

Schallweges und nicht unerwünschte Reflexionen zu empfangen, laut Patentschrift Wolle oder Kork. Als Trägermedium des Schalls empfahl Percival Wasser oder Kerosin, spätere *delay lines* nutzten allerdings hauptsächlich Quecksilber, da dessen akustische Leitfähigkeit weniger temperaturabhängig ist. Die Verzögerung war von der Entfernung zwischen Sender und Empfänger, der Signalgeschwindigkeit im jeweiligen Trägermedium und der Temperatur abhängig. Dadurch ließ sich die Dauer der flüchtigen Speicherung in Raum und Zeit flexibel durch Veränderung der Länge des Kanals bewerkstelligen: „The effective length of the liquid container will, of course, depend upon the amount of delay required“,³⁵ so Percival.

Wenngleich dies außerhalb der historischen Rahmung dieser Arbeit liegt, ist erwähnenswert, dass sich in der analogen Fernsehtechnik, beim Empfang von Farbfernsehen, die Verzögerungsleitung als kurzzeitiges Speicherelement weiter beweisen konnte: wie ursprünglich intendiert zur Vermeidung von Störungen, namentlich zur Korrektur von Farbstörungen. Der deutsche Fernsehpionier Walter Bruch schlug 1962 im Patent „Farbfernsehempfänger für ein farbgetreues NTSC-System“ ihre Verwendung vor, da der Standard NTSC bis dato Probleme mit der farbgetreuen Reproduktion eines Bildes hatte, wofür auch die scherzhafte Umdeutung des Akronyms in *never the same colour* stand.³⁶ Bruchs Lösung des Problems bestand darin, Vergleichbarkeit zwischen auf dem Fernsehbildschirm zeilenweise benachbarten Farbsignalen herzustellen, um auf deren Basis Mittelwertbildungen vorzunehmen, d.h. eventuell entstandene Farbfehler auszugleichen. Jedes Farbsignal einer Stelle einer Bildzeile wurde dafür mit dem ihm vorausgehenden, um eine Zeilendauer verzögerten Farbsignal zur Mittelwertbildung verarbeitet. Das Delay der Verzögerungsleitung im Patent von Bruch wurde dementsprechend durch die technischen Eigenheiten des Fernsehbildes vorgegeben: Es musste exakt der Dauer einer Bildzeile des analogen Fernsehens (rund 64 µs) entsprechen.³⁷

Radar – Bewegungsdetektion

Percivals „time delay path“ sollte auch für eine andere Medientechnik wichtig werden: das Radar. Das Problem an frühen Radargeräten war, dass sie die Positionen fixierter, also unbewegter Objekte auf Radarbildschirmen visualisierten. An-

³⁵ Ebd., 1.

³⁶ Akustische Verzögerungsleitungen wurden später nicht für Fernseher der Norm NTSC eingesetzt, sondern bis Mitte der 1990er Jahre für „PAL“ und „SECAM“.

³⁷ Vgl. Bruch, Walter (1962): „Farbfernsehempfänger für ein farbgetreues NTSC-System“, Deutsches Patent Nr. 1.252.731, eingereicht am 31.12.1962, veröffentlicht am 10.4.1969.

ders als beim Bordradar in Flugzeugen auf dem s.g. „Plan Position Indicator“ (PPI), wo die Anzeige statischer Echos Navigation ermöglicht, ist es unerwünscht, unbewegte Objekte zur Radar-Anzeige zu bringen, wenn es gilt, Flugzeuge oder Schiffe zu orten. „Often a radar system sees too much, rather than too little; the picture is confused by unwanted echoes, or clutter“,³⁸ hieß es von Seiten des Radiation Laboratory am MIT. Daher galt es, geortete Objekte, die für die Bewertung der militärischen Situation nicht von Relevanz waren – unbewegte Objekte, denn diese stellen selten eine Gefahr dar – auf Radarbildschirmen *nicht* zur Anzeige zu bringen.

Laut Radiation Laboratory wurde eine Methode notwendig, die unterschiedlich auf sich bewegende und unbewegte Objekte reagierte und dabei nur die sich bewegenden auf dem Radarbildschirm anzeigte.³⁹ Die Lösung war, die Ergebnisse einer Ortung von denen einer vorausgehenden Ortung zu subtrahieren, sodass statische Echos ausgelöscht wurden. Hierfür wurde ein kurzzeitiger Speicher benötigt, dessen Dauer exakt der Pausenzeit zwischen zwei aufeinanderfolgenden Radarortungen (den „sweeps“) zu entsprechen hatte. Dafür musste die Speicherzeit mit der „pulse repetition frequency“ des Radars korrespondieren, d.h. wiederum: die Speicherzeit musste mit den Radarortungen synchronisiert sein.

