

genheit anzuwenden. Kritisches Moment war die exakte Synchronität von aktuellem und verzögertem Echo: „In order to get good cancellation, the signals in the two channels of the amplifier must match very closely in time.“⁴⁴

Dass die Speicherdauer vergleichsweise kurz war – schließlich handelte es sich um einen flüchtigen Speicher –, reichte nicht nur vollkommen für die Erfordernisse der *moving target identification* aus, sondern war speicherökonomisch: Nachdem die Ergebnisse einer Ortung mit den Echos einer vorausgehenden Ortung verglichen worden waren, wurden die Daten nicht mehr benötigt; die *delay line* löschte die Daten nach ihrem Durchqueren praktischerweise selbst. Dass dies tatsächlich eine Form kurzzeitiger Speicherung realisierte, wurde bei den Akteuren explizit. In den beiden eröffnenden Sätzen des bereits erwähnten Patents von 1945, „Transmission Line“ von Forbes und Shapiro, hieß es:

„The present invention relates to a transmission means, and it relates more particularly to such a means which is adapted to delay signals of electrical energy for a predetermined period of time. A transmission means having such a characteristic is often called a delay line and is adapted to store electrical energy for a predetermined period.“⁴⁵

Damit wurde nicht nur die Verzögerungsleitung als Speichermodul von Signalen für eine exakt bestimmte Dauer explizit, sondern ebenso die Verschränkung der Medienfunktionen ‚Speichern‘ und ‚Übertragen‘.

Computer – *memory*

„The Radiation Laboratory has been concerned with computers because of the important and intimate relationship of computers and military radars“,⁴⁶ hieß es von Seiten des Radiation Laboratory im Jahr 1948. So ist es nicht verwunderlich, dass ein bereits in der Radartechnik vertrautes Artefakt das Speicherproblem für Computer in der zweiten Hälfte der 1940er und Anfang der 1950er Jahre lösen sollte.

Der Aspekt der Datenspeicherung war für frühe Computer, die nicht mehr mechanisch operierten wie bspw. Charles Babbages Difference und Analytical Engine, in den 1940er Jahren zum zentralen Problem avanciert. Waren mit Flipflops elektromechanische Speicher gefunden, die wenig ökonomisch waren, sollten *delay lines* die Lösung des Speicherproblems – zumindest für den Arbeitsspeicher –

44 Ebd., 634.

45 Forbes, Gordon D./Shapiro, Herbert (1945): „Transmission Line“, 1.

46 Greenwood, Ivan A./Holdam, J. Vance/MacRae, Duncan (1948) (Hrsg.), *Electronic Instruments* (MIT Radiation Laboratory Series 21), New York, 3.

darstellen. John Presper Eckert, John Mauchly und Kollegen an der Moore School of Electrical Engineering an der University of Pennsylvania entwickelten 1943 eine derartige *delay line* als flüchtigen Speicher, die originär im Radar Verwendung finden sollte. Als die schematische Konzeption des EDVAC (*Electronic Discrete Variable Automatic Computer*) anstand, schrieb Eckert mit Kollegen einen Designentwurf des Computers, in welchem jene Verzögerungsleitung explizit zum Computerspeicher umgedeutet wurde. Dafür musste jedoch eine Anpassung vorgenommen werden, um die Volatilität der Verzögerungsleitung zu verstetigen, damit Signale nicht nach Millisekunden erloschen, woran Eckert erinnerte: „I had invented a mercury tank device for timing purposes and for some other purposes in radar, an acoustic device in which you can store information for a limited period of time. But it dies out after a millisecond, or whatever the length of the tank determines.“⁴⁷

Um mit der *acoustic delay line* im Computer ein Speichern von Daten über einen längeren Zeitraum hinweg zu realisieren, musste es zu einer Neuevaluation eines bis dato als Störung bekannten Phänomens kommen: Feedback. Thomas K. Sharpless erläuterte in seinem Artikel unter dem programmatischen Titel „Mercury Delay Lines as a Memory Unit“⁴⁸ von 1948 die Arbeitsweise von *delay lines* als Computerspeicher: Wird der Output einer akustischen *delay line* nach entsprechender Verstärkung wieder auf ihren Input geleitet, so realisierte die Verzögerungsleitung Bewahrung – und zwar nicht nur für die kurze Übertragungszeit gemäß ihrer Länge, sondern dauerhaft in einem Refresh-Zyklus. Genügte es im Radar zur Festzielunterdrückung, die Signale einer Ortung so lange zu speichern, bis die Echos einer konsekutiven Ortung eintrafen, konnte durch das fortwährende Feedback des Ausgangs einer *delay line* auf ihren Eingang eine flüchtige Speicherung auf Dauer realisiert werden. Wiederholung dieses Vorgangs realisierte Kontinuität. Mithin konnten „mercury delay lines“ zum „memory system“ avancieren, wie Eckert und Mauchly im entsprechenden Patent schrieben, welches sonst gemeinhin unerwünschte Feedback-Schleifen in einen Speicher umdeutete:

