementierung für medientechnische Verfahren der Übertragung statt Prozessierung: Die s.g. Pulse-Code-Modulation (PCM) stellt noch heute eine technische Grundlage der Telefonie, aber auch der Musikproduktion, -speicherung und -übertragung dar. Als grundlegendes Patent der PCM gilt das „Electric Signaling System“ von Alec Harley Reeves,

237 Fischer, F. A. (1956): „Impulsanalyse. Die mathematisch-physikalischen Grundbegriffe der Impulstechnik“, in: Winckel (Hrsg.), *Impulstechnik*, 1-39, 1.

238 Kittler, Friedrich (1993): „Real Time Analysis, Time Axis Manipulation“, in: ders.: *Drahtculas Vermächtnis. Technische Schriften*, Leipzig, 182-206, 205.