



CHRISTOPH BORBACH

DELAY

MEDIENGESCHICHTEN DER VERZÖGERUNG,

1850-1950

[transcript] Locating Media | Situierete Medien

Christoph Borbach
Delay – Mediengeschichten der Verzögerung, 1850-1950

Editorial

Orts- und situationsbezogene Medienprozesse erfordern von der Gegenwartsforschung eine innovative wissenschaftliche Herangehensweise, die auf medienethnographischen Methoden der teilnehmenden Beobachtung, Interviews und audiovisuellen Korpuserstellungen basiert.

In fortlaufender Auseinandersetzung mit diesem Methodenspektrum perspektiviert die Reihe **Locating Media/Situierte Medien** die Entstehung, Nutzung und Verbreitung aktueller geomedialer und historischer Medienentwicklungen. Im Mittelpunkt steht die Situierung der Medien und durch Medien.

Die Reihe wird herausgegeben von

Sebastian Gießmann, Gabriele Schabacher, Jens Schröter, Erhard Schüttpelz und Tristan Thielmann.

Christoph Borbach (Dr. phil.) forscht, lehrt und publiziert im Bereich Medienwissenschaft mit den Schwerpunkten Medientheorie und -geschichte, Epistemologie und Praxeologie. Er ist wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Universität Siegen.

Christoph Borbach

Delay – Mediengeschichten der Verzögerung, 1850-1950

[transcript]

Bei der vorliegenden Publikation handelt es sich um eine leicht überarbeitete Fassung einer Dissertation an der Philosophischen Fakultät der Universität Siegen. Diese Publikation ist am DFG-Graduiertenkolleg 1769 »Locating Media« an der Universität Siegen entstanden und wurde unter Verwendung der dem Graduiertenkolleg von der Deutschen Forschungsgemeinschaft zur Verfügung gestellten Mittel gedruckt.

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <https://dnb.dnb.de> abrufbar.



Dieses Werk ist lizenziert unter der Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 Lizenz (BY-SA). Diese Lizenz erlaubt unter Voraussetzung der Namensnennung des Urhebers die Bearbeitung, Vervielfältigung und Verbreitung des Materials in jedem Format oder Medium für beliebige Zwecke, auch kommerziell, sofern der neu entstandene Text unter derselben Lizenz wie das Original verbreitet wird.

(Lizenz-Text: <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.de>)

Die Bedingungen der Creative-Commons-Lizenz gelten nur für Originalmaterial. Die Wiederverwendung von Material aus anderen Quellen (gekennzeichnet mit Quellenangabe) wie z.B. Schaubilder, Abbildungen, Fotos und Textauszüge erfordert ggf. weitere Nutzungsgenehmigungen durch den jeweiligen Rechteinhaber.

Erschienen 2024 im transcript Verlag, Bielefeld

© **Christoph Borbach**

Umschlaggestaltung: Maria Arndt, Bielefeld

Umschlagabbildung: © IWM (Imperial War Museum) CH 15332. Eine frühe Form bildschirmbasierter Arbeit auf einem bidirektionalen Screen: »Radar operator« Denise Miley plottet Flugzeuge mit einem Radarbildschirm in der britischen Bawdsey »Chain Home«-Radarstation im Mai 1945.

Druck: Majuskel Medienproduktion GmbH, Wetzlar

Print-ISBN 978-3-8376-5234-5

PDF-ISBN 978-3-8394-5234-9

<https://doi.org/10.14361/9783839452349>

Buchreihen-ISSN: 2703-0210

Buchreihen-eISSN: 2703-0229

Gedruckt auf alterungsbeständigem Papier mit chlorfrei gebleichtem Zellstoff.

Inhalt

((PING))

Medien des Delays | 7

Mediengeschichte des Delays | 22

Zugänge | 26

Struktur | 32

1. Prelude. Ein Akteur betritt die Bühne

Verzögerung – als Störung | 47

Katakustik | 58

Akustemologie des Theaters | 62

2. Chronogrammatologie

Zeitregistratur bei Hermann von Helmholtz um 1850 | 69

Zeit- als Raumdifferenz & zeitmessender Strom | 75

Wissenschaft der Zeit-Schrift | 82

Zeitschriften zweiter Ordnung | 87

3. Echoortung. Der genealogische Ursprung eines medialen Prinzips

Rohrposten & gestörte Kommunikation | 95

Arbeit an der Störung | 101

Orten: Zeit-Räumlichkeit des Schalls | 104

4. Passivortung. Frühe Hörtechniken des Delays

Entfernungsmessung im Handumdrehen | 113

Sensibilisierte Ohren I – im Feld | 128

Sensibilisierte Ohren II – im Wasser | 133

Medientheorie der Verzögerung 1880 | 143

5. Echoloten. Profilierung als Datenproblem

Aquatische Experimente | 147

Spärliche Daten der Drahtlotungen | 158

Echolote auf Reisen: die *Meteor*-Expedition | 164

Echolotische Datenpraktiken | 171

6. Sonar. Reginald Fessenden und das Meeres-Rauschen

Unterwasserschallsignale | 179

Morsen vs. Orten | 202

Medienpraktische Varianz | 209

7. Delay Lines. Verzögerungsspeicher

Rundfunk – Ästhetik | 217

Fernsehen – Bildstörung | 227

Radar – Bewegungsdetektion | 229

Computer – *memory* | 232

Funktelefonie – Feedback | 236

Theorie – Übertragungsspeicher | 240

8. Sonographie. „work on the human body“

Diagnostik statt Therapeutik | 247

Medizinische Zeitkritik | 256

„Sound-Wave Portrait in the Flesh“ | 262

9. Radardenken. Radar als Trigger des Digitalen

Bildwissen beim Radar | 271

Die Infrastruktur des Mediums | 288

System Design und Operations Research | 297

Beacons: Elektronische Identifikation | 307

LORAN: Navigation | 311

Radarindustrie | 319

Binartität: Radar als Impulstechnik | 328

Radar- als Computergeschichte | 337

PCM: Pulse-Code-Modulation | 344

Bidirektionale Bildschirme: graphische User-Interfaces | 349

))ECHO((| 363

Dank | 379

Literatur | 381

Abbildungen | 425

((PING))

„My object of study may appear much less momentous than most.“¹

Medien des Delays

Als die 2012 gegründete US-amerikanische „Investors Exchange“ (IEX) im Oktober 2013 für den Aktienhandel öffnete, unterschied sie auf den ersten Blick nicht viel von anderen Börsen. Allerdings verfügte sie an ihrem Rechnerstandort über eine Box mit einem 38 Meilen langen Glasfaserkabel (vgl. Abb. 1), das aus prozessarchitektonischer Perspektive betrachtet völlig sinnfrei war. Und dieses Artefakt machte sie besonders. Sämtliche Signale des digitalisierten Aktienhandels der Börse wurden zunächst durch dieses Kabel geleitet, um sie zu verzögern: Die ‚Kabelkiste‘ war allein dafür vorgesehen, den sich über Börsen immer schneller vollziehenden Aktienhandel restriktiv zu verlangsamen. Damit reagierte die IEX auf eine Entwicklung im globalen Finanzwesen, für welche paradigmatisch der Begriff ‚Hochfrequenzaktienhandel‘ steht. Waren im Aktienhandel zuvor Sekunden oder allenfalls Millisekunden entscheidend, waren es bereits 2011 Mikrosekunden, d.h. millionstel Sekunden.² Mithin findet Handel seitdem in Zeitbereichen statt, die außerhalb der menschlichen Entscheidungsfindung oder Intervention liegen. Problematisch ist dies, da automatisiert Phantomkäufe getätigt werden können, um Aktienkurse im Mikrosekundenbereich zu beeinflussen. Um dem vorzubeugen, wur-

1 Canales, Jimena (2009): *A Tenth of a Second: A History*, Chicago, Ill./London, 13.

2 So berichtete Andrew Haldane von der Bank of England im Jahr 2011 auf einer internationalen Konferenz: „A decade ago, execution times on some electronic trading platforms dipped decisively below the one second barrier. As recently as a few years ago, trade execution times reached ‚blink speed‘ – as fast as the blink of an eye. At the time that seemed eye-watering, at around 300–400 milliseconds or less than a third of a second. But more recently the speed limit has shifted from milliseconds to microseconds – millionths of a second.“ Haldane, Andrew G. (2012): „The Race to Zero“, in: Franklin Allen et al. (Hrsg.), *The Global Macro Economy and Finance*, London/New York, 245–270, 251.

den im Fall der IEX alle eingehenden Kauf- und Verkaufsbefehle zunächst durch die genannte 38 Meilen lange Glasfaserleitungen gesendet, bevor die Signale die Trading Engine der Börse erreichten. Dadurch wurde eine Verzögerung der Signale um 350 Mikrosekunden, mithin ein s.g. Round-Trip-Delay in Höhe von 700 Mikrosekunden bzw. 0,0007 s bewirkt.³ In den mikrot temporalen Sphären, in welchen Hochfrequenzaktienhandel stattfindet, reicht diese kurze Verzögerung aus, um Phantomkäufe zu unterbinden.



Abbildung 1: Eine Box mit einem 38 Meilen, d.h. circa 61 Kilometer langen Kabel: die „IEX Speed Bump“.

Durch die Computerisierung, die damit verbundene digitale Vernetzung und infolgedessen die enorme Beschleunigung des Aktienhandels im 21. Jahrhundert kehrt eine Situation wieder, die vornehmlich im 19. Jahrhundert charakteristisch war: Für Gewinn oder Verlust im Finanzhandel stellt Geographie eine entscheidende Dimension dar. War es im 19. Jahrhundert die Nähe von einem Börsenunternehmen zum städtischen Telegraphenamt, um international (Ver-)Käufe möglichst schnell zu tätigen, ist es heute die geographische Nähe von Unternehmen zu den Standorten der Börsen selbst. Gerade im vermeintlich ortlosen *world wide web* sind es die realweltlichen, materiellen Rückbindungen von Dateninfrastrukturen,

3 Anonym (o.J.): „The IEX Speed Bump“, <https://exchange.iex.io/about/speed-bump/>, 29. 10.2022.

die medienökonomisch zum ausschlaggebenden Kriterium mikrotemporaler Relevanz avancieren.

Verstärkt seit Ende der 2000-er Jahre zogen Börsenunternehmen und Aktienhändler:innen in die geographische Nähe von Börsenrechnern. In New York City führte dies dazu, dass in Manhattan ganze Gebäude entkernt und mit Rechenzentren bestückt wurden, um Übertragungszeiten zur New Yorker Börse zu reduzieren.⁴ Dadurch werden jene Verzögerungen der Transaktionen im Hochfrequenzaktienhandel minimiert, die einfach dadurch entstehen, dass Daten für ihre Übertragung Zeit brauchen: nämlich gemäß der geographischen Entfernung zwischen Aktienhändler:in und Börse. Kürzere Übertragungswege bedeuten reduzierte Übertragungszeiten und erlauben eine schnellere Handlung auf Distanz bzw. – in einer Terminologie von Paul Virilio, der die globale ubiquitäre Vernetzung in den 1990er Jahren visionierte – eine fast „unmittelbare Teleaktion“.⁵ Solche mediale Formen tempo-radikalisierter Teleaktion können bedeutende finanzielle Unterschiede zeitigen. Zeit ist bekanntlich Geld, wie es Hochfrequenz-Aktienhändler:innen wissen, die Michael Lewis in seinem non-fiktionalen Buch *Flash Boys: A Wall Street Revolt* beschrieb.⁶

In diesem medienökonomischen Kontext wurde im Jahr 2015 von der Firma Hibernia Atlantic ein neues privates transatlantisches Kabel in Betrieb genommen – das „Hibernia Express“ –, das ein wenig direkter verläuft als bisherige transatlantische Kabel. Damit verbindet es als ‚Express-Kanal‘ die Finanzplätze von London und New York um 5 Millisekunden schneller miteinander, als dies vorherige Kabel vermochten, nämlich in 59,5 ms. Mit den Worten „[f]inance is now increasingly dominated by automated trading, and to a computer 5 milliseconds is an eternity“ kommentierte die Zeitschrift *Popular Mechanics* das Unterfangen im Jahr 2011, als die Kabelverlegung angekündigt wurde.⁷ Maßgebend ist in diesem Kontext weniger die Frage nach der Vernetzung des Globus als solcher, sondern vielmehr danach, in welchen Mikrotemporalitäten jene Netze Daten zu übertragen in der Lage sind. Damit illustriert das Hibernia Express, auf welcher basalen Ebene technische

4 Ich danke Jan Philip Müller für diesen Hinweis.

5 Virilio, Paul (1996): „Das dritte Intervall“, in: ders.: *Fluchtgeschwindigkeit*, München/Wien, 19-36, 26.

6 Lewis, Michael (2014): *Flash Boys. A Wall Street Revolt*, New York. Hierzu auch MacKenzie, Donald (2021): *Trading at the Speed of Light. How Ultrafast Algorithms are Transforming Financial Markets*, Princeton, NJ.

7 Pappalardo, Joe (2011): „New Transatlantic Cable Built to Shave 5 Milliseconds off Stock Trades“, in: *Popular Mechanics*, <https://www.popularmechanics.com/technology/infrastructure/a7274/a-transatlantic-cable-to-shave-5-milliseconds-off-stock-trades>, 29.10.2022.

Übertragungsmedien der Signalsendung in Raum und Zeit operieren: Übertragungen haben je spezifische Zeiten, die in mitunter indexikalischer Beziehung mit dem Raum stehen, den sie aufspannen – je länger ein Kabel, desto länger die Übertragungszeit *et vice versa*.

Das ‚Express-Kabel‘ ist nur ein Fallbeispiel, um eines zu illustrieren: Die tendenziell globale Vernetzung kann als ein Ringen um kontinuierlich kürzere Übertragungszeiten lesbar gemacht werden, die den temporalen Index von Kanälen problematisieren. Kulturhistorisch ließe sich eine Erzählung aufspannen, die bei menschlichen Medien (Boten) ansetzt, die ihre Botschaften zu Fuß oder auf Pferden transportierten.⁸ Bei diesen handelte es sich also um buchstäbliche Übertragungspraktiken, da es galt, physische Botschaften zu tragen oder zumindest den eigenen Körper fortzubewegen. Derartige Körpertechniken der Übertragung wurden historisch supplementiert von schnelleren Verfahren der Nachrichtensendung: von optischer Telegraphie – Rauch- oder Flaggensignale – über elektrische Telegraphie – Morsen – und akustische Signalisierung – Nachrichtentrommeln – bis hin zu beschleunigten Transporttechniken im Zeitalter der Industrialisierung – wie etwa die Eisenbahn. Diese entkoppelten zum einen Botschaften von menschlichen Träger:innen, zum anderen brachten sie einen Geschwindigkeitsvorteil mit sich.⁹ Solch eine Erzählung ließe sich im Gestus einer Fortschrittsgeschichte der Moderne teleologisch fortführen – inklusive einer medienhistorischen Abschweifung zur Rohrpost, der Erwähnung der Telefonie sowie der engmaschig vernetzten Kommunikation im Arpanet und schließlich dem *world wide web*.

Diesem Narrativ der sich kulturhistorisch beschleunigenden Übertragung folgend, wird technischen Medien in medienwissenschaftlicher Einführungsliteratur gemeinhin bescheinigt, Raum und Zeit zu „überwinden“.¹⁰ Dieses Attest folgt einer Perspektivierung von Kommunikationsmedien der klassischen Mediengeschichte und -theorie, die federführend bei Paul Virilio anzutreffen war. In jener Perspektive wurden Übertragungsmedien als diejenigen Instanzen lesbar gemacht, welche – verkürzt gesagt – Übertragung von Information über den Raum *hinweg* ermöglichten, Distanz *überwanden*, Räume *verdichteten* oder gar *vernichteten*. Seine prominenteste Formulierung erfuhr diese Perspektivierung technischer Übertragungsmedien wohl durch Marshall McLuhans Formulierung eines „global village“ und

8 Vgl. hierzu insg. Krämer, Sybille (2008): *Medium, Bote, Übertragung. Kleine Metaphysik der Medialität*, Frankfurt a.M.

9 Vgl. Schivelbusch, Wolfgang (1989 [1977]): *Geschichte der Eisenbahnreise. Zur Industrialisierung von Raum und Zeit im 19. Jahrhundert*, Frankfurt a.M.

10 Winkler, Harmut (2008): *Basiswissen Medien*, Frankfurt a.M., 11, dort schreibt Winkler „Medien überwinden Raum und Zeit.“

seine These einer *simultanen* globalen Verbundenheit.¹¹ Einen historischen Index haben solche Lesbarmachungen von Entwicklungen in der Transport- und Kommunikationstechnik als ‚Raumvernichtung‘, da bspw. bereits Heinrich Heine 1843 der seinerzeit neuen Bahnverbindung Paris-Rouen bescheinigte, „[d]urch die Eisenbahn wird der Raum getötet.“¹² Transformationen des Transportwesens und der digitalen Datenübertragung führten Paul Virilio zu ähnlichen Überlegungen, die in der Formulierung einer „Auflösung des Stadtbildes“¹³ in der medientechnisch aufgerüsteten Postmoderne mündeten. Auch äußerten sie sich in seiner dystopischen Beschreibung von postmodernen Subjekten als „Terminal-Bürgern“, die sich an Interfaces gekoppelt mit der Welt verbunden in häuslicher Isolation „wie in einem Kokon“ befänden.¹⁴ Daher beschäftigten sie sich vermeintlich nicht länger mit dem geographischen Raum außerhalb ihrer Wohnung, weshalb dieser in der Postmoderne an Relevanz verliere.

Nach einem kulturwissenschaftlich orientierten *Spatial Turn*¹⁵ fand die historische Rekonstruktion und gegenwartsbezogene Theoretisierung von Medien als ‚Raumüberwindern‘ ebenso in Folge eines gleichlautenden Turns in den Medien- und Sozialwissenschaften¹⁶ breiten Widerspruch. Nunmehr wurde und wird auch dort auf Räume medienpraktischen Handelns, soziologisch auf situierte, mitunter kulturell heterogene Mediengebräuche oder die Ko-Emergenz von Medien, Raumwissen und Raumrepräsentation fokussiert. Ebenso ist es Anliegen der *Geomedia Studies*¹⁷ und der Mediengeographie,¹⁸ Medien statt in ihrer vermeintlich raum-

-
- 11 Vgl. McLuhan, Marshall (1962): *The Gutenberg Galaxy: The Making of Typographic Man*, Toronto.
 - 12 Zit. n. Schivelbusch (1989 [1977]): *Geschichte der Eisenbahnreise*, 39.
 - 13 Virilio, Paul (2006 [1984]): „Die Auflösung des Stadtbildes“; in: Jörg Dünne/Stephan Günzel (Hrsg.), *Raumtheorie. Grundlagentexte aus Philosophie und Kulturwissenschaften*, Frankfurt a.M., 261-273.
 - 14 Virilio, Paul (1990): „Das dritte Intervall. Ein kritischer Übergang“, in: Edith Decker/Peter Weibel (Hrsg.), *Vom Verschwinden der Ferne. Telekommunikation und Kunst*, Köln, 335-346, 344.
 - 15 Vgl. Soja, Edward W. (1996): *Thirdspace: Journeys to Los Angeles and Other Real and Imagined Places*, Cambridge/Oxford; vgl. hierzu Bachmann-Medick, Doris (2016): „Chapter VI: The Spatial Turn“, in dies.: *Cultural Turns. New Orientations in the Study of Culture*, Berlin/Boston, 211-243.
 - 16 Vgl. programmatisch hierzu Döring, Jörg/Thielmann, Tristan (2008) (Hrsg.), *Spatial Turn. Das Raumparadigma in den Kultur- und Sozialwissenschaften*, Bielefeld.
 - 17 Vgl. grundlegend McQuire, Scott (2016): *Geomedia: Networked Cities and the Future of Public Space*, Cambridge, UK.
 - 18 Vgl. hierzu bspw. Döring, Jörg/Thielmann, Tristan (2009) (Hrsg.), *Mediengeographie: Theorie – Analyse – Diskussion*, Bielefeld.

überwindenden hinsichtlich ihrer raumproduzierenden Funktionalität und Affordanz zu untersuchen. In dieser soziologisch inspirierten Perspektive sind Räume ebenso wenig gegeben, wie sie durch Medien überwunden werden. Grundsätzliche Arbeitsthese ist vielmehr, dass Räume – über Michel de Certeau hinausgehend – nicht nur praktiziert,¹⁹ sondern mitunter erst durch Praktiken *und* Medien kooperativ hervorgebracht und in unterschiedlichen Umwelten stabilisiert werden. Nach dem Vorbild der soziotechnisch ausgerichteten Akteur-Netzwerk-Theorie (ANT) bzw. einer „Akteur-Medien-Theorie“,²⁰ ist diese Form des Zugangs medienwissenschaftlicher Analysen zu Medien und Räumen mit einer Betonung von situierten und situativen *Handlungen* menschlicher und nicht-menschlicher Akteure verbunden. Diese prägen je spezifische Umgebungen aus und gleichzeitig schreiben sich Umwelten in Medien und Medienpraktiken ein.²¹ Damit wird ein soziotechnisches Verständnis animiert, welches sich jüngst in der Proklamation eines medienwissenschaftlichen *Practice Turn* fortschrieb.²² So könnte zumindest eine kondensierte Zusammenfassung lauten.

Die Marginalisierung des Raums in der klassischen Medientheorie wurde also gebührend durch einen soziologisch-praxeologisch inspirierten *Spatial* und *Practice Turn* von Seiten der Medienwissenschaft und den *Science and Technology Studies* in Rechnung gestellt,²³ mitunter auch in historischer Perspektive.²⁴ Teils beriefen sich die entstandenen Arbeiten auf einen prominenten literarischen Kanon wie Michel Foucaults wegweisenden, bereits 1967 formulierten Ansatz eines relationalen Denkens ‚Anderer Räume‘;²⁵ teils beschritten sie neue Wege, insofern sie Methoden der Sozialwissenschaften für die Analyse medialer Räumlichkeiten adaptierten. Doch wie verhält es sich neben der räumlichen mit der temporalen Dimension des vermeintlichen Globalen Dorfs? Wo bleibt die Zeit? Schließlich wurde

19 Vgl. de Certeau, Michel (1988 [1980]): „Praktiken im Raum“, in: ders.: *Kunst des Handelns*, Berlin, 179-238.

20 Thielmann, Tristan/Schüttpelz, Erhard (2013) (Hrsg.), *Akteur-Medien-Theorie*, Bielefeld.

21 Vgl. Thielmann, Tristan (2022): „Environmental Conditioning: Mobile Geomedia and their Lines of Becoming in the Air, on Land, and on Water“, in: *New Media & Society* 24(11), 2438-2467.

22 Schüttpelz, Erhard et al. (2021) (Hrsg.), *Connect and Divide. The Practice Turn in Media Studies*, Zürich.

23 Vgl. hierzu auch Regine Buschauer: *Mobile Räume. Medien- und diskursgeschichtliche Studien zur Tele-Kommunikation*, Bielefeld.

24 Vgl. Fast, Karin/Abend, Pablo (2022) (Hrsg.), *New Media & Society* 24(11), „Geomedia Histories“.

25 Foucault, Michel (1990 [1967]): „Andere Räume“, in: Karlheinz Barck et al. (Hrsg.), *Aisthesis. Wahrnehmung heute oder Perspektiven einer anderen Ästhetik*, Leipzig, 34-46.

dieser in der klassischen Medientheorie ebenso wie dem Raum eine Vernichtung oder zumindest Verdichtung bescheinigt. So schreibt Hartmut Winkler in Bezug auf die von Friedrich Kittler identifizierte Trias an Medienfunktionen hinsichtlich des Übertragens und des Speicherns: „Übertragen‘ meint Kommunikation und Telekommunikation, die Fähigkeit der Medien, räumliche Distanzen zu überwinden. Die zweite Dimension, das ‚Speichern‘, steht für die Überwindung der Zeit, für Traditionsbildung und kulturelle Kontinuierung“.²⁶ Dabei gelte die ‚Überwindung der Zeit‘ nicht nur für das Speichern, sondern ebenso für das postmoderne Verständnis der Übertragung. Diese solle – so Stefan Laube – „stets Simultaneität gewährleisten“,²⁷ womit neben der Virtualität des physischen Raums eine Instantaneität der Übertragung evoziert wird.