„In accordance with the present system information is stored in a coded sequence of pulses (...), which pulses are caused to circulate through a path being introduced electrically into the input terminal of the path, travelling along the path for a particular delay or transit time and

47 Eckert, Presper (1988): „Presper Eckert Interview“, <https://americanhistory.si.edu/comphist/eckert.htm>, 04.11.2022.

48 Sharpless, Thomas K. (1948): „Mercury Delay Lines as a Memory Unit“, in: *Proceedings of a Symposium on Large-Scale Calculating Machinery*, Cambridge, 103-109.

then being taken from the path electrically and again transmitted to the input, end of the path for repetition of the cycle.”⁴⁹

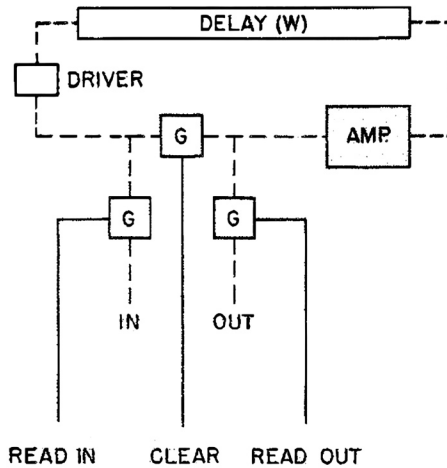


Abbildung 29: Schematisierung des Prinzips einer *delay line* in ihrer Verwendung als *computer memory*. Durch iteratives Wiedereinspeisen des Ausgangs der Verzögerungsleitung auf ihren Eingang (oben im Bild) wird diese, bei Verstärkung der zirkulierenden Signale („AMP.“), vom flüchtigen zum beständigen akustischen Speicher. Durch „read in“, „clear“- und „read out“-Optionen konnte auf den Speicher zugegriffen werden.

Zum Computerspeicher konnte die *mercury delay line* avancieren, wenn sie mit Modulen zum Einlesen („read in“), Auslesen („read out“) und Löschen („clear“) von Signalen verschaltet wurde (vgl. Abb. 29): „As a result information may be stored, taken out for use while still recirculating, taken out and erased, or replaced or modified by other information.“⁵⁰ Mit anderen Worten erfüllten Quecksilber-Verzögerungsleitungen die Funktion „of receiving information, holding it, and transmitting it when and if required“,⁵¹ um logische Operationen auszuführen. Damit realisierte das Zeit-Raum-Regime von Akustik einen Datenspeicher. Dass das Delay akustischer Sendungen zum modularen Computerspeicher figurierte, explizierte auch Alan Turing. In seinem Paper über die Automatic Computing Engine (ACE) nahm er Bezug auf *delay lines* und beschrieb transitorische ‚Impulsreisen‘ als Spei-

49 Eckert, John P./Mauchly, John W. (1947): „Memory System“, United States Patent Office No. 2.629.827, Application filed October 31, 1947, Patented February 24, 1953.

50 Ebd., 2.

51 Ebd., 1.

cherzeiten: „A train of pulses or the information which they represent may be regarded as stored in the mercury whilst it is travelling through it.“⁵²

1948 visionierte Sharpless im bereits erwähnten Paper: „The cost of the storage system will be approximately 10 cents per binary digit“⁵³ und „[i]t is hoped that within the year such a machine may be actuality – a machine which will have a high-speed number storage equivalent to 1000 ten-digit numbers, computer speeds somewhat faster than the ENIAC, and consisting of only three thousand tubes.“⁵⁴ Wenngleich dies aus heutiger Perspektive unökonomisch und monumental erscheinen mag, war es in der Anfangszeit der Digitalcomputer durchaus die fähige Umsetzung eines Arbeitsspeichers auf Basis von Techniken der Übertragung, wie es *delay lines* waren. Die dem im Zitat erwähnten ENIAC historisch nachfolgenden Computer EDVAC (*Electronic Discrete Variable Automatic Computer*) und UNIAC (*UNiversal Automatic Computer*) nutzten Verzögerungsspeicher, ebenso der 1949 am Mathematical Laboratory der britischen University of Cambridge gebaute EDSAC (der das Delay bereits im Namen trug: *Electronic Delay Storage Automatic Calculator*).

