

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.

zu sprechen –, ergaben sich störende Rückkopplungseffekte, wenn der Kommunikationskanal in beide Richtungen freigeschaltet war, die als „echo and singing effects“⁶⁰ bezeichnet wurden. Da der telefonische Output in den Input, dessen Output wiederum in den Input usw. geleitet wurde, wurde ein störendes Feedback erzeugt, das Kommunikation verhinderte. „A circuit so constructed will be entirely useless due to the singing produced“, heißt es hierzu in einer Quelle.⁶¹ Erschwerend kam hinzu, dass für Langstreckentelefonate empfängerseitig Verstärker notwendig wurden, um das teils stark abgeschwächte Sprachsignal authentisch zu reproduzieren, was das Problem des Feedbacks buchstäblich verstärkte. Und auch, wenn Sender und Empfänger auf unterschiedlichen Frequenzen sendeten, ließ sich dieses Problem nur bedingt beheben. Zudem wurden etwaige Reflexionen ausgesendeter Signale störend wiederempfangen, wenn der Kanal in beide Richtungen freigegeben war. Notwendigerweise musste der Funktelefonkanal in entweder die eine oder die andere Richtung freigeschaltet werden – je nachdem, wer gerade sprach. Das hatte zur Folge, dass Funktelefonie mit anderen Problemen konfrontiert war als der Rundfunk und entsprechend nach anderem Equipment verlangte, um das „two-way-problem“⁶² zu lösen, das mit der Erfindung des Telefons zu seinem Ursprungsproblem wurde.

Eine technische Lösung des Problems der Rückkopplung war, das Sprachsignal selbst als Basis dafür zu verwenden, in welche Richtung der Kommunikationskanal freigeschaltet werden sollte. Realisiert wurde dies mit dem s.g. Vodas, dem *voice operated device anti-singing*. Bereits der Name verwies auf seinen doppelten Zweck, durch Feedback entstehende Störungen zu vermeiden („anti-singing“) als auch automatisch, nämlich stimmbasiert zu funktionieren („voice operated“). Das Vodas schaltete den Kanal entweder für den einen oder den anderen Sender frei, sodass entweder ausschließlich empfangen oder ausschließlich gesendet werden konnte. Im Kern war das Vodas also ein „device which connects the telephone line to either the transmitter or the receiver but not to both simultaneously.“⁶³ Gelöst wurde dies durch ein *voice-operated relay*: Bei ausreichend starkem Signal auf einem Kanal, also wenn einer der beiden Teilnehmer sprach, schaltete ein solches Relais den Rückkanal stumm. Aus den Worten eines entsprechenden Patents:

60 Wright, Sumner Bisbee (1937): „The Vodas“, in: *Bell System Technical Journal* 16, 456-474, 456.

61 Heising (1940): „Radio Extension Links to the Telephone System“, 619.

62 Wright (1937): „The Vodas“, 457.

63 Heising (1940): „Radio Extension Links to the Telephone System“, 619.

„In the operation of two-way radio telephone systems it is desirable to provide echo suppressors, which render the circuits operative in only one direction at a time under the control of voice currents, in order to prevent echo currents from being transmitted back over the reverse path during voice transmission in a given direction.“⁶⁴

Allerdings benötigte dieses *voice-operated relay* einen kurzen Moment, um den Kanal tatsächlich freizugeben, wodurch Satzanfänge abgeschnitten wurden, was als „clipping“ bezeichnet wurde. Zudem, „to make things worse“, reichten manche Anfangskonsonanten wie „f“ oder „s“ nicht aus, um das Vodas zu aktivieren.⁶⁵ „The relay will then not operate until the vowel sound following arrives and when the relay does operate the entire preceding consonant is clipped off“,⁶⁶ wie es beim Funktelefonie-Pionier Raymond Heising, der für Western Electric und die Bell Labs tätig war, hieß. Eine weitere Sensibilisierung der Sender hätte dazu geführt, dass auch minimales Rauschen das Relais ausgelöst hätte. Vielmehr wurde die Implementierung einer minimalen Verzögerung zur entscheidenden Lösung. Zentraler Bestandteil des Vodas waren *delay*-Module, die Sprachsignale für den Bruchteil einer Sekunde verzögerten, der ausreichte, bis ein Vokal von genügender Intensität auf einen eventuell schwachen Konsonanten folgte und den Kanal freischaltete. „The utilization of the delay circuit can therefore practically eliminate the clipping and allow of relays being adjusted so as not to be operated by small noises from the telephone line“,⁶⁷ schrieb Heising weiter. 4 Millisekunden reichten dafür als Verzögerungszeit aus und wurden während der Telefonate nicht als störend wahrgenommen.⁶⁸

64 Silent, Harold (1925): „Echo-Suppressor Relay“, United States Patent Office No. 1.619.891, Application filed July 8, 1925, Patented March 8, 1927.