Wurde Übertragungsmedien zunächst bescheinigt, sie überwänden Raum und Zeit, wurde diesem Befund für den Raum ein umfangreiches und fundiertes situationsanalytisches, mitunter empirisches Veto entgegengebracht. Könnte nicht nach diesem Vorbild ebenso argumentiert werden, Medien und Praktiken der Übertragung prägen vielmehr heterogene Zeitlichkeiten aus, statt ihnen pauschalisierend zu bescheinigen, sie verdichteten oder vernichteten Zeit? Widersetzen sich die Mikrotemporalitäten technischer Apparaturen auf Signalebene nicht gar der Makro-Zeit des Historischen und Historiographischen? Begründen neue Medien nicht neue Zeitregime, die kulturell vertraute Zeitweisen irritieren? Ist die eingangs abgebildete „LEX Speed Bump“ nicht ein emblematisches Motiv für Zeitökonomien technischer Übertragungsmedien und digitaler Infrastrukturen, die differente Mikrotemporalitäten ausprägen? Nämlich Temporalitäten, die Zeit als vermeintliches Apriori problematisieren und jenseits des Menschen vertrauter – und zugänglicher – Zeitregime statthaben?

Die Diskursivierung von Medien als ‚Zeitüberwindern‘ fand ungleich weniger Widerspruch in der kulturwissenschaftlichen, aber auch praxeologischen Medienforschung als ihre vermeintliche Funktion der Raumüberwindung – so steht dem Spatial Turn kein adäquater ‚Temporal Turn‘ gegenüber. Das erstaunt, da nicht erst hochtechnische oder technologische Übertragungsmedien für sie spezifische Räume, sondern ebenso heterogene Eigenzeitlichkeiten ausprägten. Bereits die temporale Differenz in der Übertragung akustischer Signale durch verschiedene physikalische Medien führte – in Anlehnung an den Michel Foucault’schen Begriff der Heterotopie – zu Darlegungen medialer ‚Heterochronizität‘. Auf Basis der Dif-

26 Winkler, Hartmut (2015): *Prozessieren: Die dritte, vernachlässigte Medienfunktion*, Paderborn, 9.

27 Laube, Stefan (2018): „Übertragen“, in: Heiko Christians/Nikolaus Wegmann/Matthias Bickenbach (Hrsg.), *Historisches Wörterbuch des Mediengebrauchs* 2, Köln et al., 458-482, 470.

ferenzen in der Übertragungszeit von Akustik wurden bereits zur Mitte des 19. Jahrhunderts differente Zeitweisen physikalischer Medien adressierbar, die zu unterschiedlichen Wahrnehmungseindrücken beim Menschen führten. Ganz gleich, was über Kanäle kommuniziert wurde, wurde akustisch als unterschiedlicher Grad von Verzögerung *hörbar*, dass mediale Übertragungssituationen aufgrund ihrer inhärenten Materialität der menschlichen Wahrnehmung vorgeschaltet sind. So kommentierte es Rodolphe Radau in seiner *Lehre vom Schall* auf Basis eines seiner Zeit wichtigen Infrastrukturprojekts:

„Um die verschiedenen Geschwindigkeiten des Schalls miteinander zu vergleichen, denken wir uns einmal, daß der projectirte Tunnel unter dem Kanal zwischen England und Frankreich ausgeführt sei. Die Entfernung der Endpunkte, Cap Grinez und Eastware, beträgt 33 Kilometer. Ein am Cap Grinez abgefeuerter Kanonenschuß würde auf der englischen Station 97 Secunden durch die Luft gehört werden; das Meerwasser würde die Erschütterung in 23 Secunden fortpflanzen; durch die Schienen der projectirten Eisenbahn käme derselbe bereits nach 6 1/2 Secunden an. Hätte man nun noch eine Latte aus Tannenholz von hinreichender Länge, um die beiden Ufer zu verbinden, so würde diese den Schall in 5 1/2 Secunden von Frankreich nach England tragen, also in der Zeit, welche man braucht, um drei Hexameter sehr rasch hintereinander auszusprechen.“²⁸

Solche Laufzeiten bzw. Verzögerungen von Signalen problematisierten Fragen der kulturtechnischen Produktion ‚der Zeit‘ selbst. Bernhard Siegert hat in seiner archäologischen Rekonstruktion von Zeit als Konsequenz des Längengradproblems in der Navigation darauf hingewiesen, dass unser postmodernes Verständnis von ‚Zeit‘ eines von Gleichzeitigkeit statt von heterogenen oder divergierenden Lokalzeiten ist.²⁹ Bereits nach der Verkabelung des Globus mit ersten transkontinentalen Telegraphennetzen – wie dem im Oktober 1902 eingeweihten britischen *All Red Line*-System – waren die elektrotechnischen Voraussetzungen gegeben, Uhren tendenziell im globalen Maßstab zu synchronisieren. Entscheidend war dabei, die Übertragungszeiten der elektrischen Signale selbst in Rechnung zu stellen, wie es Henri Poincaré bereits zum Ende des 19. Jahrhunderts bedachte. Über die Uhrensynchronisation auf Basis elektrischer, telegraphischer Signale hielt er fest:

28 Radau, Rodolphe (1869): *Die Lehre vom Schall. Gemeinfassliche Darstellung der Akustik*, München, 84-85. Sämtliche historischen Quellenzitate dieser Arbeit folgen der Originalschreibweise.

29 Vgl. Siegert, Bernhard (2014): „Längengradbestimmung und Simultanität in Philosophie, Physik und Imperien“, in: *Zeitschrift für Medien und Kulturforschung* 5(2), 281-297.

„Es ist klar, daß die Aufnahme des Signals in Berlin zum Beispiel später erfolgt, als die Aufgabe des gleichen Signals in Paris. (...) Aber um wie viel später? Gewöhnlich vernachlässigt man die Dauer der Übertragung und betrachtet die beiden Ereignisse als gleichzeitig. Aber um streng zu sein, müßte man wieder eine kleine Korrektion machen, die eine umständliche Rechnung erfordert.“³⁰

Wichtigkeit erlangte das Problem der Uhrenkoordination insbesondere im Kontext von Verkehrs- und Fernmeldetechniken. Diese medientechnischen Probleme manifestierten sich auch im physikalischen Denken ihrerzeit bzw. *der* Zeit. So illustrierte Albert Einstein seine Relativitätstheorie nicht von ungefähr an einem Zug, der fahrplanmäßig um Punkt 7 Uhr an einem Bahnhof ankäme. Daher haben Signallaufzeiten – *signal propagation delays*, kurz: Delays – im Sinne Einsteins konstitutiven Anteil an der Beschreibung von Zeit selbst, die „nicht absolut definiert werden“ könne, da es „eine nicht aufhebbare Beziehung zwischen Zeit und Signalggeschwindigkeit“ gibt.³¹ Dabei stellten exakt gleiche Uhrenzeiten nicht ausschließlich ein kulturtechnisches Synchronisationsproblem oder allein eine elektrotechnische Herausforderung dar. Sie waren von politischer Wichtigkeit. Die Realisierung von räumlich verteilter Gleichzeitigkeit war eine Frage von staatlichem Prestige und Signum bürokratischer Macht, wie die Berichterstattung über die Synchronisation einiger Uhren in Wien im Februar 1877 illustrierte – Wien kann in diesem Sinne gar als eine erste „synchronisierte Stadt“³² gelten.

Diese Studie nimmt die medienanthropologisch ausgestaltete Kehre zu Fragen des Raums zum Vorbild, der vermeintlichen Überwindung von Zeit durch Medien und Medienpraktiken am Fallbeispiel von Signallaufzeiten – Delays – ein Veto entgegenzubringen. Ebenso wie es zentraler und ‚radikal medienarchäologischer‘ Forschungsschwerpunkt von Wolfgang Ernst ist,³³ auf die heterogenen bzw. hete-

30 Poincaré, Henri (1906 [1898]): „Das Maß der Zeit“, in: ders.: *Der Wert der Wissenschaft*, Leipzig, 26-43, 41.

31 Zit. n. Galison, Peter (2003): *Einsteins Uhren, Poincarés Karten. Die Arbeit an der Ordnung der Zeit*, übers. v. Hans Günter Holl, Frankfurt a.M., 263.

32 So wurde in der Zeitschrift *Neue Freie Presse* am 25. Februar 1877 berichtet: „Seit gestern ist Wien um eine Einrichtung reicher geworden, die einem längst gefühlten allgemeinen Bedürfnis Rechnung trägt und so viel bedeutet, als die glückliche Lösung eines Problems, das seit Jahren den Gegenstand eifrigster Bestrebungen der Mechaniker gebildet hat, sowie ein Ziel, das zu erreichen den Communen von London, Paris, Berlin etc. trotz aller Bemühungen bisher nicht gelungen ist: in voller Uebereinstimmung mit einander, unabhängig von der Entfernung gehende, die genaue astronomische Zeit zeigende öffentliche und Privat-Uhren.“ Zit. n. Payer, Peter (2015): *Die synchronisierte Stadt. Öffentliche Uhren und Zeitwahrnehmung, Wien 1850 bis heute*, Wien, 35-36.

33 Ganz im Sinne der Festschrift für Wolfgang Ernst, vgl. Hiller, Moritz/Höltgen, Stefan (2019) (Hrsg.), *Archäographien: Aspekte einer radikalen Medienarchäologie*, Basel.

rochronen „Tempor(e)alitäten“ sowie Zeitweisen technischer Medien zu insistieren,³⁴ ist meine grundlegende Annahme, dass Medien und ihre Praxis nicht nur für sie spezifische Räume, sondern ebenso für sie spezifische Zeit-Räume ausprägen.

Selbstredend sind Untersuchungen zum Verhältnis von Medien und Zeit nicht neu. Sie gehören vielmehr zum Gründungsmoment von Medienanalysen. Das zeigen Harold Innis' Arbeiten, in welchen er prä-technologische Medien hinsichtlich ihrer kommunikativen politisch-logistischen Funktion in solche mit Raum- und solche mit Zeitbezug klassifizierte.³⁵ Innis legte dar, dass es Medien gibt, „die wie der Papyrus eine räumliche Orientierung der Gesellschaft befördern, und solche wie Stein oder Ton, welche Herrschaftsformen begünstigen, die auf Zeitmonopolen gebaut sind“.³⁶ Eine solche Perspektive ist wiederholt für die Analyse aktueller Medienkulturen und -phänomene lesbar gemacht worden.³⁷ Umfassend beschäftigte sich auch Götz Großklaus mit den durch technische Medien evozierten Transformationen raumzeitlicher Wahrnehmung in historischer Perspektive.³⁸ Ebenso hat die Beschäftigung mit Fragen von Temporalitäten in kinematographischen Analysen eine umfangreiche Tradition. Verwiesen sei hier bereits auf Walter Benjamins Formulierung eines ‚Optisch Unbewussten‘, welches u.a. durch kinematographische Verfahren verfügbar gemacht werde, oder auf Gilles Deleuze' Arbeiten zum Zeitbild.³⁹ Nach diesem Vorbild nimmt die Frage nach Zeitlichkeiten in Analysen Digitaler Spiele eine zentrale Stellung ein.⁴⁰ Über historisch-apparative Formen chronographischer Fixierungen am Beispiel der Kurve legte Stefan Rieger ei-

34 Verwiesen sei bspw. auf Ernst, Wolfgang (2015): *Im Medium erklingt die Zeit. Technologische Tempor(e)alitäten und das Sonische als ihre privilegierte Erkenntnisform*, Berlin; ders. (2012): *Chronopoetik. Zeitweisen und Zeitgaben technischer Medien*, Berlin; ders. (2012): *Gleichursprünglichkeit. Zeitwesen und Zeitgegebenheiten technischer Medien*, Berlin; ders. (2013): *Signale aus der Vergangenheit. Eine kleine Geschichtskritik*, München.

35 Vgl. Innis, Harold (1951): *The Bias of Communication*, Toronto.

36 Werber, Niels (1997): „Weltgeschichte als Thriller. Über Harold Innis, den Lehrer Marshall McLuhans“, <https://homepage.ruhr-uni-bochum.de/niels.werber/Publikationen/innis.htm>, 07.11.2022. Vgl. hierzu Innis, Harold (1950): *Empire and Communications*, Oxford.

37 Vgl. Peters, John Durham (2003): „Space, Time, and Communication Theory“, in: *Canadian Journal of Communication* 28(4), 397-412.

38 Großklaus, Götz (1995): *Medien-Zeit, Medien-Raum: Zum Wandel der raumzeitlichen Wahrnehmung in der Moderne*, Frankfurt a.M.

39 Deleuze, Gilles (1990 [1985]): *Kino II. Das Zeit-Bild*, Frankfurt a.M. Aktueller zur Zeitlichkeit des Kinos vgl. Mulvey, Laura (2006): *Death 24x a Second. Stillness and the Moving Image*, London, oder Steward, Garreth (2007): *Framed Time: Toward a Postfilmic Cinema*, Chicago, Ill.

40 Vgl. exemplarisch Höltgen, Stefan/van Treeck, Jan Claas (2016) (Hrsg.), *Time to Play. Zeit und Computerspiel*, Glückstadt.

ne Studie vor;⁴¹ dass mit technischen Zeitstrukturen und -strukturierungen eigene Wissensgefüge einhergehen, ist betont worden;⁴² darauf, dass zunächst unscheinbare Zeitphänomene wie die Zehntelsekunde eine eigene Geschichte entfalten, hat Jimena Canales hingewiesen.⁴³ In diesem Kontext erwähnenswert ist weiterhin Peter Galisons Buch *Empires of Time*, das sich ausgehend von Albert Einsteins Spezieller Relativitätstheorie der Herstellung von Synchronität um 1900 als zentralem Problem der Elektrotechnik, Wirtschaft und Politik widmet;⁴⁴ ebenso wurde sich grundsätzlichen Fragen zum Verhältnis von Übertragungsräumen und Medien gewidmet.⁴⁵ Nicht zu verschweigen wären hier Analysen ‚zeitkritischer Medien‘⁴⁶ und vornehmlich jüngere kulturwissenschaftliche Arbeiten, die auf das Verhältnis von Technologien, Infrastrukturen und Temporalität fokussieren.⁴⁷

Selten wird in diesen Arbeiten jedoch die Zeitlichkeit von Signalübertragungen selbst explizit: die Eigengeschwindigkeit von Signalen, ihr *signal propagation delay* findet allenfalls randständige Erwähnung – das gilt sogar für Arbeiten, die sich dezidiert der temporalen Pluralität digital vernetzter Medien widmen.⁴⁸ Auch wenn es zunächst banal anmutet, muss festgehalten werden, dass „Medien des Immediaten“⁴⁹ in zweifacher Weise ein Phantasma darstellen: Eine unmittelbare Wirkung respektive Übertragung gibt es *weder* räumlich *noch* zeitlich. Schall und Licht bzw. akustische und elektromagnetische Übertragungen haben je spezifische Geschwindigkeiten. Daher spitzt diese Arbeit Untersuchungen zum Verhältnis von Raum und Zeit an der produktiven Nutzung des Phänomens der *Signallaufzeit*

41 Rieger, Stefan (2009): *Schall und Rauch. Eine Mediengeschichte der Kurve*, Frankfurt a.M.

42 Vgl. Schmidgen, Henning (2005): *Lebendige Zeit. Wissenskulturen im Werden*, Berlin.

43 Vgl. Canales (2009): *A Tenth of a Second*.

44 Galison, Peter (2003): *Einstein's Clocks, Poincaré's Maps: Empires of Time*, New York.

45 Johach, Eva/Sawicki, Diethard (2013) (Hrsg.), *Übertragungsräume: Medialität und Raum in der Moderne*, Wiesbaden.

46 Volmar, Axel (2009) (Hrsg.), *Zeitkritische Medien*, Berlin.

47 Vgl. Volmar, Axel/Stine, Kyle (2021) (Hrsg.), *Media Infrastructures and the Politics of Digital Time: Essays on Hardwired Temporalities*, Amsterdam; ebenso die umfangreichen Forschungsarbeiten von Isabell Otto, bspw. (2020): *Prozess und Zeitordnung. Temporalität unter der Bedingung digitaler Vernetzung*, Göttingen; vgl. auch die Beiträge der Zeitschrift *AugenBlick: Marburger Hefte zur Medienwissenschaft* 51, „Bilder in Echtzeit. Medialität und Ästhetik des digitalen Bewegtbildes“, hrsg. v. Isabell Otto u. Tobias Haupts, aus dem Jahr 2012.

48 Vgl. bspw. Otto, Isabell (2021): „Infrastructuring Leap Seconds: The Regime of Temporal Plurality in Digitally Networked Media“, in: Axel Volmar/Kyle Stine (Hrsg.), *Media Infrastructures and the Politics of Digital Time*, 107-124.

49 Sprenger, Florian (2012): *Medien des Immediaten. Elektrizität – Telegraphie – McLuhan*, Berlin.

bzw. *Verzögerung* medienhistorisch zu. Mit dem Begriff ist die s.g. *time of flight* bezeichnet, für welche sich auch andere Begrifflichkeiten wie *signal propagation delay* oder *delay time* etabliert haben, für welche diese Arbeit bündelnd den Begriff „Delay“ verwendet. Sie alle benennen die Übertragungszeit zwischen Senden und Empfangen eines Signals.⁵⁰ Wenn mediale Techniken der Signalübertragung soziotechnische und geomediale *Räume* ausprägen, sind sie – so will ich behaupten – ebenso an der Konstruktion spezifischer *Zeiträume* und ‚Zeit-Raum-Regime‘⁵¹ beteiligt. Dass Medien der Übertragung Zeit nicht ‚überwinden‘, sondern durch Übertragungen Eigenzeitlichkeiten begründen, den Georaum zeitkritisch problematisieren und damit Räume selbst zeitkritisch werden lassen – oder anders gewendet: Übertragungszeiten verräumlichen –, ist ein Ausgangspunkt dieser Arbeit. Die von mir historisch erschlossenen Medien und Praktiken sonischer Übertragungen illustrieren, dass sie mitnichten Räume und Körper zu überwinden suchten. Vielmehr temporalisierten sie Räume und Körper auf Basis von Delay, da Sensormedien in unterschiedlichsten Environments Signalmräume aufspannten.

Die Medien, die im Fokus dieser Arbeit stehen, richten sich an der entscheidenden Bedeutung des zeitlichen Indexes von Signalübertragungen aus: Die temporale Dimension jeder Sendung, ihr Delay, gilt ihnen als entscheidendes Kriterium. Sie operieren mithin auf einem Aspekt technischer Übertragungen, der in konventionellen Kanal- und Übertragungsmodellen verschwiegen wird. Diese vernachlässigen meist, dass mit dem Senden von Signalen von einem Ort im Raum zu einem anderen ebenso ein Zeitintervall einhergeht. Prominent verwiesen sei diesbezüglich auf Claude Shannons „Mathematical Theory of Communication“, in welcher die Zeitlichkeit der Übertragung keine Rolle spielt.⁵² Signallaufzeiten – Delays

50 Die Zeitfigur der Verzögerung hat sicherlich auch eine Geschichte auditiver Ästhetik – wie sie nicht Anliegen dieser Untersuchung ist –, die sich mit Weisen der Verlangsamung respektive Verzögerung in konzertanten Aufführungspraktiken beschäftigen könnte. Ebenso trägt eine Reihe musikalischer s.g. Effektgeräte explizit den Namen „Delay“. Diese operieren mit unterschiedlichen analogen Techniken und digitalen Technologien des Splittings eines originären Soundsignals und der Verzögerung des bzw. der Doubles, so dass audioästhetische Räume realisierbar werden, vgl. Doyle, Peter (2005): *Echo & Reverb. Fabricating Space in Popular Music Recording 1900-1960*, Middletown.

51 Wie u.a. Nanna Verhoeff verwende ich den Begriff des ‚Regimes‘ nicht als „political term“, sondern vielmehr im Sinne einer „cultural practice“, Verhoeff, Nanna (2012): *Mobile Screens: The Visual Regime of Navigation*, Amsterdam, 16. Wenn Verhoeff dort (19) schreibt: „So far, I position this study as an integrative approach, where space and time, but also devices and their uses, converge in the production of a regime of navigation“, so kann dies gleichermaßen als programmatisch für das Anliegen dieser Arbeit in Bezug auf „Zeit-Raum-Regime“ gelten.

52 Shannon, Claude E. (1948): „A Mathematical Theory of Communication“, in: *The Bell System Technical Journal* 27(3), 379-423; vgl. hierzu das Schlusskapitel dieser Arbeit.

– sind in klassischen Perspektiven etwas, das es schlichtweg nicht *gibt*. Wie auch die These der Raumverdichtung hat dies gewissermaßen Tradition. So hatte bspw. Karl Knies bereits 1857 dem telegraphischen „Nachrichtenverkehr“ den Vorteil bescheinigt, mit ihm durchflögen Nachrichten „den Raum ohne Zeit“.⁵³ Damit begründete er eine Diskursivierung elektrischer Übertragungen, die sich bis zu Marshall McLuhan fortschreibt, bei dem es hieß, „[e]lectric is always instantaneous; there is no delay.“⁵⁴ Wenn überhaupt, werden Signallaufzeiten in solchen Perspektiven als verzögerndes Übel jeder Sendung lesbar gemacht. Ähnlich fasste es David Link prägnant zusammen: „in communication, delay is a most unwelcome phenomenon“.⁵⁵ Auch konventionelle Kommunikationstheorien, wie Robert Arthur Fairthornes „Theory of Communication“ von 1950, folgen einer Programmatik von „delay is what communication engineers are paid to fight“.⁵⁶ Geschuldet ist dies vermutlich der laut Lorenz Engell „wirksamste[n] Metapher des Medialen“, welche mediale Funktionalitäten immer schon vorentschieden hatte und mithin verengend ag(it)ierte: die „Transportmittel-Metapher“.⁵⁷ Denn im Kontext des Transports gilt Verzögerung *tatsächlich* als negativ und als etwas, das man entschuldigen müsse.⁵⁸

Allerdings erschöpfen sich technische Medien und Infrastrukturen nicht in ihrer Funktion des Transports, gleich ob dies Objekte, Subjekte oder Daten bzw. in den Worten von Knies „Sachgüter – Personen – Nachrichten“ betreffe.⁵⁹ Diese Arbeit schlägt daher einen Perspektivwechsel vor. Sie versteht Delays nicht als notwendiges Übel jeder Sendung oder gar als Störung, sondern *als mediales Prinzip*:

53 Knies, Karl (1857): *Der Telegraph als Verkehrsmittel. Mit Erörterungen über den Nachrichtenverkehr überhaupt*, Tübingen, 190.

54 Zit. n. Sprenger, Florian (2017): „Warum ist das Medium die Botschaft?“, in: Till Heilmann/Jens Schröter (Hrsg.), *Medien verstehen. Marshall McLuhans Understanding Media*, Lüneburg, 39-57, 47.

55 Link, David (2006): „There Must Be an Angel. On the Beginnings of the Arithmetics of Rays“, in: Siegfried Zielinski/David Link (Hrsg.), *Variantology 2. On Deep Time Relations of Arts, Sciences and Technologies*, Köln, 15-42, 30.

56 Zit. n. Burkhardt, Marcus (2015): *Digitale Datenbanken. Eine Medientheorie im Zeitalter von Big Data*, Bielefeld, 171.

57 Engell, Lorenz (1999): „Wege, Kanäle, Übertragungen. Zur Einführung“, in: Claus Pias et al. (Hrsg.), *Kursbuch Medienkultur. Die maßgeblichen Theorien von Brecht bis Baudrillard*, Stuttgart, 126-133, 127.

58 Dafür kann programmatisch eine an mich adressierte Email von Amazon herhalten: „Hello, Originally the delivery of your order (...) was announced for today. Unfortunately, there is a delay in delivery. We expect that the shipment is to arrive one to two business days later. We apologize for this delay.“ Aus einer automatisierten Email von bestellung-aktuell@amazon.de vom 15.11.2022.