Fernseh- und Radarforschung, die sich beide mit bildgebenden Verfahren auf elektronischen Röhren beschäftigten, standen während des Zweiten Weltkriegs teils in Kooperation.⁴⁰ Aufgrund der daraus resultierenden personellen Überschneidung in der Forschungsarbeit fand Percivals *delay line* im Bereich der Radartechnik Anwendung, da sie als analoges Speichermodule für die Erfordernisse der s.g. „Festzielunterdrückung“ (*moving target identification*) bestens geeignet war. Ihre Verzögerungsdauer musste dafür mit den „sweeps“ synchronisiert sein. Wurden sämtliche empfangenen Radarechos dupliziert und durchquerten diese Signaldoubles eine Verzögerungsleitung, wurden redundante Echos ersichtlich, da das aktuelle Echo eines statischen Objekts eintraf, wenn das vorherige Echo desselben Objekts die *delay line* durchquert hatte. „Thus, by comparing successive pulses, in order to determine the amplitude difference between them, and by providing an indicator in such a system which is responsive only to said difference, moving objects only may be indicated“,⁴¹ wie es in einem Patent zur Festzielunterdrückung von 1945 hieß. Wurde in einem Modul, welches das Radiation Labo-

38 Purcell, E.M. (1947): „Limitations of Pulse Radar“, in: Louis N. Ridenour (Hrsg.), *Radar System Engineering* (MIT Radiation Laboratory Series 1), New York, 116-126, 124.

39 Emslie, Alfred G./McConnell, Robert A. (1947): „Moving Target Identification“, in: ebd., 626-679, 626.

40 Fox, Barry (1986): „What Television Did in the War“, in: *New Scientist* 1532, 35-38.

41 Forbes, Gordon D./Shapiro, Herbert (1945): „Transmission Line“, United States Patent Office No. 2.540.720, Application filed August 1, 1945, Patented February 6, 1951, 1.

ratory „subtraction circuit“ nannte (vgl. Abb. 28 links), das verzögerte Signal vom aktuellen Echo subtrahiert, ergab sich eine Nullsumme, d.h. Echos von statischen Objekten kamen zur Auslöschung (vgl. Abb. 28 rechts). In konstantem zeitlichen Abstand und mit gleichbleibender Amplitude eintreffende, also von unbewegten Objekten stammende Radar-Echos hoben sich damit auf, wenn sie miteinander verrechnet wurden, wofür die *delay line* die essenzielle Bedingung darstellte, um eine Vergleichbarkeit zweier zeitversetzter Ortungen überhaupt realisieren zu können. Diese „pulse-to-pulse cancellation“,⁴² wie sie seitens des Radiation Laboratory genannt wurde, bewirkte, dass auf dem PPI nur sich bewegende Objekte dargestellt wurden.

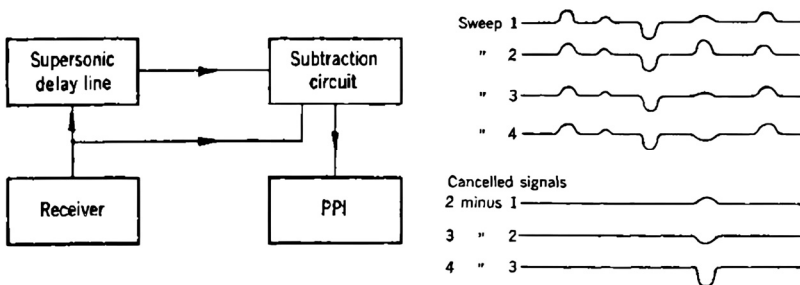


Abbildung 28: Grundlegendes Prinzip der Festzielunterdrückung. Radarechos, die am Empfänger eintreffen, werden im „Subtraction circuit“ von den ihnen vorausgehenden, durch die *delay line* verzögerten Echos subtrahiert und schließlich auf dem „Plan Position Indicator“ (PPI) zur Anzeige gebracht (links). Geortete Objekte, die unbewegt sind, kommen zur Auslöschung, da ihre Echos gleiche Amplitude aufweisen und im gleichen zeitlichen Abstand eintreffen (rechts).

Das Prinzip basierte – wie schon Percivals Patent – darauf, dass dieselben Signale verschiedene Kanäle durchlaufen. Diese unterschieden sich durch die Verschaltung einer Verzögerungsleitung hinsichtlich ihrer Übertragungsdauer. Anschließend liefen die Signale an einer zentralen Stelle wieder zusammen. D.h. Signale nahmen in jener Prozessarchitektur unterschiedliche Wege, um letztlich zum selben Ort bzw. Modul zu gelangen, aber nicht zur selben Zeit an diesem einzutreffen. Oder vereinfacht gesagt, „the signals are split into two channels, one of which contains a super-sonic delay line, and then brought together again.“⁴³ Die Verzögerungsleitung diente damit dazu, eine Rechenoperation auf Signale aus der Vergan-

42 Emslie/McConnell (1947): „Moving Target Identification“, 631.

43 Ebd.

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.