Ein thermodynamisches Problem bestand darin, dass in langen *delay lines* das verzögernde Medium zirkulierende Signale stark absorbierte und damit verbrauchte oder gar eliminierte. Kritisch war weiterhin die erforderliche Konstanz der Temperatur und des Drucks, welche Auswirkungen auf die Schallgeschwindigkeit hat. Es war notwendig, dass die flüchtigen Speicher exakt synchron, konstant und gemäß der Taktung des Systems arbeiteten: buchstäblich rhythmisch, um Algorithmen auszuführen, „algorhythmisch“⁵⁵ also. Als kritisch erwiesen sich zudem Luftblasen in den Verzögerungsspeichern,⁵⁶ da deren Phasengrenzen (im historischen Kontext *interfaces* genannt) Reflexionen verursachen konnten. Weiterhin notwendig – so Sharpless – war die dämpfende Wirkung der Innenwände der *delay lines*, damit akustische Impulse in der Röhre nicht reflektiert und hin- und herschwingen konnten. Und letztlich mussten die Röhren kostengünstig konstruierbar und dennoch ausreichend robust sein. Aus diesen Gründen wurde die *mercury delay line* schnell von anderen Computerspeichern ersetzt.

52 Turing (1992 [1947]): „Lecture to the London Mathematical Society“, 109.

53 Sharpless (1948): „Mercury Delay Lines as a Memory Unit“, 103.

54 Ebd., 109.

55 Vgl. Miyazaki, Shintaro (2013): *Algorhythmisiert. Eine Medienarchäologie digitaler Signale und (un)erhörter Zeiteffekte*, Berlin, insb. 65ff.

56 TNA [The National Archives] ADM 220/149: G. Eichholtz: „Mercury Delay Lines“, 10.01. 1946.

Sind Praktiken des Sammelns und Speicherns historisch untrennbar mit architektonischen Wissensordnungen verbunden,⁵⁷ ist die akustische Verzögerungsleitung als Speichermodul innerhalb der medientechnischen Prozessarchitekturen früher elektronischer Computer ebenso ein materieller Ort. Im Unterschied zum klassisch-architektonischen Speicher oder den frühneuzeitlichen Kunst- und Wunderkammern, die der sicheren Aufbewahrung von Dingen statt Signalen dienten, waren in der *delay line* die zu speichernden Daten einem kontinuierlichem Refresh-Zyklus unterworfen. Damit waren Daten in fortwährender Bewegung und zu jedem Zeitpunkt auch an einem anderen Ort, d.h. sie waren in den materiellen Grenzen der Leitung mobil.

In der hier ausgearbeiteten kursorischen Genealogie von Verzögerungsleitungen, die nach der Rundfunkpraxis der 1930er Jahre bei Percivals *delay device* im Kontext des Fernsehens ansetzte und ihren Transfer in die Radar- und Computertechnik schilderte, blieb ein technikhistorisches Detail ausgespart: Die akustische Verzögerungsleitung war weder originär eine Erfindung von Percival noch war das Fernsehen die erste Medientechnik, die akustische Verzögerungsleitungen verwendete. Bevor die *acoustic delay line* fernsehtechnisch relevant wurde, kam sie bereits in einem anderen Bereich zur Anwendung: der Funktelefontechnik.

Funktelefonie – Feedback

Insbesondere während der Entwicklung der Langstreckentelefonie in den 1920er Jahren stellten Kabel materialkritische Störquellen dar: Sie waren schwierig zu warten und zu teuer für den interkontinentalen Gebrauch.⁵⁸ Um sie in der Langstreckentelefonie zu umgehen, wurde auf Funktelefonie (*radio telephony*) ausgewichen. Wichtig wurde diese insbesondere für transatlantische Telefonkommunikation, die in ihren ersten Jahrzehnten ausschließlich über Radiowellen statt Kabel lief.⁵⁹ Gleiches galt für Telefonie zu Schiffen oder in unerschlossenes Gelände, wo keine Kabelverbindungen bestanden.

In solch einer Telekommunikationsanordnung, in welcher *jeweils* ein Empfänger *und* ein Sender beteiligt waren – denn es galt, an zwei Orten zu hören und

57 Vgl. Neubert, Christoph (2015): „Speichern“, in: Heiko Christians/Matthias Bickenbach/Nikolaus Wegmann (Hrsg.), *Historisches Wörterbuch des Mediengebrauchs*, Köln et al., 535-555.

58 Vgl. Heising, Raymond A. (1940): „Radio Extension Links to the Telephone System“, in: *Bell System Technical Journal* 19, 611-646, 614.

59 Für die technischen Hintergründe der transozeanischen Radiotelefonie in den Anfangsjahren vgl. Brown, Ralph (1937): „Transoceanic Radio Telephone Development“, in: *Bell System Technical Journal* 16, 560-567.