59 Knies (1857): *Der Telegraph als Verkehrsmittel*, 6.

als etwas, das strategisch genutzt werden kann. Dafür hatte sich die Produktivität von Delays allerdings erst historisch zu beweisen. In unserer aktuellen Medienkultur gibt es nunmehr – sichtbar und verborgen – ubiquitäre Technologien, die Delay in eine produktive Strategie wenden, insofern sonische Übertragungen nicht allein den Zweck verfolgen, Informationen oder Daten ‚zu transportieren‘. Dies sind Medien, für welche die Zeitlichkeit jeder Übertragung vom irreduziblen, aber nebensächlichen Charakteristikum jeder Sendung zur eigentlichen *Botschaft* avanciert. Um sogleich konkret zu werden, sei hier eine basale Definition gegeben, auf welchem Prinzip Radar basiert – aus einem Band der *Radiation Laboratory Series* des Massachusetts Institute of Technology (MIT) aus dem Jahr 1949: „In a pulse distance finder the measurement of distance involves the measurement of the time delay Δt between the transmission and reception of a radio-frequency pulse“.⁶⁰ Gemäß der Geschwindigkeit von Licht, mit welcher sich Radioimpulse ausbreiten, wird die Entfernung zu einem entfernten Objekt im Raum beim Aktivradar qua Delay bestimmt, wie ein anderer Band der *Radiation Laboratory Series* über die Vorteile der Entfernungs- als Zeitmessung explizierte: „The linear relation between delay time and range (...) is the clue to the ease with which range can be measured by radar. Range measurement is reduced to a measurement of time, and time can be measured perhaps more accurately than any other basic physical quantity“.⁶¹ Ähnlich der Technologie des ubiquitären NAVSTAR GPS, für dessen Empfang zu Zwecken der Navigation heutzutage in nahezu sämtlichen Smartphones miniaturisierte Chips verbaut sind, wird beim Radar die Laufzeit eines elektromagnetischen Impulses genutzt, um Entfernungen zu bestimmen: Gemäß der Laufzeit eines Signals wird eine geographische Distanz mathematisch als Zeitdifferenz adressierbar. Der zeitliche Index von akustischer – oder in diesem Fall: elektromagnetischer – Übertragungen gilt nicht als zweckfreie physikalische Nebenbedingung der Sendung, das Gegenteil ist zutreffend: Delay wird zum entscheidenden Kriterium des Mediums. Und das gilt nicht erst für GPS oder Radar, wie diese Arbeit historisch aufarbeiten wird.

Es hat auch informationstheoretische Konsequenzen, wenn die Botschaft eines technischen Mediums allein in der Messung von Delay besteht – und nicht in der Übertragung codierter Daten, Informationen oder irgendeines semantischen ‚Sinns‘. Demgemäß wurde in einer „technical note“ des britischen *Telecommunications Research Establishment* von 1950 der Unterschied von klassischen Kommu-

60 Chance, Britton et al. (1949) (Hrsg.), *Electronic Time Measurements* (MIT Radiation Laboratory Series 20), New York, 12.

61 Ridenour, Louis N. (1947): „How Radar Works“, in: ders. (Hrsg.), *Radar System Engineering* (MIT Radiation Laboratory Series 1), New York, 3-6, 3-5.

nikationsmedien und Medien des Delays betont. Da dies für die folgende Argumentation von epistemischer Brisanz ist, gebe ich den Absatz in Gänze wieder:

„The radar problem is rather different from an ordinary problem of communication, because the range information is impressed on the received waveform in a very special manner – it is simply a time lag. In telegraphy the amplitudes and possibly also the phases of the transmitted waveform at a large number of instants of time may be independently chosen to represent different messages. In simple range-measuring radar, on the other hand, it is not the shape of the transmitted waveform which determines the message, but its delay before returning to the receiver. Thus there is only one degree of freedom – the time lag.“⁶²

Delay und nicht etwa der semantische Inhalt eines Kommunikats ist operativer Kern der Medientechnik: Ein Impuls wird ausgesendet, allein aus dem Grund, diesen meist am selben Ort wieder zu empfangen und auf Basis der Laufzeit eine Zeitdifferenz zu bestimmen, die nachfolgend in eine räumliche Distanz übersetzt wird. Wenn Jason Farman in *Delayed Response* konstatiert, „that the delay between call and answer has always been an important part of the message“,⁶³ bekommt dies für zeitkritisch operierende Sensormedien wie das Radar eine neue Dringlichkeit. Auch Farman interpretiert Delay nicht als passive Warte-, mithin als Totzeit, wie es Friedrich Kittler in typischer Manier mit Verweis auf militärische Logiken tat.⁶⁴ Farman untersucht in kulturhistorischer Perspektive medial verfasste Praktiken, in denen Delays zwischen Senden und Empfangen von Botschaften konstitutiv für eben jene Botschaften selbst sind: in etwa als Lebenszeichen fungierende Kriegsbriefe oder die einstige Handypraxis japanischer Liebespaare, auf eine inhaltsleere SMS möglichst schnell mit einer ebenso inhaltsleeren SMS zu antworten.⁶⁵ Wenn es für Übertragungen gemeinhin entscheidend ist, *was* gesendet wird, ist es also mitunter ebenso zentral, *wann* etwas empfangen wird.⁶⁶ Das im-

62 The National Archives (TNA) AVIA 26/1632.

63 Farman, Jason (2018): *Delayed Response. The Art of Waiting from the Ancient to the Instant World*, New Haven/London, Klappentext.

64 Kittler schrieb: „Nicht umsonst heißen Verzögerungszeiten (*delays*) im technisch-militärischen Jargon auch ‚Totzeiten‘. Wer einige Sekunden zu spät weiß, den bestraft nicht das sogenannte Leben, sondern ein feindlicher Erstschat.“ Kittler, Friedrich (1998): „Zur Theoriegeschichte von Information Warfare“, https://webarchive.ars.electronica.art/de/archiv_files/19982/1998a_301.pdf, 31.10.2022.

65 Farman (2018): *Delayed Response*, 8-9.

66 Diese und andere Feststellungen der Einleitung sind Ergebnis meiner Delay-Forschung und hätten strukturell am Ende der Arbeit in einem Resümee Platz finden können. Ich stelle diese Überlegungen bewusst an den Anfang, da so vorab deutlich wird, worin mein medienwissenschaftliches Interesse an den zu untersuchenden Medien besteht.

plizite medientheoretische Argument Farman könnte lauten, dass die Medienfunktion der Übertragung mit ihren situierten und kulturellen Praktiken variiert, statt ontologisch eindeutig bestimmbar zu sein. Diese Arbeit wird aufzeigen, dass sich Techniken und Praktiken der Übertragung ebenso *historisch* und *medienspezifisch* als heterogen erweisen. Wenn Farman schreibt, „the very definition of ‚content‘ must also include time“,⁶⁷ gilt dies allemal für die Medien dieser Arbeit. Die hier zur historischen Analyse stehenden Medien wie das Radar, Echolot oder Sonar basieren fast ausschließlich auf der Messung von Delays. Paradigmatisch steht dafür die Sonar-Metapher des „Pings“ als Diagnosetool in der digitalen Netzwerktechnik ein: Nicht nur bestehe der einzige Sinn von Ping – so Claus Pias – „darin, keinen Sinn zu haben, sondern immer nur zu versichern, daß es einen Kanal gibt“. ⁶⁸ Ping vermisst, unter welchen zeitkritischen Bedingungen sich Kommunikation in infrastrukturellen digitalen Netzwerken vollzieht; ebenso detektiert das Ping in der Sonarpraxis die Länge des Kanals zu einem Objekt qua Delay.

Mediengeschichte des Delays

Zur medienhistorischen Analyse steht im Folgenden nicht das Verfügbarmachen von Daten oder Informationen an potenziell mehreren Orten durch medientechnische Sendungen. Problematisiert wird die Temporalität der Übertragung selbst, die für ihren informativen Gehalt entscheidend sein kann. Tatsächlich verhält es sich so, dass die hier behandelten Medien nur bedingt überhaupt Daten übertragen. Vielmehr erweisen sich Daten als *Ergebnis* von Übertragungen, teils der Übertragung von sinnfreien Impulsen oder gar Rauschen – d.h. von Phänomenen, die selbst noch nicht informativ *sind*, sondern durch die Zeitlichkeit ihrer Übertragung sinnhaft *werden* bzw. einen informativen Gehalt *generieren*. Eine grundsätzliche Arbeitsthese dieser Untersuchung lautet, dass der medienwissenschaftlich allenfalls randständig untersuchten Operationalisierung von Signallaufzeiten – Delays – wesentliche kulturelle Wirkmächtigkeit innewohnt. Übertragungen können flüchtige Speicher realisieren, in geomedialer Selbstreferenz aber auch Vermessungen des Raums darstellen, wodurch spezifische Zeit-Raum-Regime ausgeprägt werden. Bereits die historischen Akteure von Radar explizierten diese sonische Indexikalität von Übertragungsraum und Übertragungszeit in ingenieurmäßiger Nüchternheit: „the transmission time taken by a radio pulse to travel over a distance mea-

67 Farman (2018): *Delayed Response*, 5.

68 Pias, Claus (2005): „Die Pflichten des Spielers“, in: Martin Warnke/Wolfgang Coy/Georg Christoph Tholen (Hrsg.), *HyperKult II. Zur Ortsbestimmung analoger und digitaler Medien*, Bielefeld, 313-341, 322.

sure the distance.“⁶⁹ Statt also Übertragungen pauschalisierend zu attestieren, dass sie dem Prinzip folgen, ein ‚Etwas‘ an mehreren Orten verfügbar zu machen, gilt es, von dieser Annahme einen Schritt zurückzutreten. Es gilt, Übertragungen nicht als räumliche Verteilung, sondern mitunter zeiträumliche *Bedingung* von Daten zu verstehen. Im Unterschied zu konventionellen Kommunikationsmedien handelt es sich bei Sensormedien der Laufzeitmessung – wie dem Radar, aber auch dem Sonar oder der Sonographie – nur bedingt um Techniken der Datenübertragung, sondern der Datenproduktion *durch* Übertragung.

Eine Wissenschaftsgeschichte der Geschwindigkeiten von Schall und Licht mag naheliegend sein. Eine Medienkulturgeschichte der intendierten Nutzung von Delays scheint dahingegen abwegig. Was für medienkulturelle Implikationen und alltägliche Relevanzen sollten etwas derart Physikalischem innewohnen? Lichtgeschwindigkeit kann von Menschen nur mit komplexen Apparaturen überhaupt wahrnehmbar gemacht werden; Schallgeschwindigkeit erhören wir höchstens auf weiten Flächen und können daran augenscheinlich lediglich eine empirische Wissensproduktion koppeln, wenn es der Errechnung der Entfernung von Gewitterzentren gilt. Dennoch charakterisiert das Delay, was Jimena Canales der Zehntelsekunde bescheinigt: „in looking more carefully at this moment, it appears strangely constitutive of modernity.“⁷⁰ Wie Canales schreibt, ist es ein schwieriges oder mitunter mehr-zeitliches, heterochrones Unterfangen, Geschichten über Zeitweisen zu schreiben bzw. zeitlichen Phänomenen historiographisch nachzuspüren. Ebenso ist die Eigenzeitlichkeit von Schall und Licht zunächst ein physikalisches Phänomen, das mit der Zeit der Historie nichts gemein hat. Trotz aller Schwierigkeit, Eigenzeitlichkeiten auf Signalebene historiographisch abzubilden, wird diese Arbeit zeigen, wie sich etwas vermeintlich Medienfernes, wie es Schall- und Lichtgeschwindigkeiten sind, in unsere Medienkultur eingeschrieben haben bzw. sogar konstitutiv für diese sind. Insbesondere das abschließende Kapitel dieser Arbeit wird dies verdeutlichen.

Als Phänomen bereits in der Antiken Philosophie virulent und am originären aristotelischen Mediumsbegriff konstitutiv beteiligt,⁷¹ galten akustische Verzögerungen als schwer bis nicht kontrollierbare Größe – vom antiken Theaterarchitekten Vitruv bis hin zur modernen Theaterarchitekturtheorie des Nachhalls um 1800

69 Sitterly, B.W. (1948): „Principles of Loran“, in: John Alvin Pierce/A.A. McKenzie/Richard Horace Woodward (Hrsg.), *The LORAN System* (MIT Radiation Laboratory Series 4), New York, 52-106, 52.

70 Canales (2009): *A Tenth of a Second*, ix.

71 Vgl. Hagen, Wolfgang (2008): „Metaxy. Eine historiosemantische Fußnote zum Medienbegriff“, in: Stefan Münkler/Alexander Roesler (Hrsg.), *Was ist ein Medium?*, Frankfurt a.M., 13-29.

(vgl. Kap. 1). Es dauerte bis zur Mitte des 19. Jahrhunderts und der Einführung von Präzisionsmechanik zur Messung kleinster Zeitteile (vgl. Kap. 2), bis dem Delay als Index jeder Signalübertragung konkrete mathematische Tabellen beiseite gestellt und damit die Geschwindigkeiten von Schall und Licht konkret wurden. Dies bildete die Wissensgrundlage und technische Bedingung, das bis dato als zweckfrei deklarierte oder gar als Störung diskreditierte Laufzeitverhalten von Signalen im Raum produktiv zu nutzen. Dies wurde bereits in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts im Kontext erster Techniken der Echoortung (vgl. Kap. 3) oder passiver Entfernungsmessung (vgl. Kap. 4) praktiziert. Verstärkt in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts materialisierte sich das Delay in Sensormedien, die Umwelten und Körper verdateten: dem Echolot (vgl. Kap. 5), dem Sonar (vgl. Kap. 6), der Sonographie (vgl. Kap. 8) oder dem Radar (vgl. Kap. 9). Zudem materialisierte sich das operationalisierte Zeitverhalten von Signalen im Raum in flüchtigen Speichern früher Computer, s.g. *delay lines* (vgl. Kap. 7), und ersten global operierenden Navigationstechnologien wie dem „Loran“, dem *long range navigation*. Bis 1950 waren diese in ihrer Frühform entwickelt und weisen ein spezifisches Charakteristikum unserer modernen Medienkultur auf: Sie agieren in und mit Mikrozeitlichkeiten, die technische sowie epistemische Bedingung der digital vernetzten Welt sind. Zudem entfalten diese bis 1950 entwickelten Medien noch heute ubiquitäre Wirkmächtigkeit – von der sonischen Durchmusterung menschlicher Körper durch die Sonographie bis hin zur Kontrolle und Logistik des globalen See- und Luftraums durch Radar. Gerade dieses von der Medienwissenschaft vernachlässigte Radar ist entschieden an der Erforschung und Realisierung so brisanter Momente unserer Medienkultur wie Displays, Timing Circuitries, Pulse-Code-Modulation, Computergraphiken und Medien der Bildschirmadressierung beteiligt (vgl. Kap. 9). Und schließlich evozierte Radardenken – so die eminente Schlussthese dieses Buchs – nichts weniger als das, was heute unter dem Begriff des Digitalen zirkuliert.

Diese Arbeit widmet sich mithin nicht der Geschichte eines Mediums, sondern dem divergenten Medienwerden⁷² eines physikalischen Phänomens. Gemäß der Methodik der Akteur-Netzwerk-Theorie des *follow the actor*, begeben sich auf die medienhistorischen Pfade des Delays selbst. Dabei werde ich auf die unterschiedlichen Bereiche fokussieren, in denen sich Verzögerung als kritischer Para-

72 Mit diesem Begriff referiere ich *nicht* auf das „Medien-Werden“, von dem Joseph Vogl schrieb (2001): „Medien-Werden: Galileis Fernrohr“, in: Lorenz Engell/Joseph Vogl (Hrsg.), *Mediale Historiographien*, Weimar, 115-124. Bei Vogl ist es ein bereits artefaktisch verfügbares Instrument – ein Fernrohr –, welches durch seinen Gebrauch vermeintlich zum Medium wird. Ich bezeichne mit dem Medienwerden die Materialisierung, mithin ‚Dinglichwerdung‘ des Wissens um Verzögerung als einem „epistemischen Ding“ im Sinne Jörg Rheinbergers.

meter funktional erwies, Akzeptanz generierte und materielle Spuren hinterließ. In diesem Sinn setzt die Arbeit nur bedingt an historischen Situationen an, in welchen sich die Medien des Delays bereits als Massenmedien stabilisieren konnten. Das Erkenntnisinteresse gilt ihrer Frühphase, in der ihre Zukünfte noch ungewiss erschienen. Die Laufzeit von Impulsen und Signalen als Basis für Entfernungsmessung zu verwenden, scheint heutzutage so naheliegend und vertraut, dass es lohnt, dieses Siegel der Vertrautheit zu durchbrechen und an das daran hinsichtlich einer Kulturgeschichte der Akustik, aber vor allem an das medienwissenschaftlich Revolutionäre zu erinnern.

Grundlegend muss festgehalten werden, dass Wissen, Praktiken und Techniken des Delays genuin neuzeitlich sind. Schon die Existenz konkret adressierbarer Signalgeschwindigkeiten galt historisch als keineswegs gesichert. Noch der Universalgelehrte Athanasius Kircher bezweifelte die Experimentalpraktiken von Marin Mersenne, die der Angabe spezifischer Schallgeschwindigkeiten galten.⁷³ Dass sich der Diskurs um die Geschwindigkeiten von Schall und Licht bis zur antiken Wahrnehmungsphilosophie zurückverfolgen ließe und als Wissen der Wissenschaft – namentlich der theoretischen und der Experimentalphysik – bereits vor dem Beginn dieses Untersuchungszeitraums akut wurde, darf nicht darüber hinwegtäuschen, dass die Mediengeschichte des Delays um 1850 beginnt. Denn zur Mitte des 19. Jahrhunderts brach eine Hochzeit der Messung von Signalgeschwindigkeiten an. Nachdem Jean-Daniel Colladon und Charles-François Sturm bereits 1826 die Schallgeschwindigkeit im Wasser experimentell bestimmten, konkretisierten Hippolyte Fizeau und Eugène Gounelle 1850 die Geschwindigkeit von Elektrizität in Kupfer- und Eisendrähten,⁷⁴ nachdem ersterer 1849 die s.g. Zahnradmethode zur Messung der Lichtgeschwindigkeit entwickelte. 1850 maß Léon Foucault die Lichtgeschwindigkeit mit der s.g. Drehspiegelmethode und ebenfalls 1850 maß Hermann von Helmholtz zum ersten Mal die Laufzeit von Impulsen in Nerven.⁷⁵ Auch in den 1850er Jahren untersuchte Michael Faraday die Signalge-

73 Kircher, Athanasius (1983 [1684]): *Neue Hall- und Thonkunst* [Kurztitel], Hannover, 10. Dort schrieb er: „Ich habhs mit der Stimm / mit Trompeten / mit Schieß-Rohren / in einerley Ort probiert / und hab befunden / daß je stärker und häfftiger der Thon oder Hall ist / je geschwinder und schneller er auch zurück prollert (...) Also daß mich sehr wundert / was doch der gute Mersennus müsse gedacht haben / daß Er vorgegeben / daß der Thon oder Hall aus einerley Ort / immerzu einerley und gleiche Geschwindigkeit und Schnelle halte.“

74 Fizeau, Hippolyte L./Gounelle, Eugène (1850): „Untersuchungen über die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Elektrizität“, in: *Polytechnisches Journal* 117, 125-128.

75 von Helmholtz, Hermann (1850): „Messungen über den zeitlichen Verlauf der Zuckung animalischer Muskeln und die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Reizung in den Nerven“, in: *Archiv für Anatomie, Physiologie und wissenschaftliche Medizin* 27, 276-364.

schwindigkeit in Langstreckenkabeln.⁷⁶ Ebenfalls um 1850 stellten Guillaume Wertheim oder William Rankine erste umfassende Versuche an, die Schallgeschwindigkeit in verschiedenen Flüssigkeiten zu konkretisieren.⁷⁷ Ebenso 1850 maßen Wertheim und Breguet die Geschwindigkeit des Schalls in über 4 Kilometer langen Telegraphendrähten und publizierten 1853 über diese.⁷⁸

In einer historisch-epistemologisch informierten Rückschau waren es die für diese Messungen konstruierten Experimentalanordnung, welche die apparative Grundlage darstellten, die nunmehr hinreichend konkretisierten Laufzeiten von Schall und Licht nachfolgend zu anderen Zwecken zu verwenden: nicht mehr für die Messung vormals unbekannter Signalgeschwindigkeiten, sondern zur Vermessung von Räumen auf sonischer Basis (vgl. insb. Kap. 3). Gab sich die Geschwindigkeit des Schalls um 1800 in Theaterhäusern als auditive Störung zu hören (vgl. Kap. 1), waren es erste passive und aktive akustische Distanzmesser seit den 1870er Jahren (vgl. Kap. 4), die Delay in eine produktive Strategie der Vermessung des Georaums wendeten. Einmal mehr zeigt sich hier einerseits die Relativität von Botschaft und Störung, andererseits das sinnstiftende Potenzial von Störungen für neue Ordnungen.⁷⁹

Zugänge

Meine *entry points* in die Mediengeschichte des Delays sind Fallgeschichten. Diese Form des Zugangs auf Basis kurzer Szenen nimmt von einer makrohistorischen Modellierung des Sachverhalts Abstand: Sie fokussiert auf konkrete Situationen, Räume und Experimentalanordnungen, auf deren Basis in den einzelnen Kapiteln die in diesen enthaltenen wesentlichen Implikationen extrahiert werden. D.h. es werden im Nachgang situierter Beschreibungen jene Situationen – sowohl räumlich als historisch – verlassen, um an die einzelnen Fallgeschichten größere medizinwissenschaftliche Argumentationen zu knüpfen. Die Zugänge zum historischen

76 Vgl. z.B. Faraday, Michael (1854): „On Electric Induction. Associated Cases of Current and Static Effects“, in: *Notices of the Proceedings at the Meetings of the Members of the Royal Institution with Abstracts of the Discourses Delivered at the Evening Meetings* 1, 345-355.

77 Wertheim, Guillaume (1848): „Mémoire sur la vitesse du son dans les liquides“, in: *Annales de Chemie et de Physique* 23, 434-475; Rankine, William J.M. (1851): „On the Velocity of Sound in Liquids and Solid Bodies of limited Dimensions“, in: *Cambridge and Dublin Mathematical Journal* 6, 238-267. Einen historischen Überblick hierüber gibt Dörsing, Karl (1908): *Über die Geschwindigkeit des Schalles in Flüssigkeiten*, Bonn.

78 Wertheim, H.H./Breguet (1853): „Versuche über die Geschwindigkeit des Schalls in Eisen“, in: *Annalen der Physik und Chemie, Ergänzungsband III* (nach Band 87), 157-159.

79 Zur Produktivität der Störung vgl. Kümmel, Albert/Schüttelpelz, Erhard (2003) (Hrsg.), *Signale der Störung*, München.

Feld stellen nicht meine Priorisierung historischer Momentaufnahmen dar, sondern sie markieren epistemologisch relevante Schwellenmomente bzw. Passagepunkte in der Mediengeschichte des Delays. Auch wenn die Verschaltung von Delay in technischen Apparaturen der Detektion, Lokalisation, Navigation oder Speicherung aus der medienhistorischen Retrospektive einer teleologischen Bewegung hin zur Verzeitlichung von Räumen und Körpern gleichkommen mag, hatte sich die Produktivität von Signallaufzeiten als Index des Raums erst zu beweisen – gegeben war sie nicht. Ebenso wie Ethnograph:innen beschreiben und analysieren, was ihr Feld ihnen zeigt, zeigt sich in der Suchbewegung im historischen Feld bei einem *follow the delay* sein Sichtbarwerden an unterschiedlichen Schauplätzen.

Richtet sich der analytische Blick von Daniel Gethmann und Florian Sprenger in ihrer *Kleinen Mediengeschichte der Übertragung* von der Verbindung zwischen Akteuren auf Verbindung als Akteur,⁸⁰ so verstehe ich im Sinne der Akteur-Netzwerk-Theorie (ANT) Delay ebenso als zentralen Akteur einer eigenen Mediengeschichte. Wie es die programmatischen Texte der ANT zeigen, ist Kultur kein Resultat von allein menschlichen Subjekten als Trägern von Handlungsmacht. Auch nicht-menschliche Dinge können handlungsmächtig werden – eine These, die nicht erst vor dem Hintergrund algorithmisch semi-autonomer Entscheidungsfindung in digitalen Netzwerken dringlich wird, sondern bereits für vermeintlich unscheinbare Dinge wie Geschwindigkeitsspoller, Brücken oder ‚streikende‘ Türschließer gelten durfte. Allerdings sind im Sinne der ANT nicht-menschliche Akteure noch immer materiell fassbar. Wenn ich Delay als Akteur identifiziere und seine Handlungsmächtigkeit auf Basis von Fallgeschichten darlege, ist dahingegen zunächst ein flüchtiges Phänomen bezeichnet. Mithin handelt es sich um einen Akteur, der geringere Materialität aufweist als bspw. Sicherheitsgurte,⁸¹ Schlüsselanhänger⁸² oder ‚Berliner Schlüssel‘,⁸³ um kanonische Beispiele der ANT zu nennen. Erst im Gefüge technischer Operationalisierung erhielt Delay apparative Gestalten bzw. wurde dieser flüchtige Akteur erst im Setting medientechnischer Experimentalanordnungen und Medien zur Sichtbarkeit *gebracht* – sei es durch Photographien (vgl. Kap. 5), auf mechanischen Interfaces (vgl. Kap. 4), auf elektrotechnischen Displays (vgl. Kap. 9) oder als chronographische Zeitschrift (vgl. Kap. 2). Die Un-

80 Gethmann, Daniel/Sprenger, Florian (2014): *Die Enden des Kabels. Kleine Mediengeschichte der Übertragung*, Berlin, insb. 7ff.