65 Heising (1940): „Radio Extension Links to the Telephone System“, 619.

66 Ebd., 619-620.

67 Ebd., 620-621.

68 Vgl. Wright (1937): „The Vodas“, 460.

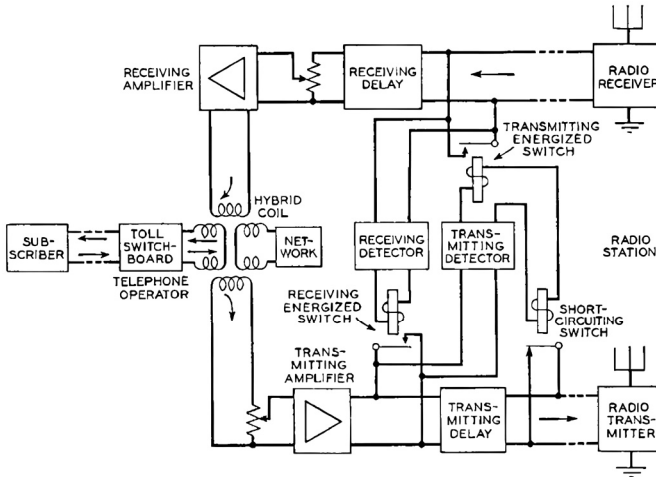


Abbildung 30: Blockschaltbild des „Vodas“ (*voice operated device anti-singing*). Die Verzögerungsleitungen sind oben und unten mittig angeordnet. Dadurch wurde gewährleistet, dass in der Zwei-Wege-Kommunikation der Kanal jeweils nur in eine Richtung und auch rechtzeitig bei schwachen Sprachlauten geöffnet wurde.

Im Patent „Wave Transmission System“ von Robert Mathes, das ein solches Verfahren der Echounterdrückung bei Langstreckentelefonaten beschrieb, wird explizit, wie dieses Verzögerungsmodul realisiert werden konnte:

„[P]referably an acoustical system is employed in an electrical circuit for obtaining a required time delay, the electrical waves being converted into acoustical waves at one end of this system and the acoustical waves being converted into electrical waves at the other.“⁶⁹

Mithin handelte es sich um eine akustische Verzögerungsleitung, die gegenüber elektronischen Verzögerungsleitungen den Vorteil hatte, dass sie kostengünstiger konstruiert werden konnte. Zudem war bei dieser das Zeitintervall, um das ein Signal verzögert werden sollte, flexibel durch Verlängerung oder Verkürzung ihres Soundkanals regulierbar, wie das Patent weiter ausführte.⁷⁰

Mathes brachten diese Kenntnisse über akustische Verzögerungen zur Konstruktion von *delay circuits*, Verzögerungsschaltungen, mit denen Privatsphäre in

69 Mathes, Robert C. (1924): „Wave Transmission System“, United States Patent Office No. 1.696.315, Application filed November 1, 1924, Patented December 25, 1928, 1.

70 Ebd., 2. Dort heißt es: „In the arrangement of Fig. 1 the desired delay is regulated solely by varying the length of the path since the characteristics of the medium are fixed.“

der Telefonie garantiert werden konnte. Die Herstellung von Abhörsicherheit stellte seit jeher ein zentrales Problem in der Telefongeschichte, insbesondere der Funktelefonie dar, da auf entsprechender Frequenz mit entsprechendem Empfänger – erlaubt oder unerlaubt – mitgehört werden konnte. Schließlich unterschied sich eine solche Kommunikationsanordnung nicht vom Rundfunk, wo das ‚Abhören‘ explizit erwünscht ist.⁷¹

In einem späteren Patent von Mathes unter demselben Titel, „Wave Transmission System“, wurde vorgeschlagen, Telefonsignale in zwei Frequenzbänder zu zerlegen: mit einem Hoch- und einem Tiefpassfilter in ein höheres und ein tieferes.⁷² Wird eines dieser beiden Frequenzbänder am Senderort, das andere am Empfängerort, mit einer *delay line* verzögert und besaßen beide exakt dasselbe Delay, so konnte beim Abhören beider Frequenzbänder während der Übertragung ausschließlich Rauschen vernommen werden, „so that an unauthorized person who may intercept the wave being secretly transmitted is unable to restore it to recognizable or understandable form“, wie Mathes an anderer Stelle schrieb.⁷³ Explizit wird an dieser Stelle auch, dass das „time shift“, also die Verzögerung der Frequenzbänder, die durch Mathes’ Verzögerungsmodul realisiert wurde, in dieser Verwendung die Funktion eines „storage device“⁷⁴ erfüllte.

Theorie – Übertragungsspeicher

Dass Verzögerungsleitungen heute keine Verwendung mehr als Speicherinstanzen erfahren, darf nicht darüber hinwegtäuschen, dass sie jahrzehntelang in heterogenen Medienegefügen und Infrastrukturen die adäquate Lösung für eine Vielzahl unterschiedlicher Probleme darstellten. Akustische Verzögerungsleitungen erwiesen sich im Gegensatz zu elektrischen Verzögerungselementen als vergleichsweise leicht zu bauende, preiswerte und nicht zuletzt platzsparende Speicher, deren Dynamik bzw. Flüchtigkeit den Erfordernissen ihres Einsatzes genügte.

71 Die Brisanz der Frage nach Abhörsicherheit in der frühen Telefonie lässt sich auch daran ablesen, dass Claude Shannons maßgebliche „Mathematical Theory of Communication“ in ihrem Kontext entstand, vgl. Shannon, Claude E. (1948): „A Mathematical Theory of Communication“, in: *Bell System Technical Journal* 27, 379-423. Expliziter wird dieser Kontext schon im Titel seines späteren Papers (1949): „Communication Theory of Secrecy Systems“, in: *Bell System Technical Journal* 28, 656-715.

72 Mathes, Robert C. (1929): „Wave Transmission System“, United States Patent Office No. 1.819.649, Application filed March 30, 1929, Patented August 18, 1931.

73 Mathes, Robert C. (1923): „Secret Signaling“, United States Patent Office No. 1.542.566, Application filed June 3, 1923, Patented June 16, 1925, 1.

74 Ebd.