81 Latour, Bruno (1996): „Das Dilemma eines Sicherheitsgurts“, in: ders.: *Der Berliner Schlüssel: Erkundungen eines Liebhabers der Wissenschaften*, übers. v. Gustav Rossler, Berlin, 28-36.

82 Latour, Bruno (1996): „Das moralische Gewicht eines Schlüsselanhängers“, in: ebd., 53-61.

83 Latour, Bruno (1996): „Der Berliner Schlüssel“, in: ebd., 37-51.

tersuchung verfolgt das Delay als flüchtigen nicht-menschlichen Akteur dabei durch unterschiedliche Kontexte: Architektur, Physiologie, Militär und Krieg, Hydrographie, Rohrpost, Speichertechnik, Audioästhetik und Medizin. Die Auswahl dieser Kontexte erfolgte nicht künstlich, sondern ist selbst Effekt der Mediengeschichte des Delays: Wo Signallaufzeiten technisch operationalisiert wurden, d.h. wo Delay als handlungsfähiger Akteur hervortrat und apparative Spuren und Wissen – oder zumindest Daten – hinterließ, die für aktuelle Medienkulturen eine nicht unwesentliche Relevanz innehaben, setzt je eine Vignette⁸⁴ an.

Die Fallgeschichten dürfen methodisch nicht mit einer medienarchäologisch intendierten ‚Vermenschlichung‘ von Medienarchäologie selbst verwechselt werden, als eine Reaktion auf Friedrich Kittler, für den Menschen überhaupt nur als „sogenannte“ zählten und in „Physiologie und Nachrichtentechnik“ zerfielen.⁸⁵ Vielmehr wird mit dieser Form des Zugangs neben dem harten Medientechnischen auch das Situative, das Soziale, das Zufällige und Störende, mithin die menschliche Komponente medientechnischer Entwicklungen betont. Damit ist Mediengeschichte im Kontext dieser Arbeit eine irreduzible medienanthropologische⁸⁶ und -praxeologische Dimension eingeschrieben. Verfolgt man das Medienwerden des Akteurs Delay, trifft man unweigerlich auf Menschen. Und man lernt mehr über die Medien des Delays durch diese Menschen, als es eine reine Fokussierung auf ihre Technizität zuließe. Tatsächlich verhält es sich so, dass die Medien- und Datenpraktiken des Delays mehr über die historische Technizität der Objekte aussagt als eine pure Artefaktanalyse. Ähnlich fasste es Bruno Latour: Wer Soziologie betreibt, findet sich in den Techniken der Kulturen wieder und umgekehrt, wer nach der Technizität kultureller Objekte fragt, findet sich mit Menschen konfrontiert.⁸⁷

Demgemäß versucht diese Arbeit, einerseits einem Technik- als auch einem Sozialdeterminismus zu entgehen. Andererseits werden so in der Behandlung des Delays als Akteur (in) der Wissens-, Wissenschafts-, Technik- und Medienkulturgeschichte relationale Verbindungslinien zwischen verschiedenen Entwicklungen

84 In der Literatur bezeichnen Vignetten kurze Texte, die quasi Situationsbeschreibungen sind, d.h. eine Person, einen Ort oder eine Idee behandeln – oder hier: eine Experimentalanordnung, einen Vortrag oder eine Situation zum Ausgangspunkt nehmen. Ich benutze die Begriffe Vignette und Fallgeschichte synonym.

85 Kittler, Friedrich (1986): *Grammophon Film Typewriter*, Berlin, 29.

86 Als ein Vorbild für solch eine Wendung von der Mediengeschichte hin zu einer Medienpraxisgeschichte gilt mir die programmatische Forderung einer „medienanthropologischen Kehre“ von Schüttpelz, Erhard (2006): „Die medienanthropologische Kehre der Kulturtechniken“, in: *Archiv für Mediengeschichte* 6, 87-110.

87 Vgl. grundlegend die Argumentation Latours in den hier versammelten Aufsätzen: Latour (1996): *Der Berliner Schlüssel*, Berlin.

vermeintlich disparater Einzelmedien sichtbar. Es werden verschiedene Medien über das Delay aufeinander beziehbar, da dem Akteur auf seiner historischen, epistemischen und diskursüberschreitenden Zirkulation gefolgt wird. Damit gilt, was Latour dem Verhältnis von Dingen und Menschen, Sozialität und Materialität bescheinigte, ebenso für die analytische Suchbewegung dieser Arbeit: „Zirkulationen, Wege, Übertragungen, Übersetzungen, Verschiebungen, Kristallisationen – sehr viele Bewegungen, gewiß, doch keine einzige davon dürfte einem Widerspruch ähneln.“⁸⁸

Die Form des Zugangs via Fallgeschichten wurde zudem gewählt, da sie erlaubt, einen ansonsten im besten Fall methodischen Spagat einzulösen. Konkret handelt es sich um die Verbindung von soziologisch orientierter *historischer Praxeologie* und epistemologisch fundierter *Medienarchäologie*. Diesen beiden Methodiken ist oft bescheinigt worden, dass sie sich zueinander diametral verhielten bzw. wurden – und werden – sie als einander inkompatibel und divergente Pole des medienwissenschaftlichen Feldes angesehen, wie es Henning Schmidgen oder Hartmut Winkler betonen.⁸⁹ Für mein Erkenntnisinteresse war ihre Kombination essenziell. Denn ist es nicht so, dass sie einander nicht nur komplementieren, sondern bedingen? Im Sinne einer von Gilbert Simondon inspirierten techniknahen Medienwissenschaft, die dennoch die situierten Kontexte, Räume und Akteure heterogener und historisch disparater Techniknutzung mitzureflectieren imstande ist, kombiniert diese Arbeit Medienpraxeologie und -archäologie und nimmt eine Mittelposition ein, von welcher aus in einem ‚analytischen Schwingkreis‘ auf Medien und Praktiken fokussiert wird.⁹⁰ Einerseits kann so die Eigenlogik technischer Medien abgebildet werden, die mit medienanthropologischen Erklärungsmodellen

88 Ebd., 38.

89 Vgl. Schmidgen, Henning (2001): „Der Psychologe der Maschinen. Über Gilbert Simondon und zwei Theorien technischer Objekte“, in: Christiane Kraft Alsop (Hrsg.), *Grenzgängerin/Bridges between Disciplines: Festschrift für Irmgard Staeuble*, Heidelberg/Kröning, 265-287; oder Winkler, Hartmut (1999): „Die prekäre Rolle der Technik. Technikzentrierte versus ‚anthropologische‘ Mediengeschichtsschreibung“, in: Claus Pias (Hrsg.), *[me]diäni. dreizehn vorträge zur medienkultur*, Weimar, 221-238.

90 Hierzu ausführlicher Borbach, Christoph (2020): „Epistemologisches Reverse Engineering. Oder: Über Techniktheorie(n), Gilbert Simondon und das Echolot“, in: Eckhard Geitz/Christian Vater/Silke Zimmer-Merkle (Hrsg.), *Black Boxes – Versiegelungskontexte und Öffnungsversuche. Interdisziplinäre Perspektiven*, Berlin et al., 227-252. Simondon fokussierte erst auf Basis fundierter Expertise technischer Objekte auf deren Situierung im Feld. Er könnte daher als Vordenker dessen gelten, was sich verstärkt seit den 2000er Jahren unter Begriffen wie *New Materialism*, *Material Turn*, *Thing Theory* oder *Neo-Materialismus* subsumiert. Diese Ansätze eint, dass sie die Materialitäten von Kulturen betonen, aber statt von Dichotomien auszugehen, vielmehr synthetisierend die Wechselwirkungen zwischen Technik und Praxis reflektieren.

nicht hinreichend erfasst werden kann; andererseits sagt die historische Praxis mitunter mehr über die untersuchten Apparaturen aus als Blockschaltbilder. Die Synthese beider Perspektiven war erforderlich: Nur mit Kenntnis der bspw. radar-technischen Situation Anfang der 1940er Jahre konturiert sich deutlich, warum wie mit dem technischen Gerät interagiert wurde und welche Datenpraktiken und Infrastrukturen es evozierte. Es ist die Analyse von Operationsketten, d.h. eine Dezentrierung des technischen Objekts zugunsten seiner Verwendung, welche zu einem umfassenden, nicht nur historischen Verständnis der fokussierten Medien verhilft; ebenso sind es die Funktionsschemata technischer Medien, die Operationsketten wiederum präfigurieren.

Bereits 1965 betonte der US-amerikanische Geschichtsphilosoph und Kunstkritiker Arthur Danto den Wert von *stories* im Gegensatz zu den seinerzeit oftmals anzutreffenden *histories* mit universellem Anspruch.⁹¹ Er kritisierte, diese verschweigen ihre eigene Künstlichkeit und stilisierten sich als objektiv, wohingegen sich Geschichte vielmehr als subjektives Konstrukt und Konstruktion – namentlich von Historiker:innen – erweise. Einen ähnlichen Ansatz verfolgte 2019 Markus Vinzent in *Writing the History of Early Christianity*, in welchem er den Begriff der Retrospektion als Historiographie-kritische Methode entwickelte, um auf den subjektiven Gehalt von Geschichtsschreibung abzielen. Damit bewegte er sich weg vom Phantasma einer objektiven Beweisführung hin zum Einbezug von Historiker:innen als Subjekten ihrer eigenen Geschichten.⁹² In süffisanter Umkehrung einer u.a. von Roland Barthes vertretenen These, ließe sich anhand dieser beiden Beispiele exemplarisch die Geburt des Autors im historiographischen Diskurs attestieren. Dem trägt auch diese Arbeit Rechnung. Es ist weder Anliegen ‚die‘ noch ‚eine‘ Mediengeschichte des Delays zu schreiben – unter potenziell unendlich vielen möglichen. Das Erkenntnisinteresse wird auf Basis retrospektiver Fallgeschichten modelliert, die Individualitäten und Singularitäten würdigen und dennoch repräsentativ für größere Zusammenhänge und Genealogien entstehen. Dadurch wird Mediengeschichte buchstäblich pluralisiert und zuvorderst auch die Konstruiertheit dieser Arbeit strukturell abgebildet.⁹³

91 Danto, Arthur C. (1965): *Analytic Philosophy of History*, Cambridge. Zur poststrukturalistischen Kritik an der Geschichtsschreibung, die auf Darstellungsebene mit ihrem Untersuchungsgegenstand zusammenfalle, da dieser erst durch den Akt der Geschichtsschreibung hervortrete, siehe auch Foucault, Michel (1987 [1971]): „Nietzsche, die Genealogie, die Historie“, in: ders.: *Von der Subversion des Wissens*, Frankfurt a.M., 69-90.

92 Vinzent, Markus (2019): *Writing the History of Early Christianity: From Reception to Retrospection*, Cambridge.

93 Ähnliches Anliegen verfolgte Wolf-Rüdiger Wagner in Bezug auf das 19. Jahrhundert, vgl. (2021): *Die Entstehung der Mediengesellschaft. 100 Mediengeschichten aus dem 19. Jahrhundert*, Bielefeld.

Nur auf den ersten Blick mag dies konträr zu einer medienarchäologisch materialitätsaffinen Mediengeschichtsschreibung stehen, deren Erkenntnisinteresse und Schreibmethodik eher dem Zählen statt Er-Zählen verpflichtet ist.⁹⁴ Die Fallgeschichten tragen zwar dem Individuellen und Singulären der ausgewählten Situationen Rechnung, erlauben es aber auf signifikante *Umbruchmomente* zu fokussieren. Diesen ist zwar ein historischer Index eingeschrieben, sie gehen aber über die rein historischen Assemblagen von Wissen, Techniken und Praktiken hinaus. Außerdem erlaubt diese strukturelle Modellierung, von chronologisch vollständigen Einzelmediengeschichten abzusehen. Der daraus resultierende Vorteil besteht darin, dass die Fallgeschichten zwar bei konkreten Menschen, Architekturen oder Experimentalanordnungen ansetzen können, sich aber gerade *nicht* auf diese beschränken brauchen. Damit ist nicht behauptet, dass die einzelnen Vignetten die Begründung jeweils spezifischer Medien darstellen; bspw. unterscheidet sich die heute etablierte Sonographie sehr von den Apparaturen, denen sich das Sonographie-Kapitel widmet (vgl. Kap. 8). Jedoch wird in jenem Kapitel – wie in anderen Kapiteln für andere Medien – auf die grundlegende Akzeptanz der medientechnischen Bedingung fokussiert: Erstens etablierte sich im historischen Kontext die Erkenntnis, wie das Kapitel zeigen wird, dass Ultraschall ein geeignetes diagnostisches statt therapeutisches Mittel der Medizin darstellen kann. Und zweitens setzte sich die Überzeugung durch, dass es produktiv sei, Signallaufzeit als kritischen Parameter in eine Messanordnung zu integrieren.

Von Interesse ist das auch aus Perspektive der wissenshistorisch orientierten Sound Studies. Diese Arbeit verhandelt das Sonische nicht vor dem Fluchtpunkt (s)einer Ästhetik: Sie widmet sich nicht etwa Soundscapes des Urbanen oder des Maritimen, nicht einer Kulturgeschichte des Hörens oder funktionaler Klänge. Sie fragt nach *Operationalisierungen* von Signalen, nämlich hinsichtlich ihres zeit-räumlichen Verhaltens. Eine ähnliche Perspektivierung schwingungsförmiger Ereignisse als zeit- und raumbasierte Phänomene nehmen Rolf Großmann und Maria Hanáček ein.⁹⁵ Das Sonische meint in diesem Sinne ein Zurückschreiten von der Inhaltsdimension schwingungsförmiger Ereignisse hin zu ihrem materialen Substrat, um ein Verständnis von Schwingungen an und für sich zu entwickeln, unabhängig von ihrer Bedeutung.⁹⁶ Dieser „sonic materialism“, in den Worten von

94 Vgl. Ernst, Wolfgang (2013): „Zählen statt Erzählen“, in: ders.: *Signale aus der Vergangenheit*, 173-192.

95 Großmann, Rolf/Maria, Hanáček (2016): „Sound as Musical Material. Three Approaches to a Material Perspective on Sound and Music“, in: Jens Papenburg/Holger Schulze (Hrsg.), *Sound as Popular Culture. A Research Companion*, Cambridge, MA, 53-64.

96 Vgl. hierzu auch Ernst, Wolfgang (2008): „Zum Begriff des Sonischen“, https://edoc.hu-berlin.de/bitstream/handle/18452/21055/pst10_ernst.pdf, 28.12.2022.

Christoph Cox,⁹⁷ bzw. diese Fokussierung von „vibrational forces“, im Sinne Steve Goodmans,⁹⁸ geht einher mit einer Hinwendung zu physikalischen Aspekten des Sonischen. Diese Arbeit kann demgemäß als Versuch einer praxeologisch beeinflussten Medienarchäologie verstanden werden, die sich einem Ausschnitt der gemeinsam geteilten Wissens-, Praxis-, Medienkultur- und Technikgeschichte der Verzögerung widmet, mithin einem Aspekt einer noch ausstehenden Epistemologie der Übertragung.

Die hier versammelten ‚histories‘ müssen sich der Kritik stellen, dass sie weitgehend ‚his-stories‘ sind. Sie führen nicht nur eine tendenziell westliche, sondern ebenso männlich dominierte Geschichtsschreibung fort. Diese Arbeit basiert auf Primär- und Sekundärquellen und dies ist zum großen Teil eben jenen Quellen geschuldet. Diese stehen repräsentativ für eine Wissenschaftsgeschichte, die nicht-männlichen Akteuren konsequent und systematisch den Zugang zum Diskurs und seinen Archiven verschloss. Die historische Arbeit von Protagonistinnen sichtbar zu machen, ist ein generelles Problem der Wissens-, Wissenschafts-, Medien- und Technikgeschichte. Die Pionierarbeit nicht-männlicher Forschender erfuhr selten eine Dokumentation und eine historiographische Revision männlicher Erfindungsgeschichten auf Basis von Oral History ist – wie im Fall der vorliegenden Arbeit – oft nicht möglich.⁹⁹ Um dem *gender bias* historischer Wissenschafts- und Technikzeitschriften zu begegnen, basiert diese Studie auf einem Quellenfundus, der über männlich dominierte Wissenschafts- und Technikquellen hinausgeht.

Struktur

Signallaufzeiten sind flüchtig und unsichtbar. Im Unterschied zu anderen Medien Geschichten geht für diese Arbeit, ähnlich wie im Fall von Jimena Canales’ *A Tenth of a Second*,¹⁰⁰ die Problematik einher, dass nicht etwas ‚da‘ ist, das historisch rekonstruiert und dessen Wegen historiographisch nachgespürt werden kann – sei dies ein Film, ein Buch, ein Radio, eine Autorin, ein Designer, eine App, eine Infra-

97 Cox, Christoph (2011): „Beyond Representation and Signification: Toward a Sonic Materialism“, in: *Journal of Visual Culture* 10(2), 145-161.

98 Goodman, Steve (2010): *Sonic Warfare: Sound, Affect, and the Ecology of Fear*, Cambridge, MA, bspw. xv.

99 Hierzu grundlegend Wajcman, Judy (2000): „Reflections on Gender and Technology Studies: In What State is the Art?“, in: *Social Studies of Science* 30(3), 447-464; Lerman, Nina/Mohun, Arwenand/Oldenziel, Ruth (2003) (Hrsg.), *Gender & Technology: A Reader*, Baltimore; Oldenziel, Ruth (1999): *Making Technology Masculine: Men, Women, and Modern Machines in America, 1870-1945*, Amsterdam.

100 Canales (2009): *A Tenth of a Second*.

struktur. Ein solches Unsichtbarkeitsproblem stellte sich ebenso Tung-Hui Hus Vorgeschichte der Cloud, wie er schrieb: „To make a book about something as formless as the cloud is inherently a quixotic objective.“¹⁰¹ Wie schreibt man also, im vorliegenden Fall, Mediengeschichten des Delays?

Delays kann man weder sehen, anfassen, fühlen oder schmecken. In manchen Fällen kann man sie hören. In jedem Fall aber kann man sie messen. Und diesbezüglich zeigt sich, dass zunächst Experimentalanordnungen, später mechanische Apparaturen und komplexe elektronische und technologische Arrangements gebaut wurden, genau dies zu tun: Signallaufzeiten datafizieren. Für Delays darf mithin gelten, was Hartmut Böhme mit dem Begriff des „An-Ästhetischen“ benannte: Sie sind den menschlichen Sinnen selten zugänglich, können aber durch mediale Darstellung und Experimentalsysteme beobachtbar *gemacht werden*.¹⁰² Zu diesem Zweck wurden *um das Delay herum* ganze Arsenale technischer Objekte entwickelt, um unsichtbare Signallaufzeiten in Sichtbarkeiten zu übersetzen, Delays in Messdaten zu überführen und auf deren Basis wiederum Antworten auf dringliche Fragen zu geben. Eben jene Messanordnungen, analogen Apparaturen und schließlich elektronischen Medien sind keineswegs unsichtbar – und sie haben weitreichende medienkulturelle Implikationen. Im Fokus jeder Fallgeschichte steht daher mindestens eine solche Experimentalanordnung oder Apparatur bzw. ein Medium.

Im Folgenden will ich kurze Abstracts der Fallgeschichten liefern, um die argumentative Struktur der Arbeit kondensiert abzubilden.

Prelude. Ein Akteur betritt die Bühne. Vor ihrer Operationalisierung galten Delays, wenn sie überhaupt sinnlich erfahrbar waren, als Störungen. In Anlehnung an Bernhard Siegert – für den das Rauschen den „Anfang der Medientheorie, jeder Medientheorie“ darstellt¹⁰³ – ließe sich formulieren, dass die Störung ebenso der ‚Anfang der Mediengeschichte, jeder Mediengeschichte‘ ist. Daher beginnt diese Untersuchung beim Delay als Störung, die sich in Theaterarchitekturen zu hören gab. Die frühen Arbeiten zur Akustizität theatraler Architekturen, die im ausgehenden 18. Jahrhundert aufgrund praktischer Anwendungen entstanden, berührten allesamt Überlegungen über den Zusammenhang von Schallausbreitung und Innenarchitektur; über die Beeinflussung der Schalllaufzeit durch architektonische

101 Hu, Tung-Hui (2015): *A Prehistory of the Cloud*, Cambridge, MA/London, xxv.

102 Böhme, Hartmut (2004): „Das Unsichtbare. Mediengeschichtliche Annäherungen an ein Problem neuzeitlicher Wissenschaft“, in: Sybille Krämer (Hrsg.), *Performativität und Medialität*, München, 215-245.

103 Siegert, Bernhard (2007): „Die Geburt der Literatur aus dem Rauschen der Kanäle. Zur Poetik der phatischen Funktion“, in: Michael Franz/Wolfgang Schäffner/Bernhard Siegert/Robert Stockhammer (Hrsg.), *Electric Laokoon. Zeichen und Medien, von der Lochkarte zur Grammatologie*, Berlin, 5-41, 7.

Formatierungen; oder über das Anbringen schallabsorbierender Materialien an den Innenwänden von Gebäuden. Sämtliche theaterarchitekturtheoretische Schriften, die hierfür konsultiert wurden, eint, dass sie innenakustische Delays zu kontrollieren und manipulieren suchten. Damit stand der theatrale und konzertante Zuschauer:innen-Raum zur Disposition – und zwar nicht evoziert durch Fragen visueller Ästhetik, sondern als Effekt der Laufzeit der Akustik. Man wurde sich bewusst, dass nicht allein durch Schauspieler:innen-Münder verkündete Theatertexte, sondern zuallererst der architektonische Theaterraum selbst gehört wurde. Ein wesentlicher diskursiver und performativer Raum der Entstehung akustischen Wissens des Delays – der ebenso die komplexen Raumwirkungen von Akustik mitunter buchstäblich reflektierte – ist dementsprechend das Theater. Genauer: es waren Architekten, die die akustischen Eigenschaften der Orte ihres Schaffens empirisch und theoretisch zu klären und zu verbessern suchten. Ausgehend von den Arbeiten von Carl Gotthard Langhans und mit einem Fokus auf die Arbeiten seines Sohns, Carl Ferdinand Langhans, widmet sich das Kapitel der aufkommenden Relevanz des Delays jenseits eines elitären Zirkels von Wissenschaftler:innen. In diesem Kontext auditiver Verzögerungen erlangten diese eine ästhetische und zudem immanent soziopolitische Signifikanz: Delay als Akteur betrat die buchstäbliche Bühne und bekam eine Handlungsmacht im Kontext theatraler Übertragungen im architektonischen Rahmen von Innenräumen zugesprochen. Von besonderer Bedeutung ist das *Prelude*, weil das Delay im architektonischen wie diskursiven Theaterraum erstmals eine tendenziell gesamtgesellschaftliche und kulturelle Relevanz erhielt. Von den praktizierenden Architekten wurde dabei eine geometrische, aber keine chronometrische Formalisierung des Delays vorgenommen. Daher handelt es sich bei dieser Vignette um ein Vorspiel. Da keine apparativen Messtechniken in diesem Kontext entwickelt wurden, ändert sich im Folgenden der begründende Schauplatz für die Medien des Delays: Es wird auf ausgewählte elektro-physiologische Experimente von Hermann von Helmholtz fokussiert.

Chronogrammatologie. Die historische Rahmung dieser Untersuchung setzt um 1850 an, weil dies eine erste Hochzeit der Messung der Signalgeschwindigkeiten von Schall und Licht markierte. Dies ging mit einer Konjunktur apparativer Experimentaltechniken einher. Der Fokus liegt auf Hermann von Helmholtz, der allerdings gerade nicht die Geschwindigkeit von Schall oder Licht experimentell zu bestimmen suchte, sondern sich einem Delay biologischer Körper widmete: der Nervenleitgeschwindigkeit. Von besonderem Interesse und maßgeblich für seinerzeit künftige Techniken des operationalisierten Delays ist dies, weil Helmholtz komplexe Anordnungen zur Bestimmung kleinster Zeiteile elaborierte bzw. die seinerzeit bestehenden Verfahren für seine Zwecke adaptierte und verbesserte. Eben jene Messtechniken sollten richtungsweisend für die hier untersuchten Me-

dien werden. Sie operierten mikrotemporal, basierten auf Visualisierungen, waren grundsätzlich technisierte Verfahren der Zeitmessung und stehen programmatisch für die zeitliche Bestimmung räumlicher Übertragungsvorgänge ein. Supplimentiert wird die Vignette von einer kursorischen wissens- und technikhistorischen Exkursion durch chronographische Techniken der Erzeugung temporaler Referenz, um Messungen und mithin ‚Zeichen der Zeit‘ überhaupt in Daten überführen zu können. Das Kapitel versteht sich als eine Vorgeschichte der ersten Apparatur der technisierten, semi-automatisierten Echoortung (vgl. Kap. 3). Denn um diese Apparatur technikhistorisch, medienarchäologisch und epistemologisch zu verorten, sind exakt diese s.g. chronographischen Selbstschreibapparaturen zu fokussieren, wie sie Helmholtz paradigmatisch für sein Erkenntnisinteresse nutzte. Wie zu zeigen sein wird, durchliefen chronographisch operierende Apparaturen, die räumliche Distanzen sonisch vermaßen, vorher Diskurse, die ihnen augenscheinlich nicht innewohnen: Meteorologie, Ballistik und Elektrophysiologie.

Echoortung. Der genealogische Ursprung eines medialen Prinzips. Woher kann ich die Position eines Dings im Raum wissen, das ich weder sehen oder hören kann? Im Kontext der Rohrpost sollte diese Frage apparativ durch ein erstes elektrotechnisches Verfahren der aktiven Lokalisierung beantwortet werden. Bezeichnend ist, dass dieses zugleich die historisch erste Apparatur der Echoortung materialisierte. Echoortung emergierte mithin nicht im militärischen Feld, sondern im zivilen Umfeld von Kommunikationstechnik. Eine epistemologische Genealogie der Vermessung von Räumen auf Basis von Signallaufzeiten, wie sie sich im heutigen NAVSTAR GPS fort schreibt, findet ihren apparativen Ausgangspunkt hier: in der Pariser Rohrpost der 1870er Jahre. Im Sinne einer Wissensgeschichte der Akustik ist diese Frühphase der apparativen Echoortung brisant, da die zu schildernden Apparaturen erste epistemische Objekte sind, die das Wissen um Verzögerung als Wissensfigur des Sonischen aktivierten. Damit hielt Verzögerung als basale Raumfigur der Akustik nach ihrer messtechnischen Konkretisierung zum historisch ersten Mal als Mittel zum Zweck der messtechnischen Bestimmung von Entfernungen her. Tatsächlich invertierte das erste technische aktive Ortungsverfahren schlicht eine Experimentalanordnung, die wenige Jahre zuvor noch der Messung von Schallgeschwindigkeit in Röhren verschiedener Durchmesser diente.

Passivortung. Frühe Hörtechniken des Delays. Das Kapitel nimmt eine von der Forschung vernachlässigte Quelle zum analytischen Ausgangspunkt: einen Vortrag des Wiener Elektrotechniklers Max Jüllig aus dem Jahr 1880. Jüllig fasste seinerzeit das sich jüngst konsolidierende Wissen um Techniken und Praktiken der Produktivwerdung von Delays in einer prämodernen Medientheorie zusammen. Initiiert wurde seine Reflexion durch seinerzeit existierende, passiv operierende Ortungstechniken. Passiv waren diese, weil sie nicht auf der Aussendung eines Ortungsim-

pulses basierten, sondern das Laufzeitverhalten externer – meist nicht dazu intendierter – Schallquellen zur Entfernungsbestimmung nutzten. Epistemologisch zugespitzt ließe sich aussagen, Jüllig insistierte darauf, dass sich physikalische Medien in ihrer Störung bzw. Widerständigkeit, namentlich ihrer Verzögerungswirkung, zu wissen geben und nicht direkt, sondern lediglich indirekt wahrgenommen werden können. Dieser Ansatz konturierte ein Konzept des Medialen, dessen epistemische Wirkmächtigkeit sich bis in die aktuelle geisteswissenschaftliche Debatte um Medien und Infrastrukturen nachzeichnen ließe. Dass dies zu zeigen nicht in Medienphilosophie abschweift, wird eine Fokussierung apparativer Verfahren der Messung und deren epistemischer Bedingung geleistet. Letztlich wird – bei allen wissenschaftshistorischen Exkursionen und Implikationen, die das Kapitel einschlägt – extrahiert, was medienepistemologisch bedeutsam an den frühen Techniken und Praktiken akustischer Distanzmessung war und welches Wissens historisch invariant über die Grenzen von Diskursen hinweg zirkulierte. Fokussiert wird auf Hörtechniken im Dienste der Distanzmessung, wie sie bereits um 1870 praktiziert wurden und später vornehmlich im Ersten Weltkrieg und im Kontext des frühen Passivsonars erneut virulent wurden – und frühe Formen von Arbeit an und in akustischen Räumen ausprägten sowie zur Entwicklung nachgelagerter Techniken wie frühen *bass boost*-Filtern führten.

Echoloten. Profilierung als Datenproblem. Ozeanographische Forschung kann sich nur bedingt auf direkte Beobachtungen stützen. Die Ozeanographie ist weitgehend eine mittelbare Wissenschaft, was sich an den Praktiken und Techniken ozeanischer Tiefenmessungen zeigt. Das Bild der Tiefe ist auf Instrumente der Datenproduktion verwiesen, die mitunter unter der Wasseroberfläche agieren. Meeresforschung, die sich den Tiefenschichten der Ozeane widmete, ist dadurch an technische Geräte gekoppelt. Tiefenbilder als visuelle Konstruktionen der Weltmeere formierten sich in diesem Kontext auf Basis möglichst umfangreicher Datenmengen. Von Interesse sind in diesem Kapitel aber weniger die „Repräsentationen dieses abstrakten Gegenstandes Tiefe“¹⁰⁴ – Bilder –, sondern vielmehr die ihnen vorgelagerten Apparaturen und Praktiken der Datenproduktion und -zirkulation, die die bildliche Konkretisierung und schließlich Stabilisation der im besten Sinne unsichtbaren Meeresböden bedingten. In diesem Kontext war es die Konstruktion erster hydroakustischer Medien, die einschneidende Auswirkungen auf Praktiken der Tiefenmessung hatten, und welche zudem die wohl ersten Medien waren, die ihre Delay-epistemische Bedingung im Namen trugen: Echolote. Als

104 Hühler, Sabine (2002): „Dichte Beschreibungen“. Die Profilierung ozeanischer Tiefe im Lotverfahren von 1850 bis 1930“, in: David Gugerli/Barbara Orland (Hrsg.), *Ganz normale Bilder. Historische Beiträge zur visuellen Herstellung von Selbstverständlichkeit* (Interferenzen 2), Zürich, 19-46, 19.

praktisch sollten sich Echolote mit geringer Lottiefe vornehmlich für die Navigation in Küstennähe erweisen, wo es gilt, bei schlechten Sichtverhältnissen ein Stranden zu vermeiden. Wichtig war dies insbesondere für Küstenlinien, die ihrerzeit aufgrund der dortigen meteorologischen Bedingungen noch nicht valide vermessen worden waren wie bspw. das Gebiet um die Inselgruppe Südgeorgien im Atlantischen Ozean. Tiefsee-Echolote sollten dahingegen ihren Anteil vornehmlich an der ‚Vermessung der Unterwasserwelt‘ tragen, da sie Meeresgewässer vertikal bestimmten und Tiefenkarten der Weltmeere auf echolotischer Datenbasis erstellt wurden. Bevor Echolote jedoch konstruiert und Meere bspw. während der *Deutschen Atlantischen Expedition* zwischen 1925 und 1927 in numerische Datenmeere übersetzt werden konnten, galt es, vormals hypothetisches Wissen um Unterwasserschall zu dokumentieren: unter anderem im heimischen Goldfischaquarium des deutschen Echolot-Pioniers Alexander Behm, wo das Kapitel beginnt.

Sonar. Reginald Fessenden und das Meeres-Rauschen. Statt sich an einer noch ausstehenden Mediengeschichte des Sonars zu versuchen, illustriert das Kapitel die historische Situation der maritimen Navigation im Kontext des „Unterwasserschallsignalwesens“, die zum historisch ersten prototypischen Sonargerät führte: Das Kapitel legt die Spezifität des s.g. Fessenden Oszillators dar. Reginald Fessenden, der Konstrukteur des Oszillators, ist auch jenseits der Medienkulturwissenschaft dafür bekannt, Pionierarbeit in der Radiotechnik geleistet zu haben. Auch geht die vermutlich erste Rundfunksendung, die dem späteren Unterhaltungsrundfunk entsprach, auf Fessenden zurück. Dieser sendete am Weihnachtsabend 1906 aus der Nähe von Boston Musik und Sprache an die damals noch wenigen überhaupt existierenden Radiogeräte. Dahingegen ist seine hydroakustische Pionierarbeit in der fluiden Ökologie des Raumes ‚unter der Meeren‘ weitaus weniger bekannt.¹⁰⁵ Der von Fessenden konstruierte Oszillator war das erste praktische Unterwassermedium, das einen hydroakustischen Transducer materialisierte – d.h. das Gerät erlaubte es, mechanische Schwingung (Unterwasserschall) in elektrische Spannung zu transduzieren *et vice versa*. Das Gerät kann damit als grundlegend für sämtliche späteren Sonartechniken gelten. Ebenso wie in jener Ökologie später qua piezoelektrischem Effekt elektrische Frequenzen in hydroakustische Schwingungen übersetzt wurden, transduzierte der Fessenden Oszillator die fluide Welt ‚unter den Meeren‘ in einen Raum medientechnischer Übertragungen, der damit, geomedial interpretiert, sowohl ‚entdeckt‘ und auf Basis von Delays ausgeprägt wurde.

105 Eine Ausnahme stellt diesbezüglich der Aufsatz von Gary Frost über die ökonomische Diskursivierung des Fessenden Oszillators dar, vgl. (2001): „Inventing Schemes and Strategies: The Making and Selling of the Fessenden Oscillator“, in: *Technology and Culture* 42(3), 462-488.

Delay Lines. Verzögerungsspeicher. Das Kapitel widmet sich der Frühgeschichte von akustischen Verzögerungsleitungen zur flüchtigen Speicherung von Signalen. Diese von der Medien- und Technikgeschichte bisher marginalisierten Artefakte materialisieren ein (zeit-)kritisches Moment in der Frühphase diverser Infrastrukturen wie dem analogen Fernsehen, dem Radar oder der Funktelefonie. Diese und weitere fallbeispielhafte Implementierungskontexte von *acoustic delay lines* werden im Kapitel unter der Prämisse erschlossen, dass sich das Speichern, das von der Medienwissenschaft gemeinhin mit einem Stillstellen von Dingen, Daten und Informationen konnotiert wird, als dynamischer elektro-akustischer Prozess ausgestalten kann, der durch die Laufzeit akustischer Signale realisiert wird. Dadurch ergibt sich eine Allianz von Akustik und Speichertechnik. Der Fokus liegt auf einer historisch-komparativen Aufarbeitung der Verwendung von akustischen Verzögerungsleitungen und ihrer konstitutiven Beteiligung an medientechnischen Prozessarchitekturen. Wie zu zeigen ist, stellte ihre Verschaltung die je spezifische Lösung eines technisch situierten Problems dar: Sie fungierten als explizite Speicher, dienten der Vermeidung von Feedbacks und Interferenzen, stellten Vergleichbarkeit zwischen zeitversetzten Ereignissen her und erlaubten nicht zuletzt klang-ästhetische Simulationen – bspw. die Produktion auditiver Räume in den Radiosendungen der NBC. In einem zweiten Schritt wird das Kapitel resümierend ableiten, was für medientheoretische Implikationen akustische Verzögerungsleitungen für eine analytische Schärfung der „Übertragung“ und „Speicherung“ – zwei laut Friedrich Kittler getrennte Medienfunktionen – evozieren.

Sonographie. „work on the human body“. Das Kapitel widmet sich der ‚Entdeckung‘ der Produktivität von Delay in einem Kontext, der sich von den bisherigen Schauplätzen unterscheidet: der medizinischen Diagnostik. Wissen um körperimmanente Strukturen war bis dato neben Praktiken der Perkussion und Auskultation meist auf Abtastungen verwiesen, die dem kulturhistorisch vertrauten Verständnis von ‚Taktilität‘ entsprachen: dem Tastsinn praktizierender Ärzte. Die Verschaltung von Signallaufzeiten in der Medizin bewirkte einen epistemischen Shift von menschlichen Sensorien hin zu piezoelektrischen Sensoren der sonographischen Praxis. Sonographie als bildgebendes Sensormedium – alltagspraktisch relevant und bekannt vornehmlich durch pränatale ‚Ultraschallbilder‘ – nimmt mit Gilles Deleuze und Félix Guattari geschrieben eine Einkerbung des menschlichen Körpers vor, die nunmehr auf Basis von Delays statthatte. Ausgangspunkt des Kapitels ist die von der Wissenschaft allenfalls randständig erwähnte sonographische Pionierarbeit des österreichischen Psychiaters und Neurologen Karl Theo Dussik. Als Ergebnis von Dussiks Forschung steht eine medizinisch-diagnostische Praxis, in welcher Delay als qualitative Größe zu einem Akteur der medizinischen Diagnostik geworden war: Ein Akteur, der divergente apparative Implementierung er-

fahren konnte, dessen grundsätzlicher Erkenntniswert aber nicht mehr infrage gestellt wurde. Die Operationalisierung der Laufzeit von Schall im Dienste der messtechnischen Adressierung des Raums hatte damit Einzug in ein neues Environment gehalten: lebende biologische Körper.

Radardenken. Radar als Trigger des Digitalen. Die abschließende Fallgeschichte fokussiert zunächst auf die erste Infrastruktur der Prozessierung von Big Data in Echtzeit. Und zwar zu einer historischen Zeit, in welcher keine Digitalcomputer zur Verfügung standen, an die dies hätte delegiert werden können: das britische Dowding System zur systemischen Auswertung der Daten der britischen Radarkette Chain Home. Das Kapitel beginnt beim Radar in Großbritannien zu Zeiten kurz vor und während des Zweiten Weltkriegs, da die infrastrukturelle Ausgestaltung von Big Data-Prozessierungen dort zuerst praktiziert wurde. Gilt echtzeitliches Prozessieren großer Datenmengen vornehmlich als Signum digitaler, d.h. computerisierter Kulturen, zeigt sich hier, dass dies auch von Menschen Hand geleistet werden konnte. Im Dowding System wurden zum einen relevante Objekte des Georaums – Flugzeuge – in für die Infrastruktur kompatible Daten übersetzt. Zum zweiten fand dadurch ein Perspektivwechsel statt: Der Luftraum wurde durch seine zentralisierte, symbolische Miniaturisierung auf *plotting tables* überhaupt erst in Gänze überschaubar – und zwar als Datenkonstrukt. Wesentliches medienkulturelles Moment des Delay-Mediums Radar ist damit, dass es Daten-Infrastrukturen der echtzeitlichen Prozessierung erforderte, mithin einen postmodernen Typus ‚Infrastruktur‘ etablierte. Über die konkrete Radarsituation in Großbritannien zu Zeiten des Zweiten Weltkriegs hinaus, verhandelt das Kapitel die Verbindungslinien zwischen Radar und den technischen Grundlagen dessen, was später als Charakteristika digitaler Kulturen gelten durfte. Die konkreten Praxisbelange der Radartechnik waren an der Realisierung von Impulstechniken, Verfahren der Pulse-Code-Modulation, der Genese von Bildschirminteraktionen, der Implementierung von Operations Research und System Design – und vielem mehr – beteiligt. Als zentral kann dabei der epistemische und technische Transfer von Impulstechniken des Radars hin zu frühen Digitalcomputern gelten, der im Kapitel cursorisch nachvollzogen wird. Radar erwies sich in dieser retrospektiven Lesart als ein wesentlicher und buchstäblicher *Impulsgeber* digitaler Kulturen. Der Fokus liegt weitgehend auf der US-amerikanischen Radarforschung und -praxis, da mir diesbezüglich umfangreiche Quellen vorliegen und in den USA die international umfassendste Radararbeit betrieben wurde – insbesondere am Radiation Laboratory des Massachusetts Institute of Technology. Dieses abschließende Kapitel beginnt also bei einer konkreten Situation, versucht sich aber darüber hinaus an einer medienarchäologischen Schilderung der Bedeutung des Radars für aktuelle Medienkulturen. Dabei entfernt sich die Argumentation streckenweise vom ei-

gentlichen Akteur und fokussiert auf seine technischen und epistemischen *Effekte*, da diese von wesentlicher Bedeutung für rezente Medientechniken und -praktiken sind. Da dies ein umfangreiches Vorhaben ist, ist das Kapitel ebenso umfangreich.

Die Fallgeschichten mögen selektiv sein, da sie keine vollständigen Chronologien der Medien des Delays abbilden. Allerdings wurden die einzelnen Geschichten nicht willkürlich, sondern gezielt gewählt. Einerseits folgen sie – wie bereits erwähnt – gemäß der Maxime des *follow the actor* dem Delay auf seinen historischen Pfaden. Andererseits stellen sie medienwissenschaftliche Desiderate dar. Sie eint bis auf wenige Ausnahmen,¹⁰⁶ dass sie medienhistorische Leerstellen markieren: Die publizierten Vorträge von Max Jüllig und Karl Theo Dussik finden in der Medienkulturwissenschaft keine Erwähnung. Über die historisch erste Apparatur, die ein *remote sensing* auf Basis von Echoortung, d.h. auf Basis der Messung von Delays vornahm – im Kontext der Rohrpost –, gibt es schlichtweg keine Forschungsliteratur. Die historische Infrastruktur des Unterwasserschallsignalwesens, in dessen Kontext das prototypische Sonar des Fessenden Oszillators entwickelt wurde, wurde von der Medienkulturwissenschaft fast gänzlich übersehen¹⁰⁷ – obgleich es nicht allein von medienhistorischem Interesse ist, sondern ebenso für eine historische Praxeologie der Navigation, die Sound Studies und die Wissensgeschichte der Akustik. Über *delay lines* in ihrer multifunktionalen Verwendung in diversen Mediensystemen gibt es keine überblicksartige Darstellung, auch fanden sie bisher allein Erwähnung in medienarchäologischen Arbeiten.¹⁰⁸ Über die historisch erste Infrastruktur der tendenziellen Datenprozessierung in Echtzeit, die um ein kooperativ zu bewältigendes Datenproblem herum aufgebaut wurde – das Dowding System –, gibt es keine medienkulturwissenschaftliche Literatur und auch sonst allein

106 Diese sind die Kapitel zur Theaterakustik und zu den Messungen der Nervenleitungsgeschwindigkeit durch Hermann von Helmholtz, zu welchen es – wenn auch mit anders gelagertem Erkenntnisinteresse – Forschungsarbeiten gibt. Zu zweitemer vgl. Schmidtgen, Henning (2009): *Die Helmholtzkurven. Auf der Spur der verlorenen Zeit*, Berlin, oder ders. (2004): „Die Geschwindigkeit von Gedanken und Gefühlen. Die Entwicklung psychophysiologischer Zeitmessungen, 1850–1865“, in: *NTM: Zeitschrift für Geschichte der Wissenschaften, Technik und Medizin* 12, 100–115. Hinsichtlich der Akustik von Theaterarchitekturen vgl. bspw. Tkaczyk, Viktoria (2014): „Listening in Circles. Spoken Drama and the Architects of Sound, 1750–1830“, in: *Annals of Science* 71(3), 299–334.

107 Eine Ausnahme stellen die Arbeiten von John Shiga dar, insb. (2013): „Sonar: Empire, Media, and the Politics of Underwater Sound“, in: *Canadian Journal of Communication* 38(3), 357–377.

108 Vgl. Link (2006): „There Must Be an Angel“; Maibaum, Johannes (2021): „Lumped Lines und Bucket Brigades – Verzögerungsleitungen als dynamische Speicher“, in: Wolfgang Ernst/Johannes Maibaum (Hrsg.), *Speicher. Theorie, Technologie, Archäologie. Ausgewählte Schriften von Horst Völz*, Bochum/Freiburg, 147–164.

spärliche Arbeiten.¹⁰⁹ Das erstaunt umso mehr, da das Dowding System Prozesslogiken moderner Datenverarbeitung, wie sie später an Digitalcomputer delegiert wurden, in mehrfacher Weise begründete. Und insgesamt wurde sich der Relevanz des Delay-Mediums Radar für die Etablierung digitaler Kulturtechniken bis 1950, gemessen an seiner erheblichen Signifikanz, allenfalls marginal gewidmet. Aus diesem Status der einzelnen Fallgeschichten heraus, erfolgt die Argumentation sämtlicher Kapitel quellennah: Jedes Kapitel erzählt eine eigene Geschichte auf Basis der für den jeweiligen Kontext relevanten Primärquellen.

Im Sinne der Medienarchäologie ist diese Fokussierung der Vor- und Frühgeschichte konkreter Apparaturen in jedem Fall gerechtfertigt. Sie erlaubt, die non-linearen Pfade der Mediengenealogie des Delays zu Zeiten nachzuzeichnen, als die Zukünfte jener Apparaturen noch ungewiss waren. Denn Medien werden selten in den Kontexten ‚erfunden‘, in welchen sie sich später etablierten. Ute Holl hat dies für das Kino nachgezeichnet, dessen Geschichte sie gerade nicht im unterhaltenen kinematographischen Lichtspielhaus, sondern bei psychophysischen Experimenten des 19. Jahrhunderts beginnt, die das ‚Prinzip Kino‘ wahrnehmungsphysiologisch ergründeten.¹¹⁰ Ebenso gilt für diese Arbeit, dass das frühe Echolot nicht ohne die Prinzipien der chronographischen Messung mikrot temporaler Ereignisse verstanden werden kann, wie sie prominent Hermann von Helmholtz zur Mitte des 19. Jahrhunderts praktizierte; oder dass der im Mikrot temporalen operierende binäre Digitalcomputer nicht ohne seine technischen Grundlagen und Episteme verstanden werden kann, die gerade nicht im Kontext früher Digitalcomputer, sondern vorher im Radar zur Anwendung kamen; oder dass das erste prototypische Sonar nicht als Ortungs-, sondern Kommunikationsmedium hätte konstruiert werden sollen; oder dass die Sonographie in ihrer historischen Initialphase vielmehr ein Konglomerat anderer Techniken darstellte, namentlich der Unterwasserschalltechnik und der Werkstoffprüfung.

Dabei handelt es sich bei den Medien dieser Untersuchung um „Environing Media“¹¹¹ in mehrfachem Sinne. Einerseits agieren sie umweltbezogen, da sonische Signale und Impulse per se in Umwelten zirkulieren. Ebenso, insofern spezifische Räume medialer Aktionen ausgeprägt wurden (Signalräume), die neue Sichtbarkeiten begründeten und neue Operationsumgebungen darstellten. Damit zeigt sich nicht nur der Index der Umwelt in den hier betrachteten Medien, sondern auch der Index der Medien in der Praxis und Wahrnehmung geographischer Räu-

109 Zimmerman, David (2001): *Britain's Shield. Radar and the Defeat of the Luftwaffe*, Gloucestershire.

110 Holl, Ute (2002): *Kino, Trance und Kybernetik*, Berlin.

111 Wickberg, Adam/Gärdebo, Johan (2023) (Hrsg.), *Environing Media*, London.

me (bspw. in den echolotisch erzeugten Tiefenbildern des Atlantiks oder den sonographischen Zugriffen auf biologische Körper). Nicht zuletzt begründen die Medien dieser Studie ein Medienwerden von Umwelten bei gleichzeitigem Umweltlichwerden von Medien¹¹² historisch: Da Sensoren heute essenzieller Bestandteil s.g. *smart devices* und unseres medialen Environments sind, versucht die vorliegende Arbeit vor- und frühgeschichtliche Stationen der Sensor-Entwicklung nachzuzeichnen. Namentlich widmet sich die Arbeit weitgehend Sensoren der Distanz- auf Basis von Laufzeitmessung und damit Medien des *distant* bzw. *remote sensing*. Diese sind – wie die s.g. *proximity sensors* – dadurch gekennzeichnet, dass sie die Nähe zu Objekten detektieren, ohne einen direkten Kontakt mit diesen einzugehen. Echolot, Sonar, Sonographie und Radar sind solche Sensormedien: Sie lassen Aussagen über die Präsenz und Position entfernter Objekte auf Basis von Delay-Messungen zu.

Die aktuelle Omnipräsenz von GPS-Empfängern als integrierte Mikrochip-Architekturen in Smartphones erlaubt ein fortwährendes Tracking und Positioning von Subjekten. Teilt man die Prämisse, dass sich Mediengeschichte über Gegenwartsphänomene konstituiert, ist es die Ubiquität von Sensormedien, welche die medienhistorische Rekonstruktion der Operationalisierung von Delays für heutige Alltagspraktiken, Infrastrukturen und Prozesslogiken brisant macht. Sensoren gerieten erst jüngst in den Fokus der Medienforschung. Sie problematisieren, „what it means ‚to sense‘ under current technological conditions“¹¹³ und bestimmen damit die Situation rezenter Medienkulturen maßgeblich mit. Ihre medienhistorische Analyse stellt hingegen ein Desiderat dar. Diese Untersuchung wird zeigen, dass globale Satelliten-Navigationssysteme wie das GPS auf einer Epistemologie der Übertragung basieren, die sich in einer medienarchäologischen Rekonstruktion über andere Medien, Praktiken und Schauplätze fortschreibt, als dies gängige Geschichten von GPS nahelegen.¹¹⁴ GPS als Technologie hat mithin nicht nur eine eigene Geschichte, sondern ist zudem integrierter Teil und zugleich Resultat einer größeren Mediengeschichte der Delaymessung, wie diese Arbeit aufzeigen wird.

112 Vgl. hierzu Sprenger, Florian (2019): *Epistemologien des Umgebens. Zur Geschichte, Ökologie und Biopolitik künstlicher environments*, Bielefeld.

113 Scholz, Sebastian (2021): „Sensing the ‚Contemporary Condition‘: Chronopolitics of Sensor-Media“, in: *Krisis* 41(1), 135-156, 135; hierzu auch Gabrys, Jennifer (2019): *How To Do Things with Sensors*, Minneapolis; oder Klimburg-Witjes, Nina/Poechhacker, Nikolaus/Bowker, Geoffrey C. (2021) (Hrsg.), *Sensing In/Security. Sensors as Transnational Security Infrastructures*, Manchester.

114 Vgl. Easton, Richard D./Frazier, Eric F. (2013): *GPS Declassified. From Smart Bombs to Smartphones*, Lincoln; Ceruzzi, Paul E. (2018): *GPS*, Cambridge, MA/London.

Als eine Quellengrundlage dienen mir zeitgenössische Wissenschaftspublikationen sowie Wissenschafts- und Technikzeitschriften wie das *Bell Labs Technical Journal*, das *Archiv für Anatomie, Physiologie und wissenschaftliche Medizin*, die *Annalen der Hydrographie und maritimen Meteorologie* oder die *Zeitschrift für die gesamte Neurologie und Psychiatrie*. Für die medienhistorische Rekonstruktion der technologischen Frühphase des Radars erweist sich insbesondere die am Radiation Laboratory des Massachusetts Institute of Technology zwischen Oktober 1940 und Dezember 1945 institutionalisierte Forschung als zentral. Diese fand ihren Niederschlag in der 28-bändigen „Radiation Laboratory Series“: eine umfassende Darstellung der dort stattgefundenen Forschungsaktivitäten und eine fast einmalige Form der Selbstdokumentation durch die beteiligten Akteure.

Friedrich Kittler nobilitierte für medienhistoriographische Arbeiten bekanntlich Quellen, die bis dato nicht im Literaturarsenal von Historiker:innen anzutreffen waren. Blockschaltbilder, Patentschriften, Beschreibungen technischer Gerätschaften oder Source Code – Dokumente, die vermeintlich nur für den engen Fokus technikhistorischer Forschung relevant seien, galten ihm als fundierte Grundlage für die materialitätsnahe Historiographie von Kulturen.¹¹⁵ Für die hier vorliegenden Mediengeschichten des Delays, die ein medienarchäologisches und praxeologisches Erkenntnisinteresse verfolgen, galt es, diesen Fundus an Quellen für die Mediengeschichtsschreibung wiederum zu erweitern, um zu den historischen Medien- und Datenpraktiken vorzustoßen. Praktiken haben kein Archiv und wurden selten in wissenschaftlichen Zeitschriften dokumentiert, ebenso wenig in Blockschaltbildern, Patenten usw. Die Sichtbarmachung historischer Praktiken konnte auf Basis publizierter Tagebucheinträge oder Briefwechsel, mit historischen ‚Handbüchern für den praktischen Gebrauch‘, Felddokumentationen sowie Autobiographien eingelöst werden; ebenso bspw. mit archivischem Filmmaterial des British National Archives, welches die Arbeit der Protagonist:innen im Dowding System dokumentiert. Nicht zuletzt konnte diese Studie insbesondere im Radar-kapitel nur durch umfangreiche Archivrecherchen gelingen. Obgleich eine schiere Masse an technikhistorischen Arbeiten zum Radar vorliegt, ist seine medienwissenschaftliche Erforschung marginal. Im British National Archives sichtete ich daher – allein während eines Besuchs – über 3.000 Einzeldokumente, die eine wesentliche Grundlage des Kapitels darstellen. Den Quellenkanon einer techniknahen Medienwissenschaft habe ich mit jenen Quellen, die historische Praktiken doku-

115 Vertiefend zur Mediengeschichtsschreibung bei Kittler siehe Köhler, Christian (2018): *Mediengeschichte schreiben. Verfahren medialer Historiographie bei Dolf Sternberger und Friedrich Kittler*, Paderborn; vgl. hierzu auch Vogl, Joseph/Balke, Friedrich/Siegert, Bernhard (2013) (Hrsg.), *Archiv für Mediengeschichte* 13: „Mediengeschichte nach Friedrich Kittler“.

mentieren, wechselbezüglich gelesen. Meine Betrachtung der wechselseitigen Verfertigung von Infrastrukturen technischer Prozesse einerseits, menschiabasierten Operationsketten andererseits, durch Menschen und Medien als handlungsmächtigen Akteuren gleichermaßen, verbindet so Elemente einer praxisfokussierten Medienforschung mit medienarchäologisch erprobten Methoden.

Zusammenfassend wird diese Arbeit auf Basis der folgenden quellenahen Fallgeschichten historisch nachzeichnen, wie ein vermeintlich völlig zweckfreies, buchstäblich unpraktisches physikalisches Phänomen – Delay – kulturelle Relevanz erhielt und einen eigenen Typus von Mess- und Speichermedien begründete. Diese wiederum zeitigten nachgelagerte Effekte, die nunmehr einen irreduziblen Bestandteil rezenter Medienkulturen darstellen. Signale weisen mithin eine eigene Wissens- und Technikgeschichte auf, wie sie Historiker:innen womöglich nicht zu schreiben vermögen. Ebenso haben Signallaufzeiten eine Geschichte, die zu schreiben Aufgabe von Medienwissenschaftler:innen ist. Einem Teil jener Geschichte widmet sich diese Arbeit. Die mit dem Fokus auf programmatische historische Situationen einhergehende Bruchstückhaftigkeit verstehe ich dabei nicht als Manko. Sie erlaubt, auf signifikante Umbruchsmomente in der Historie des Delays zu fokussieren und vom Konstruieren historischer Linearitäten zugunsten einer Analyse von ‚Eskalationen‘, mit Friedrich Kittler gesprochen, bzw. von konstitutiven ‚Diskontinuitäten‘, im Sinne Michel Foucaults, abzusehen. Die in den Fallgeschichten erschlossenen Operationalisierungen von Delays können im Sinne Thomas Kuhns als *Paradigmenwechsel* einer geteilten Wissens-, Technik-, Kultur-, Architektur-, Medizin- und nicht zuletzt Mediengeschichte gelten. Dass in der medienhistorischen Analyse vermeintliche Umwege beschritten werden, liegt darin begründet, dass die Geschichte der Medien des Delays eine ebenso non-lineare wie auch multidisziplinäre ist. Die fokussierten Medien entstammen nicht allein einer physikalischen Akustik oder singulär der Elektrotechnik noch allein der Nachrichtentechnik, der Meereskunde, der Militärforschung etc. Vielmehr taucht das Delay als epistemisches Wissensobjekt und Akteur in *allen* diesen Diskursen und Disziplinen zu unterschiedlichen Zeiten auf und hinterlässt unterschiedliche Datenspuren und Apparaturen. Eine medienkulturwissenschaftlich orientierte Geschichte von Delays hat demnach eine materiell-technische und eine diskursiv-kontextuelle Seite. Technisch, da das Delay Instrumente und Medien der Datenerhebung, -analyse, -adressierung, -speicherung und -übertragung begründete: Hardware also, die in Infrastrukturen und Ko-Operationsketten wirksam wurde. Andererseits gingen mit dieser Hardware Diskurse einher: Wissen, Philosophien, aber auch Politiken, Märkte und ihre Praktiken, die miteinander interagierten und sich gegenseitig formten. In diesem Sinne stehen in dieser Arbeit die ‚Medien des Delays‘ als Pris-

ma für eine Medienkultur-, Wissens- und Praxisgeschichte der Übertragung mit einer historischen Rahmung von 1850 bis 1950.

1. Prelude

Ein Akteur betritt die Bühne

„In designing a theatre, the first question that naturally arises is,
in what form does the voice expand?“
– George Saunders, 1791¹

Verzögerung – als Störung

Am Neujahrstag 1802 öffnete das neu erbaute Schauspielhaus auf dem Berliner Gendarmenmarkt für sein Publikum. Dem Direktor des Hauses, das jener Zeit Königlich-nationales Nationaltheater hieß, August Wilhelm Iffland, war es zu verdanken, dass sein Vorgängerbau um 1800 zu den wichtigsten Theaterhäusern Preußens zählte, wie es bereits Zeitgenoss:innen darlegten: „Eine Bühne, an deren Spitze Iffland als Direktor und Mitglied steht, ist wohl schon dadurch die erste in Deutschland.“² Auf Ifflands Anregung sollte das Haus um 1800 vergrößert werden, weshalb Friedrich Wilhelm III., wohlwissend um die identitätsstiftende Bedeutung des Nationaltheaters, einen Neubau in Auftrag gab, der bereits zum Jahresende 1801 fertiggestellt worden war. Der mit dem Entwurf beauftragte Architekt, der sich bereits u.a. mit dem Entwurf des Brandenburger Tors einen Namen gemacht hatte, Carl Gotthard Langhans, gehörte seinerzeit zu den renommiertesten Architekten Preußens. Im Theatersaal des Langhans-Baus fanden schließlich 2.000 Personen Platz; es war ein Haus von beträchtlicher Dimension und einer der größten Säle Europas, was ihn zudem zu einem der wichtigsten Kulturdenkmäler Berlins machte.³

1 Saunders, George (1790): *A Treatise on Theatres*, London, x.

2 Anonym (1803): „Allgemeine Uebersicht der vorzüglichen Deutschen Bühnen“, in: *Der Freimüthige, Berlinische Zeitung für gebildete, unbefangene Leser* 1, 4.

3 Im Juli 1817 brannte das Gebäude vollständig aus, weshalb als Architekt des heutigen Schauspielhauses am Gendarmenmarkt Karl Friedrich Schinkel gilt, der im November

Schon vor Eröffnung galt das neue Nationaltheater als „der angelegentlichste Wunsch aller Kunstfreunde in Berlin“; es sollte „eine Schule des guten Geschmacks, der guten Sitten und der Tugend“ werden, womit der Neubau „dem deutschen Schauspiele (...) von der äußersten Wichtigkeit“⁴ war. Die Eröffnung des neuen Nationaltheaters wurde dementsprechend von der Bevölkerung sehnsüchtig erwartet und am Eröffnungsabend von Tumulten begleitet – „lebhaft auftritte voll Sturm und Drang“,⁵ wie es in der damaligen Berichterstattung lautete –, die nur durch das preußische Militär aufgelöst werden konnten.

Jedoch gab es bereits bei der Beauftragung von Langhans Kritik an seinen Entwürfen. Zum einen entstand der Bau im „Widerstreit zweier architektonischer Schulen“,⁶ namentlich der Kontroverse um die Bevorzugung eines Zirkels oder einer Ellipse als Form des Grundrisses für Theaterarchitekturen. Ebenso wurde Kritik über die Größe und Deckenhöhe des Gebäudes laut: „Jederman, Laie und Kenner, schreit über den ungeheuern Kasten, dessen Dach beinahe so hoch ist, als das ganze übrige Gebäude ist, ohne daß man einen wesentlichen Nutzen dieses hohen Daches einsieht.“⁷ Die „unproportionierte Größe“ wurde ebenso beklagt wie die elliptische Form des Grundrisses, die Langhans favorisierte. Man befürchtete, dass man Schauspielende aufgrund der Größe und Form des Theatersaals schlecht bis nicht hören werde:

„Bei dieser übertriebenen Größe desselben, die vielleicht kein anderes Proszenium irgend eines Theaters hat, auf dem Konversationsstücke aufgeführt werden, ist sehr natürlich zu besorgen, daß man unsere Schauspieler, die so schon leise genug sprechen, kaum verstehen wird.“⁸

1817 von Friedrich Wilhelm III. mit Entwürfen für einen Neubau des Hauses beauftragt worden war.

- 4 Anonym (1802): „Berlin, den 2ten Jänner“, in: *Kurpfalzbaierische Münchner Staatszeitung* 11, 53-54.
- 5 Anonym (1802): „Ueber den Volksprolog vor Einweihung des neuen Berliner Schauspielhauses“, in: *Zeitung für die elegante Welt* 9, 69-70, 69. Ebd. heißt es: „Dem Gedränge zum Hause hin und zur Theaterkasse durch Menschen, die in unzähligen Haufen durch Neugierde, Müßiggang und selbst durch diebische Absichten herbeigelockt waren, konnte nur durch ansehnliche Verstärkung der Wachen und herbeigerufenes Militär abgeholfen werden; und bis diese herzu kamen, haben mancherlei Unruhen Statt gefunden.“
- 6 Anonym (1800): „Ueber das neue Schauspielhaus“, in: *Jahrbücher der preußischen Monarchie unter der Regierung Friedrich Wilhelms des Dritten, 1800, Dritter Band, September – Dezember*, 130-136, 133.
- 7 Anonym (1801): „Schöne Baukunst. Ueber das neue Gebäude des Nationaltheaters in Berlin“, in: *Zeitung für die elegante Welt* 26, 201-203, 201.
- 8 Ebd., 202.

Um der Kritik an seinem ‚ungeheuern Kasten‘ zu entgegnen, hatte Langhans seinen Entwurf vor dem Bau mit einer eigenen Schrift begründet und seine Innenarchitektur gegenüber Kritiker:innen gerechtfertigt. In seiner kurzen *Vergleichung des neuen Schauspielhauses zu Berlin mit verschiedenen älteren und neueren Schauspielhäusern in Rücksicht auf Akustische und Optische Grundsätze* hatte der königliche „Kriegsrath und Director des Ober-Hof-Bau-Amts“ über Theaterarchitekturtheorien reflektiert. Er schrieb, ein Schauspielhaus solle „so gebaut und innerlich so geformt seyn, daß es dem zwiefachen Endzweck, gut zu Hören und gut zu Sehen, entspricht.“⁹ Mit seiner grundlegenden Feststellung, das „Schauspiel soll sowohl die Augen als das Gehör befriedigen“,¹⁰ stand Langhans als Repräsentant für ein neues Paradigma in der Gestaltung von Theatern und Konzertsälen, nach welchem akustische Belange als maßgeblich für eine gelungene Innenarchitektur erachtet wurden. Bis dato waren es vorrangig optisch-ästhetische Aspekte, die als ausschlaggebend für Theaterarchitekturen galten. Das lässt sich auch an der Etymologie des Theaters ‚sehen‘, konturiert doch das griechische *theasthai* für ‚Anschauen‘ das Theater als einen Ort der Visualität.

Um dies einzulösen, war eine architektonische Expertise nötig, die den physikalischen Aspekten der Übertragung von Schall gebührend Rechnung trug. Entsprechend forderte Langhans – wie er in Anlehnung an Chevalier du Chaumont¹¹ formulierte – „müsse man nicht allein Architekt, sondern auch Physikus zugleich seyn“.¹² Langhans schloss sich der Befürwortung elliptischer Formen von Saalgrundrissen an, da diese – in konsequenter Folge der Theorien Leonhard Eulers, der eine Gleichsetzung der Ausbreitungs- und Reflexionscharakteristika von Schall und Licht vornahm – den Schall in vermeintlich idealer Weise brächen, mithin „die Hörstrahlen nach eben den Gesetzen wie die Lichtstrahlen zurückgebrochen werden.“¹³ Jener Zeit war es seit dem ausgehenden 18. Jahrhundert insbesondere bei französischen Architekten üblich, Raumakustik in theatralen Bauten und Hörsälen als unmittelbaren Effekt ihrer Grundrisse zu erachten. Elliptische Grundrisse wurden dabei besonders wegen ihrer vermeintlichen akustischen Vorteile favorisiert, programmatisch von Pierre Patte in seinem *Essai sur l'Architecture Theatrale* von

9 Langhans, Carl Gotthard (1800): *Vergleichung des neuen Schauspielhauses zu Berlin mit verschiedenen älteren und neueren Schauspielhäusern in Rücksicht auf Akustische und Optische Grundsätze*, Berlin, 1.

10 Ebd.

11 de Chaumont, Chevalier (1774 [1766]): *Véritable construction d'un théâtre d'opéra à l'usage de la France* [Kurztitel], Paris, Reprint Genf 1974, 8.

12 Langhans (1800): *Vergleichung des neuen Schauspielhauses zu Berlin*, 1.

13 Ebd., 2.

1782.¹⁴ Andere Architekten kritisierten diesen Ansatz, wie bspw. der Engländer George Saunders im *Treatise on Theaters* von 1790.¹⁵

Innovativ war diese Form der akustischen Grundlagenforschung hinsichtlich der räumlichen Eigenschaften des Schalls allemal und insofern auch programmatisch für Mediengeschichten des Delays. Denn zur Wende vom 18. ins 19. Jahrhundert galt das Interesse einer aufkommenden Physikalischen Akustik vorrangig dem Schwingungsverhalten von Festkörpern oder Saiten und nicht der Erforschung der Schallausbreitung und -reflexion in der Luft. Schließlich war diese buchstäblich schwieriger zu beobachten, mithin zu messen und auf allgemeingültige Grundsätze zu bringen. Diese Diskrepanz in der historischen Forschung lässt sich an den Arbeiten von Ernst Florens Friedrich Chladni sehen: Seine Dokumentation von Schwingungsfiguren – die nach ihm benannten Chladni'schen Klangfiguren – nahm eine zentrale Stellung in seinem Werk und seiner Rezeption ein.¹⁶ Dahingegen fielen seine Darlegungen über die Charakteristika von Schall in der Luft ungleich rudimentärer aus. Auch ist es wissens- und kunsthistorisch kaum verwunderlich, dass der räumlichen Wirkung des Klangs bis zu jenem Zeitpunkt eine nachgeordnete Rolle zukam, wie es sich programmatisch mit Gotthold Ephraim Lessing belegen ließe. Seine 1766 im *Laokoon* publizierte Unterscheidung in zeit- und raumbasierte Künste – bzw. in „Figuren und Farben in dem Raume“ und „artikulierte Töne in der Zeit“ – ließ die Räumlichkeit des Schalls unberücksichtigt und sprach damit dem Raum jeden Anteil an etwaiger akustischer Ästhetik ab.¹⁷

14 Patte, Pierre (1782): *Essai Sur l'Architecture Theatrale. Ou De l'Ordonnance La Plus Avantageuse A Une Salle De Spectacles*, Paris.

15 Saunders (1790): *A Treatise on Theatres*.

16 Die Schwingungsfiguren, die er beschrieb, ergaben sich durch Vibrationen u.a. eines Violinbogens an einer mit Sand bestreuten Glas- oder Metallplatte, was den auf dieser befindlichen Sand geometrisch der Frequenz des Bogens entsprechend formte. Vertiefend zur Inszenierung und Rezeption der Klangfiguren vgl. Tkaczyk, Viktoria (2014): „Performativität und Wissen(schaft)s-geschichte“, in: Klaus W. Hempfer/Jörg Volbers (Hrsg.), *Theorien des Performativen: Sprache – Wissen – Praxis. Eine kritische Bestandsaufnahme*, Bielefeld, 115-140.

17 Lessing, Gotthold Ephraim (1999 [1766]): „Laokoon, oder Über die Grenzen der Malerei und Poesie“, in: *Werke und Briefe in zwölf Bänden*, Bd. 5/2, hg. v. Wilfried Barner, Frankfurt a.M., 11-321, 116. Hierzu auch Clarke, Joseph C. (2021): „Worin das Angenehme dieses Nachhalles besteht‘: Carl Ferdinand Langhans und räumlicher Klang um 1810“, in: Nina Amstutz et al. (Hrsg.), *Das Bild der Natur in der Romantik. Kunst als Philosophie und Wissenschaft*, Leiden, 147-176. Gegen Ende des 18. Jahrhunderts ist eine verstärkende Reflexion ästhetischer Klangräume auch jenseits des Theaterkontexts zu verzeichnen. Dass musikalischen Werken neben ihrer immanenten Zeitlichkeit auch eine genuine Räumlichkeit innewohnt bzw. die Räumlichkeit der Akustik eine eigene klangästhetische Sphäre begründet, geht auch aus einem Brief von Wolfgang Amadeus Mozart an seine Frau Konstanze vom 8. Oktober 1791 hervor, nachdem dieser zuvor eine Aufführung

Langhans' Erfolg gab ihm Recht – zumindest bis dato –, hatte er sich doch bereits als Theaterarchitekt verdient gemacht. Zudem führte er mit dem antiken Vitruv und den beiden seinerzeit aktuelleren französischen Architekten Dumont und Patte architekturhistorische und -theoretische Referenzen als Autoritäten an, um seinen Entwurf zu rechtfertigen.¹⁸ Deren architekturtheoretische Annahmen seien bereits mehrfach erfolgreich umgesetzt worden, wie Langhans darlegte. Als Beispiele für solche akustisch gelungene Theaterbauten führte Langhans eigene Entwürfe an: u.a. das zwischen 1788 und 1790 erbaute Schlosstheater in Berlin-Charlottenburg und das 1782 nach seinen Plänen in Breslau gebaute Theater mit elliptischem Grundriss.

Allerdings – und das ist entscheidend – waren diese wesentlich kleiner als das Nationaltheater in Berlin. Dass sich bspw. in Breslau der elliptische Grundriss als funktional erwies, war seiner im Vergleich zum Berliner Nationaltheater kleinen Größe geschuldet: Die gute Innenakustik des Theaterraums war keineswegs Effekt theoretischer Vorannahmen. Entsprechend waren Langhans' Theorien entgegen seiner Annahme nicht generalisierbar, sondern in der Praxis eher durch Zufall erfolgreich. Wie es Langhans' Sohn 1810 kommentieren sollte, fand zuvor noch keine „ganz genaue Anwendung dieser Theorie“¹⁹ der elliptischen Form für große Theaterprojekte statt, weshalb der ältere Langhans sie nun möglichst exakt beim Bau des neuen Nationaltheaters berücksichtigt wissen wollte. Mit anderen Worten: Die Generalisierbarkeit der elliptischen Theaterform als akustisch wie optisch bestmögliche war um 1800 reine Hypothese, die es zu prüfen galt.²⁰

In Berlin hielt die Theorie ihrer Praxis nicht stand. Die Innenakustik des Berliner Nationaltheaters, wie es 1802 eröffnet wurde, wollte sich nicht in das theoretische Setting von Langhans aus dem Jahr 1800 fügen. Das Haus hatte je nach Sitz-

seiner „Zauberflöte“ hörte: „Übrigens kannst Du nicht glauben, wie charmant man die Musik ausnimmt in einer Loge, die nahe am Orchester ist, viel besser als auf der Galerie.“ Zit. n. Ullmann, Dieter (1989): „Die Entwicklung der Raumakustik im 19. Jahrhundert“, in: *Sudhoffs Archiv* 73(2), 208-215, 209.

18 Dumont, Gabriel Pierre Martin (1766): *Parallèle des plans des plus belles salles de spectacles d'Italie et de France*, Paris; und Patte (1782): *Essai Sur l'Architecture Theatrale*.

19 Langhans, Carl Ferdinand (1810): *Ueber Theater oder Bemerkungen über Katakaustik in Beziehung auf Theater*, Berlin, 15.

20 Über die Vagheit akustischer Theatertheorien schrieb der Architekt des Karlsruher Theaters, Friedrich Weinbrenner, im selben historischen Kontext: „Ohne sonst in wissenschaftlicher Bildung, auch vorzüglich in der Musik, den Griechen und Römern nachzustehen, fällt es uns doch bei aller unsrer Theorie und mit aller Erfahrung, welche wir seit jener Zeit über die Theorie des Schalls gemacht haben, schwer, ein Gebäude durch alle Theile in akustischer Hinsicht zweckmäßig und entsprechend zu bauen.“ Weinbrenner, Friedrich (1809): *Ueber Theater in architektonischer Hinsicht mit Beziehung auf Plan und Ausführung des neuen Hoftheaters zu Carlsruhe*, Tübingen, 4.

platz mehrfache Echos und einen mitunter sekundenlangen Nachhall, der die gesprochene Rede störte bis unverständlich machte. So äußerte sich Karl Friedrich Schinkel – der Architekt des späteren Schauspielhauses auf dem Berliner Gendarmenmarkt – über die schwierige Sprachverständlichkeit:

„Ich weiß wenigstens von diesen [großen] Theatern, daß auf einem vom Theater entfernten Platz von Musik unendlich viel verlorengeht und die Sprache im Rezitativ gänzlich unverständlich wird. (...) In dem großen Theater von Mailand bemerkte ich an gegenüberliegender Stelle des Parterre denselben Verstärkungshall, der in unserm neuen Berliner Theater bemerkt wird.“²¹

In einem Entwurf zur Umgestaltung des Nationaltheaters von Dezember 1813 beklagte Schinkel das „Echo und Tönen“ des Raums, „das unreine Schallen“ sowie das „unreine Hallen des Echo[s]“.²² Damit hatten sich die eingangs zitierten Bedenken der Kritiker:innen, das Haus könnte eine schlechte Innenakustik aufweisen, bewahrheitet. Die Schauspielenden wurden im Theaterraum schwer bis nicht verstanden, was für das prestigeträchtige Projekt eines Hauses der ‚äußersten Wichtigkeit für das deutsche Schauspiele‘ einem nationalen Fauxpas gleichkam.

Entsprechend negativ fielen Vorstellungskritiken in der damaligen Berichterstattung aus. Insbesondere Stücke, die auf „sinnreiche[r] Intrigue“ basierten, stießen beim Publikum auf akustisches Unverständnis: Aufgrund des „unvernehmlichen Sprechen[s]“ der Mitspielenden „und der Schwierigkeit, womit man in dem neuen Schauspielhause hört“, passierte es nicht selten, dass „die Zuschauer kaum nothdürftig darüber [die Inhalte der Stücke] verständigt wurden.“²³ Die Störung läge sodann im „unverständlichen und polterichten Sprechen“²⁴ der Schauspielenden. An anderer Stelle wurde die „schlechte akustische Beschaffenheit des Hauses“ beklagt, auf welche die Vorstellungen „Rücksicht nehme[n]“ müssten.²⁵ Kondensiert zusammengefasst lautete die zeitgenössische Kritik am Nationaltheater, „daß

21 Karl Friedrich Schinkel an David Gilly (1805), zit. n. Riemann, Gottfried (1979) (Hrsg.), *Karl Friedrich Schinkel: Reisen nach Italien. Tagebücher, Briefe, Zeichnungen, Aquarelle*, Berlin, 121.

22 Der Entwurf und die Denkschrift sind nicht überliefert, wohl aber die unmittelbaren schriftlichen Vorarbeiten Schinkels. Hier zit. n. Behr, Adalbert/Hoffmann, Alfred (1984): *Das Schauspielhaus in Berlin*, Berlin, 46 u. 49.

23 Anonym (1802): „Berlinisches Theater. Das öffentliche Geheimnis“, in: *Zeitung für die elegante Welt* 127 v. 23. Oktober, 1016-1019, 1018.

24 Ebd.

25 Anonym (1802): „Berlinisches Theater. Wer zuerst kommt, mahlt zuerst, Rodogüne“, in: *Zeitung für die elegante Welt* 128 v. 26. Oktober, 1024-1026, 1025.

man darin nicht gut hören könne“.²⁶ Die Rezensionen der theatralen Inszenierungen waren mitunter vernichtend und verstanden sich gar als „Aesthetische Anklage“, wobei die Schuld nicht etwa dem Architekten gegeben, sondern den Schauspielenden schlichtweg jede sprecherische Kompetenz aberkannt wurde:

„Die berlinischen Schauspieler begleiten nicht ihre Worte mit entsprechenden Geberden, sondern sie begleiten ihre Geberden mit einem unvermerklichen Gemurmelt, welches unsere Dramaturgen gegen alles Sprachgebrauch, und mit einer unerträglichen Toleranz, Worte nennen. Daß sie zürnen, daß sie hassen, daß sie Mitleid flehn, – ansehen muß man es ihnen; hören kann man es nicht.“²⁷

Das Theater fungiere dadurch bei gestörtem akustischem Kanal allein als Ort des sichtbaren Schauspiels, denn „[m]an sieht da nur, aber man hört, man vernimmt nichts“,²⁸ was mitunter satirische Kommentierung erfuhr:

„Die allerentbehrlichste Person bei dem berlinischen Theater-Personal ist – der Souffleur. Man setze an seine Stelle einen Blasebalg unter die Bühne, und lasse diesen jezt das Geräusch des Zorns, jezt das Geheul des Mitleids, jezt das Geflüster der Liebe u.s.w. nachahmen: mehr braucht es offenbar nicht zum Einhelfen für Schauspieler, die nur pantomimisiren und die Lippen bewegen, aber nicht sprechen, und am wenigsten – reden. [...] Alles [das Publikum] saß da in vorgebogener Stellung, und horchte mit vorgestrecktem Kinn; die jungen Herren drückten ihre Locken und Lockenhaare über die Ohren hinaus, die Damen ruckten und zupften an ihren Bonnets, – um nur einige der von der Bühne her schallenden Laute vornehmlich aufzufangen. Das Stille gebietende und Geräusch machende Pst! erschallte während der Darstellung mehr als zwanzig Mal.“²⁹

Diese klangästhetische Kritik adressierte fälschlicherweise Schauspieler:innen als Quelle von Störungen. Dabei lag die Ursache der schlechten Sprachverständlichkeit in der dysfunktionalen Qualität des architektonischen Raums, der sich in die akustische Übertragung einschrieb: als ihr temporaler Index, der sich in Echofahren und Nachhallzeiten zu hören gab und die semantischen Botschaften des gesprochenen Theaterskripts verklangräumlichte. Die Klage einer Unverständlich-

26 Anonym (1803): „Allgemeine Uebersicht der vorzüglichen Deutschen Bühnen“, in: *Der Freimüthige, Berlinische Zeitung für gebildete, unbefangene Leser* 1, 4.

27 Anonym (1802): „Aesthetische Anklage gegen die Berlinischen Schauspieler wegen unverzeihlicher Vernachlässigung des mündlichen Vortrags“, in: *Brennus. Eine Zeitschrift für das nördliche Deutschland* v. November, 515-529, 515-516.

28 Ebd., 517.

29 Ebd., 518, nach der Auslassung 520-521.

keit der Sprache der Schauspieler:innen – so ließe sich in der Retrospektive vermuten – war nicht (oder zumindest nicht ausschließlich) ihren schlechten Artikulationsfertigkeiten geschuldet. Sie erwies sich vielmehr als Effekt eines Mangels an raumakustischem Wissen des Theaterarchitekten Langhans. Im Parterre, wo der Urheber jener kritischen Worte saß, herrschte dementsprechend ausgeprägte Langeweile vor – zumal ob der Inszenierung „Regulus“ von Heinrich Joseph von Collin, die sich durch lange Reden auszeichnet. Ganz im Sinne des Mediumsbegriffs der Physik ließe sich hier für Theaterarchitekturen Marshall McLuhans *Maxime the medium is the message* in Anschlag bringen. Die innenarchitektonisch ungünstige Formatierung des physikalischen Mediums zeitigte eine architektonisch spezifische Klangbotschaft des Raums: Innenakustik als Signum ihrer Architektur.³⁰ Zum Gehör gelangte in diesem Raum nicht allein der semantische Gehalt der Theaterinszenierungen, sondern die Räumlichkeit des physikalischen Mediums. Die räumlich bedingte, irreduzible Laufzeit der Akustik – Delay – wurde als Störung vernehmbar: Als zentrales Problem des Hauses erwies sich seine Größe, die Zeit-Raum-Regime des Akustischen hörbar werden ließ, wie es vorige, kleinere elliptische Saalformen nicht vermochten.

Insbesondere mit einem historischen Fokus auf die Situation in Preußen stellte die Akustik des Berliner Nationaltheaters ein massives Problem dar. Denn dort galt es, nicht allein die Schönheit des gesprochenen Wortes, sondern die Deutlichkeit der Rede, d.h. die Verständlichkeit gesprochener Sprache zu gewährleisten. Warum dies in Preußen um 1800 von ausgesprochen politischer Relevanz war, wird aus theaterhistorischer, aber vor allem aus staats- und bildungspolitischer Perspektive heraus deutlich.

Verbunden mit einer Aufwertung des Bildungsideals und einer Entwicklung, nach welcher seit dem 18. Jahrhundert Theater zusehends zentrale Orte für ein Bürgertum wurden, etablierte sich das bürgerliche Trauerspiel (*bourgeois drama*). Dieses war ein Theaterformat eines sich vom Adel emanzipierenden Bürgertums. Zudem hielt eine neue Politik der Lautstärke Einzug in Theater: War es bis in das 18. Jahrhundert hinein üblich, dass sich das Publikum untereinander unterhielt, lachte, spontan applaudierte, Inhalte laut kommentierte und Figuren bejubelte oder ausbuhte, galt gemäß der Aufwertung des auf der Bühne gesprochenen Wortes im Trauerspiel die *Stillstellung* des Publikums. Theater waren damit weniger Orte des sozialen Austauschs, sondern die Aufmerksamkeit des Publikums sollte

30 Grundlegend zur Bauakustik aus kulturwissenschaftlicher Perspektive vgl. Clarke, Joseph L. (2021): *Echo's Chambers. Architecture and the Idea of Acoustic Space*, Pittsburgh; oder das kanonische Werk von Thompson, Emily (2004): *The Soundscape of Modernity. Architectural Acoustics and the Culture of Listening in America, 1900-1933*, Cambridge, MA et al.

ganz der theatralen Inszenierung gelten. Zudem – wie Viktoria Tkaczyk mit Verweis auf Schriften von Johann Wolfgang von Goethe, Friedrich Schiller und Gottfried Ephraim Lessing darlegt – emanzipierte sich die anvisierte Klangästhetik des neuen Theaterverständnisses dahingehend, dass sich das gesprochene Wort klar vom gesungenen unterscheiden sowie akzentfrei vorgetragen werden sollte. Es galt, die literarische Vorlage nicht schlicht und neutral zu wiederholen. Gemäß der kunsttheoretischen Schriften ihrerzeit war die Stimme der Schauspieler:innen vielmehr dazu angedacht, die verkörperten Rollen in romantischer Manier mit Leben zu erfüllen, um Zuhörer:innen moralisch zu erbauen.³¹

Neben dieser ästhetischen Dimension galt nach Friedrich Schillers Vortrag von 1784, der die Schaubühne in den Status einer „moralischen Anstalt“³² emporhob, das Theater längst nicht mehr als Ort der bloßen Unterhaltung. Vielmehr wurde es als Ort des Politischen, der Bildung und vermeintlichen Hochkultur par excellence wahrgenommen. Das Theater galt Wilhelm III. in diesem Sinne als eine Institution politischer Einflussnahme, die dazu beitragen könne, die Hegemonialstellung Preußens unter den deutschen Kleinstaaten auszubauen – oder wie es Schiller formulierte: „Wenn wir es erlebten, eine Nationalschaubühne zu haben, so würden wir auch eine Nation.“³³

Diese Verlagerung vom Vergnügungs- zum Bildungstheater verstärkte, dass das gesprochene Wort – das theatrale Skript – eine Aufwertung erfuhr. Entsprechend kam der Verständlichkeit des auf der Bühne gesprochenen Wortes eine gesteigerte Wichtigkeit zu. Alle ästhetischen und staats- wie bildungspolitischen Ideale des Theaters wurden jedoch hinfällig, wenn das auf der Bühne gesprochene Wort im Theaterraum zwar *gehört*, aber nicht *verstanden* werden konnte. Zwar gab es im historischen Kontext auch in anderen Bereichen Klagen über die schlechte Akustik von Gebäuden, in welchen das gesprochene Wort eine zentrale Rolle einnahm. So schrieb bspw. der deutsche u.a. Komponist Georg Vogler 1792 über die Innenakustik von Kirchengebäuden: „Eine Kirche, die zu viele Hallen hat, ist der Musik noch nachtheiliger. Viele Gewölber haben viele eigene Nachklänge: die Echo's verwirren sich zuletzt und das Resultat ist – Confusion.“³⁴ Nur kam die schlechte Innenakustik im Fall des Berliner Nationaltheaters geradezu einer nationalen Peinlichkeit gleich. Die aus der Innenakustik resultierende „gänzliche Un-

31 Vgl. Tkaczyk, Viktoria (2014): „Listening in Circles. Spoken Drama and the Architects of Sound, 1750–1830“, in: *Annals of Science* 71(3), 299–334, 308–309.

32 Schiller, Friedrich (1802 [1784]): „Die Schaubühne als eine moralische Anstalt betrachtet“, in: ders.: *Kleinere prosaische Schriften*, Bd. 4, Leipzig.

33 Ebd., 23.

34 Vogler, Georg (1792): „Bemerkungen über die der Musik vortheilhafteste Bauart eines Musikchors“, in: *Journal von und für Deutschland* 9(2), 178–181, 178.

verständlichkeit des mündlichen Vortrags“³⁵ führte das Berliner Nationaltheater als bildendes Publikumsereignis ad absurdum. Das Wissen um Geschwindigkeiten und Räumlichkeiten von Schall war nicht länger das einer exklusiven *scientific community*, sondern die notwendige architektonische Beherrschung der Logistik des Delays war zum staatspolitischen Problem avanciert.

Dabei hätte es Langhans aufgrund seiner theoretischen Vorüberlegungen eigentlich besser wissen müssen, denn akustische innenarchitektonische Delays antizipierte er bereits. Langhans verwies auf die Arbeiten zur Messung der Schallgeschwindigkeit durch Euler, Cassini, Maraldi und de la Caille und ergänzte, dass diese für Innenarchitekturen noch erweitert werden müssten, um praktische Relevanz zu entfalten. Denn zwar mag es richtig sein, dass der Schall pro Sekunde 1028 Fuß räumliche Distanz durchschwingt, allerdings geschehe dies durch Reflexionen *im selben* architektonischen Raum mehrfach, wie er bereits 1800 schrieb:

„Wenn also die Zeit abgemessen ist, welche zur Fortpflanzung des Klanges erfordert wird, so ist folgende Einwendung im Allgemeinen zwar theoretisch richtig, aber auf Theater wie die jetzt gewöhnlichen sind nicht anwendbar [sic]. Man kann nemlich sagen: Der gerade Weg, welchen der Schall vom Entstehungspunkte bis zu meinem Gehör nimmt, ist kürzer als der, welchen er durch die Brechung einer Ellipse bis zu mir zu nehmen hat. Ich werde ihn also zweimal, oder vielfach mehr hören, ja nachdem der Weg weiter oder kürzer ist.“³⁶

Eine rein geometrische Formalisierung der Ausbreitung des Schalls gemäß vermeintlich geradliniger „Schallstrahlen“ kritisierte Langhans zugunsten einer Betrachtung der Schallgeschwindigkeit und damit des zeitlichen Indexes akustischer Übertragungen: „Die Linien und Winkel, nach welchen die Schallstrahlen gebrochen werden, sind inzwischen nicht das einzige worauf es ankommt, sondern die Geschwindigkeit mit welcher der Schall fortgepflanzt wird, muß hierbei auch in Betrachtung gezogen werden.“³⁷ De facto war Langhans damit theoretisch mit dem Laufzeitproblem des Schalls in Theatern großen Ausmaßes vertraut. Dabei stand er nicht singulär; ebenso äußerte sich im historischen Kontext Johann Gottlieb Rhode in seiner *Theorie der Verbreitung des Schalles für Baukünstler*, welche im selben Jahr wie Langhans’ Rechtfertigung seines Entwurfs erschien, wie folgt:

„Wenn ein Theater so klein ist, daß der Zuschauer überall unter 60 Fuß von dem Sprechenden entfernt ist, so ist die innere Form im Grunde für den Schall gleichgültig, weil er den

35 Anonym (1802): „Aesthetische Anklage gegen die Berlinischen Schauspieler“, 519.

36 Langhans (1800): *Vergleichung des neuen Schauspielhauses zu Berlin*, 4.

37 Ebd., 3.

Raum so schnell durchdringt, daß man das falsche Brechen und den nachtheiligen Wiederhall nicht gewahr wird. Ist der Raum aber über 60 Fuß, so wird die Rückbrechung schon so bemerklich, daß sie fähig ist einen Wiederhall [sic] zu bilden, oder wenigstens durch Verlängerung der Töne das Nachhallen – die Rede undeutlich zu machen.“³⁸

Rhode und Langhans definierten damit für das Theater um 1800 nicht nur Zeit- als Raumprobleme. Sie elaborierten an der epistemischen Übersetzbarkeit von Raum- und Zeitgrößen hinsichtlich akustischer Übertragungsanordnungen. Im Sinne der Physikalischen Akustik – und maßgeblich für die Mathematik späterer Medien des Delays – sind bei ihnen Zeit- und Raumgrößen (d.h. Signallaufzeiten und Übertragungsräume) indexikalisch aufeinander verwiesen.

Die exemplarischen Zitate von Rhode und Langhans sind maßgeblich für eine sich um 1800 formierende Epistemologie der Theaterarchitektur, die sich an den Zeit-Raum-Regimen ihres physikalischen Übertragungsmediums ausrichtete. Bedeutsam ist der Theater- als Innovationsraum deshalb, da hier akustisches Wissen in Bezug auf Klang und seine Delays in architektonischen Räumen emergierte. Zwar gilt als maßgebliches Werk der modernen Akustik noch immer Ernst Florens Friedrich Chladnis *Die Akustik* von 1802. Allerdings sind seine darin zu findenden Ausführungen zur Schallausbreitung in der Luft äußerst spärlich und stammen originär aus Rhodes bereits zwei Jahre zuvor veröffentlichter *Theorie der Verbreitung des Schalles für Baukünstler*. Es war mithin der Theaterraum, wie er praktische Architekt:innen tangierte, der akustisches Übertragungswissen initiierte.

Das rigorose Scheitern des Berliner theatralen Großprojekts um 1800 evozierte, produktiv gewendet, eine Hinwendung zu innenarchitektonischer Akustizität. Wie Jochen Meyer festhält, war es überhaupt erst die Beauftragung von Langhans für den Bau des neuen Nationaltheaters, welche zu einer Konjunktur theaterarchitekturtheoretischer Reflexionen führte.³⁹ Denn Langhans, der zum Zeitpunkt der Beauftragung bereits fast 70 Jahre alt war, stand für eine eher konservative Theaterarchitektur, die insbesondere bei jüngeren Berliner Architekten wie Heinrich Gentz oder Friedrich Gilly in der Kritik stand, die um eine architektonische Erneuerung der deutschen Theaterkultur bemüht waren. Wohl als direkte Antwort auf Langhans' Schrift von 1800 erschienen 1802 Ludwig Catels *Vorschläge zur Verbesserung der Schauspielhäuser*, in welchen er die Halbzirkelform für

38 Rhode, Johann Gottlieb (1800): *Theorie der Verbreitung des Schalles für Baukünstler*, Berlin, 32.

39 Meyer, Jochen (1998): *Theaterbautheorien zwischen Kunst und Wissenschaft. Die Diskussion über Theaterbau im deutschsprachigen Raum in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts*, Zürich/Berlin, insb. 39ff.

Theaterinnenräume befürwortete.⁴⁰ Eine Logistik des Schalls für Innenräume an-denkend – d.h. seine Ausbreitung, Reflexion und Beugung betreffend –, empfahl er, die Oberflächen von Objekten mit Stoffen zu überziehen, um die Reflexion des Schalls an ihnen zu vermeiden. Damit beabsichtigte er, die schallabsorbierende Wirkung bspw. schwerer Teppiche auszunutzen, um raumakustische Defizite im Theaterkontext zu beheben. Dass Catels Schrift direkt vom Berliner Nationaltheater beeinflusst war, schrieb er selbst nicht. Wohl aber formulierte dies Friedrich Weinbrenner, der 1809 äußerte, Catel habe die schlechte Akustik des Berliner Theaters auf die Idee der Schallabsorption gebracht, um Schallreflexionen, mithin Echos und Nachhall, zu reduzieren:

„Hrn. Catel scheint das von dem Hrn. Geh. Kriegs-rath Langhans zu Berlin erbaute Theater auf die Idee gebracht zu haben, die Wände seines Theaters mit Tüchern zu bekleiden, damit sie den Ton nicht reflectiren, weil jenes Theater einen Nachhall, ein Echo hervorbringt. Allein die Ursache dieser Wirkung liegt in der Construction der Langhansischen Theaterform. Zwar sucht Hr. Langhans diese [...] zu vertheidigen: allein die Execution seiner Theorie beweiset das Gegentheil.“⁴¹

Katakustik

In diesem historischen Theaterkontext war es Carl Ferdinand Langhans – der Sohn von Carl Gotthard Langhans –, in dessen Schriften sich die ‚Entdeckung des Delays‘ deutlich konturiert. Für den jüngeren Langhans galt das neue Berliner Nationaltheater von 1802 nicht allein als eine Manifestation fataler akustischer Fehlannahmen. Vielmehr sah er es als Objekt, dessen Scheitern – gemäß der ohnehin in der Theaterarchitektur praktizierten Maxime des ‚trial and error‘⁴² – prospektiv neues Wissen zu generieren erlaubte. Und er widmete sich kondensiert dem, was seinerzeit über das Delay im Theaterkontext, seine mögliche ästhetische Verwertung und seine Beseitigung bekannt war.

Wie die vorigen Literaturverweise zeigen, war C.F. Langhans seinerzeit nicht der einzige Architekt, der um eine theoretische Fundierung seines praktischen Schaffens bemüht war. Bei ihm fiel die schriftliche Kommentierung und Diskussion innenarchitektonischer Designs jedoch fundierter aus als bei seinen Zeitgenossen.

40 Catel, Louis (1802): *Vorschläge zur Verbesserung der Schauspielhäuser*, Berlin.

41 Weinbrenner (1809): *Ueber Theater in architektonischer Hinsicht*, 8-9.

42 In zeitgenössischer Formulierung entsprach die Praxis von Theaterarchitekt:innen um 1800 einem Vorgehen zwischen „Vermuthungen und Versuchen“, Langhans (1810): *Ueber Theater*, 9.

Auch war er der erste Architekt, der um eine ästhetische Verwertung akustischer Delays bemüht war und entsprechend ‚Nachhall‘ nicht als Störung diskreditierte. Nach dem Vorbild der Lehre der Reflexion des Lichts an spiegelnden Oberflächen, der Katoptrik, behandelte Langhans in seiner 1810 veröffentlichten Schrift *Über Theater oder Bemerkungen über Katakustik in Beziehung auf Theater* die Ausbreitung und Reflexion von Schall in Innenräumen von Theatern ausführlich. Auch wenn er – ungleich des späteren Clement Wallace Sabine – die Nachhallzeit auf keine Formel zu bringen vermochte, war seine Schrift empirisch fundiert und damit nicht minder wissenschaftlich intendiert, als Sabines Experimentalpraktik.

In Langhans' Schrift wird der innenarchitektonische Paradigmenwechsel des Theaters von ausschließlich optischen, buchstäblichen ‚Gesichtspunkten‘ hin zu einem Design, das primär das Ohr adressierte, deutlich und noch expliziter als bei seinem Vater. Er stellte ganz grundlegend fest, dass sich die *Maxime form follows function* im Theater *ausschließlich* nach akustischer Funktionalität zu richten habe und alle anderen Funktionen jener der Akustik nachgeordnet sein sollten: „Unter die wichtigsten Betrachtungen, welche wir überhaupt bei der Bildung der Theaterformen zu machen haben, gehört unstreitig die über Akustik oder Phonetik (die Lehre über die Fortpflanzung des Schalles).“⁴³ Langhans beklagte, „daß diejenigen Architekten, welche Theater zu erbauen hatten, zu wenig nach Grundsätzen der Akustik verfahren sind, hingegen immer mehr nach Grundsätzen der Optik, weil uns diese von jeher klarer vor Augen gelegen haben.“⁴⁴ Anliegen des jüngeren Langhans war es nicht weniger, als bei dramatischen Vorstellungen „die kleinsten Nüancen in dem Dialog“ wahrnehmbar zu machen – eine Forderung, die grundlegend Fragen nach den Delays des Schalles tangierte, denn Architekturen sollten künftig derart gestaltet werden, wie er schrieb, dass „kein Wiederhall die Verwirrung des Gesprächs vermehren“⁴⁵ könne.

Langhans' Novum war es, zu einer generalisierbaren Theorie der Theaterarchitektur gelangen zu wollen, die sich am Zeit-Raum-Regime akustischer Übertragungen ausrichtete, statt Mängel und Vorzüge bestimmter, einzelner Theater zu

43 Ebd., 7.

44 Ebd., 8. Zum Begriff der „Fortpflanzung“ in seiner etymologischen Dimension vgl. Goeth, Sarah (2017): „Fortpflanzung – Verpflanzung: Vegetabile Metaphern in den Wissenskulturen des 18. und 19. Jahrhunderts“, in: *Archiv für Begriffsgeschichte* 59, 61-82. Der Begriff ist der Botanik entlehnt, wo er ursprünglich das Weg- bzw. Fort-Pflanzen eines Gewächses bezeichnete, also das lokale Versetzen einer Pflanze. Bereits im Laufe des 18. Jahrhunderts wurde der Begriff auf Vermehrungen und Ausbreitungen von Pflanzengattungen übertragen, schließlich auch im physikalischen Verständnis auf Verbreitungs- bzw. Übertragungsprozesse wie die Ausbreitung von Wellen, d.h. von Schall.

45 Langhans (1810): *Ueber Theater*, 8.

dokumentieren. Langhans schrieb von Brennpunkten, von Konzentrierungen des Schalls und von seiner Verstärkung als Resultat architektonischer Formatierung. So könne es nach Langhans geschehen, dass in Theatern nach elliptischen oder parabolischen Grundrissen zwar der Schalleindruck in den innenarchitektonischen Brennpunkten des Schalls hervorragend war, außerhalb dieser Brennpunkte jedoch erstaunlich wenig bis nichts gehört werden konnte. Langhans verstand das Problem der architektonischen Formatierung der Schallausbreitung dabei als politisches, nämlich demokratisch zu denkendes Prinzip der *Gleichverteilung* des Schalls unter den Besucher:innen von Theatern. Demgemäß bewertete er elliptische Grundrisse negativ, denn „warum soll der [Brenn-]Punct c (...) alle Schallstrahlen bekommen, wenn es auf Unkosten der andern Punkte geschieht, die doch, als das Ohr des Zuschauers betrachtet, alle gleiches Recht haben?“⁴⁶ Heute bekannt als diffuse Reflexion elaborierte Langhans ein egalitäres Prinzip akustischer Räume.

Allerdings blieben Langhans' Schematisierungen auf Geometrie verwiesen: Sie waren zweidimensional statt dreidimensionale architektonische Klangräume abzubilden. Das wissenschaftshistorische Problem in der Handhabung von Schallausbreitung, nicht nur in Innenräumen, bestand darin, dass diese mit bloßem Auge unsichtbar ist. Daher war sie auf Methoden – um nicht zu sagen: Medien – der Visualisierung angewiesen. Langhans verbildlichte daher Raumklänge als hypothetische ‚Schallstrahlen‘ nach geometrischem Vorbild. In der Theaterarchitekturliteratur war Akustik bereits als Druckwelle auf Basis von Teilchenbewegung beschrieben worden – ausgelöst von einer „schnell zitternde[n] Bewegung“, wie es Johann Wetter 1829 formulierte, nach welcher sich Schall als Luftvibration „nach allen Richtungen, und demnach auch um feste Hindernisse herum“⁴⁷ ausbreite. Bereits Isaac Newton hatte die Schallausbreitung seinerzeit in dieser Weise theoretisiert und seine Theorie war im ausgehenden 18. Jahrhundert im physikalischen Diskurs anerkannt und naheliegend für Theaterarchitekturen. Seine Theorie

46 Vgl. hierzu Langhans, Carl Friedrich (1860): „Das Victoria-Theater in Berlin“, in: *Zeitschrift für Bauwesen* 10, 315-342, insb. 331-332.

47 Wetter, Johann (1829): *Untersuchungen über die wichtigsten Gegenstände der Theaterbaukunst, die vorteilhaftesten Formen des Auditoriums, und die zweckmässigste Anordnung der Bühne und des Prosceniums, in optischer und akustischer Hinsicht*, Mainz, 40 u. 43. Wetter differenzierte nach innenarchitektonischem Widerhall, der Verlängerung des Schalls (Nachhall) und einer Verstärkung des Schalls – diese sind bei ihm Effekt von Laufzeitunterschieden, die er jedoch nicht explizierte, da er dies, wie Langhans zuvor, auf Basis etwaiger Schallstrahlen erklärte. Zwar schrieb er über Geschwindigkeiten des Schalls, aber versäumte es, seine graphischen Schallstrahlen in ihrer Länge mit zeitlichen Größen zu versehen, sie mithin als temporale Vektoren zu verstehen, und beschränkte sich auf Winkelgrößen – und damit auf Raum- statt Zeit-Raum-Regime; vgl. ebd., 52-55.

beschrieb Klang als Druckwelle, die sukzessive Luftpartikel in Schwingung versetzt, und konnte damit auch erklären, warum Schallausbreitung nicht geradlinig, sondern bogenförmig geschieht.⁴⁸ Nur: Die Strahltheorie des Schalls war leichter visualisierbar als die Wellentheorie. Das Strahlenmodell war deswegen produktiv, weil sich die Diskussion über ideale Theaterarchitekturen bis zu Langhans vornehmlich auf die Grundrisse von Theatersälen beschränkte. In eben diese zweidimensionalen Saalmodelle ließ sich die als strahlenförmig idealisierte Ausbreitung des Schalls schlicht einzeichnen. In der Theoriepraxis wurde Schallausbreitung damit graphisch zugunsten unbeugsamer Schallstrahlen relativiert und geometrisch ‚auf Linie‘ gebracht.

Es gab also guten Grund für die verfälschende Praxis: Die vermeintliche ‚Geometrie des Schalls‘ stellte das adäquate hypothetische Medium der Darstellung dar. Ebenso kommentierte das *Physikalische Wörterbuch* seinerzeit, worin der Vorteil der Schallstrahl-Theorie bestand: Konkret war es ihre praktische, wenn auch aus physikalischer Perspektive falsche Darstellbarkeit. Dementsprechend findet sich 1798 im *Wörterbuch* die Formulierung, von der Brechung des Schalls „weiß man noch so viel, als gar nichts“, dennoch lasse sich bei der Formalisierung der Schallausbreitung gemäß Strahlen „die Betrachtung der Wege des Schalles zum Theil auf Geometrie bringen.“⁴⁹ Die Phänomenologie des Schalls schied sich an diesem historischen Punkt ihrer Wissensgeschichte radikal von ihrer Ontologie; die Schallstrahltheorie erzeugte systematisch verzerrte oder gar falsche Bilder des Delays. Aufgrund dieser graphischen Komplexitätsreduktion erwies sich die Schallstrahl-Theorie als produktiv: Sie machte akustische Übertragungen – implizit nach dem Vorbild linearer Sender-Kanal-Empfänger-, also unilateraler Kommunikationsmodelle – vorstellbar und mündete dementsprechend sogar in Gleichsetzungen von Theatersälen mit Kommunikations- bzw. Sprachröhren.⁵⁰

48 Newton, Isaac (1729 [1726]): *The Mathematical Principles of Natural Philosophy in Two Volumes, Vol. II*, London, 166-167.

49 Gehler, Johann Samuel Traugott (1798): *Physikalisches Wörterbuch, Neue Auflage, 3. Theil*, Leipzig, 815.

50 Vgl. Rhode (1800): *Theorie der Verbreitung des Schalles*, 65.

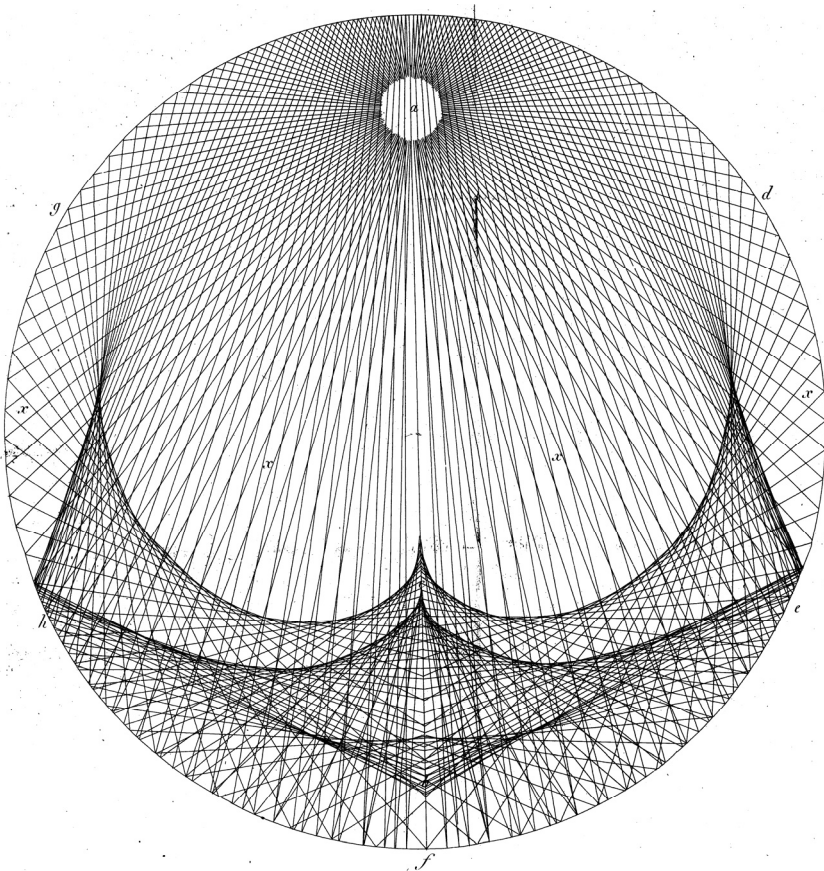


Abbildung 2: Vermeintliche Schallstrahlen, die Carl Ferdinand Langhans in einen idealisierten kreisrunden Theatergrundriss einzeichnete.

Akustemologie des Theaters

Susanne Holl bescheinigte der Arbeit des jüngeren Langhans, die seinerzeit „minutiöseste Strahlenverfolgung“⁵¹ darzustellen. Dies muss beim temporalen Wort genommen werden. Langhans' Schallstrahlen stellten explizit Zeitgrößen dar, da sie „Zeitmaße“⁵² bzw. „Zeit-Räume“⁵³ geometrisierten, wie er schrieb. Damit eröffne-

51 Holl, Susanne (2001): „Strahl und Welle. Bilder des Schalls um 1800“, in: Christoph Hoffmann/Peter Berz (Hrsg.), *Über Schall. Ernst Machs und Peter Salchers Geschoßfotografien*, Göttingen, 171-198, 190.

52 Langhans (1810): *Ueber Theater*, 27.

ten sie einen symbolischen Raum, der noch für die späteren Schematisierungen von Radar- und Sonarortungen maßgeblich sein wird, weil Zeit- als geometrische Längenunterschiede graphisch darstellbar wurden. Langhans verfolgte eine nahezu akribische Tabellarisierung von Schalllaufzeiten in Innenräumen und maß die Länge der hypothetischen Schallstrahlen, die er auf dem Papier konstruierte. Unsichtbare Signallaufzeiten, Delays, waren Linien auf Papier geworden (vgl. Abb. 2). Auf deren Basis ermittelte Langhans Laufzeitdifferenzen zwischen direktem und reflektiertem Schall und kommentierte, ob diese lediglich eine akustische „verlängerte Verstärkung“,⁵⁴ mithin einen Nachhall bewirkten oder ob sie ausreichten, ein störendes Echo zu bilden. Das Besondere bei Langhans ist – im Unterschied zu theaterarchitektonischen Schriften vormals –, dass seine Visualisierung von Schallstrahlen einen temporalen Index trug. Pattes Strahlentheorie konnte zwar erklären, warum Klänge an bestimmten Punkten im Theaterraum lauter oder leiser waren, da sich an bestimmten Punkten seiner Darstellung mehr oder weniger Schallstrahlen kreuzten. Seine Methode war aber außerstande, Nachhall- oder Echophänomene strahlentheoretisch herzuleiten. Langhans erweiterte dies, insofern seine Schallstrahlen auch Signallaufzeiten abbildeten, die das sukzessive Verklingen von Akustik geometrisch abbildeten, wie er schrieb: „Der Schall, der entsteht, muß also darin sterben, das heißt, die Vibration desselben in der Luft wird so lange in der Strahlenförmigen Bewegung fort dauern, bis seine Kraft nach und nach abnimmt, und am Ende verlischt.“⁵⁵

Allerdings war Langhans' graphische Methodik mit dem Mangel behaftet, auf die analoge Basis von Stift und Papier verwiesen zu sein. Aus diesem Grund ist seine geometrische Formalisierung von Schallausbreitung keine chronometrische: Sie integrierte keine Verfahren der apparativen *Delaymessung*. Zudem prägte die Spezifität seines Aufschreibesystems eine zweidimensionale, d.h. flache statt räumliche Bildlichkeit des Schalls aus – wobei sich Langhans der damit einhergehenden Komplexitätsreduzierung durch sein verwendetes Medium bewusst war.⁵⁶ Dennoch darf Langhans' Arbeit als wegweisend für diese Untersuchung gelten. Sein Interesse galt weniger dem semantischen Sinngehalt von Theaterskripten, sondern medialen Aspekten der situierten *Übertragung*, *Reflexion*, *Verstärkung* (ein Begriff, den seine Zeitgenoss:innen explizit nutzten) und *Konzentration* von

53 Vgl. ebd., 30-31.

54 Ebd., 28.

55 Ebd., 30.

56 Ebd., 22.

Schall in konkreten Theaterräumen, mithin einer Akustemologie des Theaters, die Schalllaufzeiten – Delays – als zeiträumlichen Akteur thematisierte.⁵⁷

Was um 1800 zutage trat und sich auf Papier fixierte, war eine prototypische „Raumakustik“ – eine Disziplin, die begrifflich erst auf die Wende vom 19. ins 20. Jahrhundert datiert und in der Literatur untrennbar mit Clement Wallace Sabine verbunden ist. Dieser stellte im Fogg Museum of Art in Harvard die akustischen Defizite eines seinerzeit neu installierten Vorlesungssaals auf eine replizierbare Grundlage. Als 1895 an der Harvard University das Fogg Art Museumsgebäude fertiggestellt worden war, erwies sich sein amphitheatralischer Vortragssaal entgegen aller Erwartungen als völlig unbrauchbar: Es kam zu Echofahnen, die die Verständlichkeit von Vortragenden schmälerte oder gar gänzlich annullierte. Die Harvard University übertrug die Lösung des Problems ihrem Physikinstitut, welches wiederum ausgerechnet ihren jüngsten Mitarbeiter, Sabine, mit diesbezüglicher Forschung betraute. Weder war Sabine ausgewiesener Fachkenner der angewandten Akustik noch waren ihm die hier kursorisch angeführten theaterarchitekturtheoretischen Schriften bekannt. Sabine war entsprechend auf den Status eines Experimentalwissenschaftlers verwiesen. Er führte Experimente zur Nachhallzeit und Schallabsorption durch und übersetzte seine gewonnenen Erkenntnisse in eine wissenschaftlich universalisierbare Basis, die nicht nur Geltungsanspruch innerhalb der konkreten Räume seiner Forschung beanspruchte: Er brachte die Nachhallzeiten von architektonischen Innenräumen auf eine Formel. Diese deklarierte Raumvolumen und schallabsorbierende Flächen als kritische Faktoren.⁵⁸ Damit schuf er die Grundlage, an den akustischen Charakteristika von Gebäuden zu partizipieren, bevor diese gebaut worden waren. Demgemäß berechnete er die seinerzeit künftige Raumakustik der Boston Symphony Hall. Diese Begründung der Disziplin darf aber nicht darüber hinwegtäuschen, dass zur Zeit von Sabines Arbeiten die Bauakustik älter war, da bereits Langhans seine Arbeiten im architektonischen Diskurs seinerzeit verortete.

Dieses Kapitel machte mit Blick auf Formen akustischen Wissens in der Architekturgeschichte und ihrer Praxis um 1800 deutlich, dass zum einen die diskursiven Auseinandersetzungen mit dem Klangraum architektonischer Installationen älteren Datums sind als die vermeintliche Begründung der Disziplin durch Sabine. Zudem zeigte sich, dass die praktischen, d.h. empirischen und protowissenschaftli-

57 Der Anthropologe Steven Feld prägte den Begriff der „Akustemologie“ als Neologismus der Worte Akustik und Epistemologie, um Klänge als Wissens- und Erkenntnismodi zu beschreiben, vgl. Feld, Steven (2018): „Akustemologie“, in: Daniel Morat/Hansjakob Ziemer (Hrsg.), *Handbuch Sound*, Stuttgart, 2-7.

58 Vgl. Sabine, Wallace C. (1923): „Reverberation“, in ders., *Collected Papers on Acoustics*, Cambridge, MA, 3-68.

chen Verhandlungen des *Nachhalls* in Innenräumen von Theatern auf die Zeit um 1800 datieren. Dort trat Delay als autonomer *Akteur* hervor und gab sich zu wissen bzw. genauer: zu *hören*. Delay hatte im Kontext auditiver Theaterästhetik eine explizit soziopolitische und architekturtheoretische Handlungsmacht bekommen und war damit nicht länger ein marginalisiertes physikalisches Phänomen, das lediglich für einen exklusiven Zirkel von Physiker:innen von Interesse war. Im Kontext der Theaterarchitektur fand akustisches Wissen seine erste praktische Materialisierung, wie sie bei Langhans (dem jüngeren) bereits angelegt war. War das Wissen um Echoschwelle, Nachhall, Reflexion usw. vormals ein weitgehend zweckfreies, fand es nunmehr gesamtgesellschaftliche Relevanz. Denn Schauspielhäuser adressierten seit circa 1800 ein breites Publikum und ein erstarkendes Bürgertum interpretierte Theatervorstellungen und Konzerte als Insignien ihrer kulturellen Stellung. Statt in exklusiven Experimentaldiskursen weniger Wissenschaftler:innen verortet zu sein, stießen akustische Fragen von Delays auf die offenen Ohren eines Theaterpublikums.

Es waren die architektonischen Räume der Konzert- und Schauspielhäuser, in denen Delay als Störung virulent wurde, sich als handlungsmächtiges akustisches Phänomen in Inszenierungen einschrieb und dadurch in den Fokus rückte. Im Diskurs und der empirischen Praxis der Theaterarchitektur erlangten Delays eine kritische *agency*, die nach wissenschaftlicher Formalisierung verlangte und damit die wissenshistorische Grundlage für spätere Operationalisierungen von Signallaufzeiten darstellte bzw. die buchstäbliche Bühne für diese bereitstellte. Delay hatte als Akteur die theatrale Bühne betreten.⁵⁹

Grundsätzlich stimmten alle bisher angeführten Autor:innen darin überein, dass im Theaterraum der auf der Bühne produzierte Schall nicht allein auf direk-

59 Der Vollständigkeit halber sei angemerkt, dass das Wissen um Theaterakustiken seinerzeit nur wenig zirkulierte und rezipiert wurde; auch spätere Hörsäle wurden eher nach optischen Belangen errichtet. 1869 schrieb Rodolphe Radau in seiner *Lehre vom Schall* über die „lästige Sonorität“ von Hörsälen, Theatern und Kirchen, „wodurch die Worte des Redners unverständlich werden“: So sei die Aula der Pariser Kunstakademie „einer der schlechtesten Hörsäle, die es giebt, trotz der prachtvollen Fresken“; ebenso sei das „chemische Auditorium in München“ aus diesem Grunde inwendig mit „Wollenzeug“ ausgekleidet worden, um Nachhalleffekte zu vermeiden; und in „der Paulskirche zu Boston versteht man den Prediger nur einmal im Jahre, um Weihnachten, weil an diesem Tage die Kirche ausnahmsweise ausgeschmückt wird.“ Vgl. Radau, Rodolphe (1869): *Die Lehre vom Schall. Gemeinsätzliche Darstellung der Akustik*, München, 164 u. 165. Die Klage über die defizitäre Raumakustik von Schauspielhäusern wiederholte sich beim frühen Rundfunk, da die „lästige Sonorität“ der Innenarchitekturen radiophon mit-übertragen wurde; so konstatierte bereits Rudolf Arnheim: „Bei Übertragungen aus Sälen, aber sehr häufig auch im Konzertsaal selbst, verhindert ein zu starker Raumschall die Verständlichkeit der Darbietung.“ Vgl. Arnheim, Rudolf (2001 [1936]): *Rundfunk als Hörkunst und weitere Aufsätze zum Hörfunk*, Frankfurt a.M., 65.

tem Weg das Publikum erreiche, sondern ebenso Ergebnis des architektonischen Theaterraums selbst sei. Wenngleich nicht intendiert, schreibe sich die Materialität der Räumlichkeit in die Übertragungsanordnung ein. Damit fand im Theaterkontext historisch früh eine Fokussierung sonischer Zeit-Raum-Regime und der formatierenden Materialitäten der Kommunikation statt.⁶⁰ Was die angeführten Autor:innen jedoch unterschied, waren ihre konkurrierenden oder gar divergierenden Vermutungen hinsichtlich der Gestaltung des Theaterraums, damit dieser für ein Publikum akustisch angenehme Wirkung entfalten konnte. Was dies offenbart, ist die ihrerzeit bestehende Vagheit des akustischen Wissens, das auf keine wissenschaftliche Basis fußen konnte, sondern um welches um 1800 erst gerungen werden musste.

Neben der um 1800 beginnenden akustischen Mathematisierung und Theoretisierung der Innenarchitektur theatraler Bauten, kristallisierte sich um 1850 eine Akustemologie der Architekturpraxis, die programmatisch Joseph Henry oder Jabez Baxter Upham verkörperten. Da nach diesem Kapitel, das sich als *Prelude* versteht, die Mediengeschichte des Delays ebenso mit einem historischen Anbeginn circa 1850 verortet wird, lohnt es, kursorisch auf die Situation der Raumakustik anhand der Arbeiten von Henry und Upham zu fokussieren.

Die etwa zur Mitte des 19. Jahrhunderts gebaute Lecture Hall der Smithsonian Institution in Washington, DC, folgte den raumakustischen Empfehlungen, die ihr damaliger erster Sekretär Joseph Henry äußerte. In dieser Lecture Hall erfuhren seine experimentellen Forschungen zur Wahrnehmungsphysiologie des Hörens in architektonischen Innenräumen eine erste Materialisierung.⁶¹ In der Forschungstradition derer stehend, die Schallgeschwindigkeiten nicht mathematisch herleiteten, sondern experimentalpraktisch maßen, trat Schall zuvor bei Henry in seiner Doppelfunktion zutage: als *Objekt* und volatiles *Instrument* der Forschung, da er die menschliche Echoschwelle auf Basis des Schalls *empirisch* bestimmte. Schall fungierte für Henry sowohl als Gegenstand als auch Produzent von Wissen und führte schließlich zu einer elaborierten Definition des Nachhalls:

„Reverberation is produced by repeated reflection of a sound from the walls of the apartment. If, for example, a single detonation takes place in the middle of a long hall with naked

60 Diese Hinwendung zur Materialität der Kommunikation begleitete maßgeblich die Frühphase der elektrischen Telegraphie – allerdings erst Jahrzehnte später. Bspw. fanden die wegbereitenden Experimente von Wilhelm Weber und Carl Friedrich Gauß zur Telegraphie, die in der ersten erfolgreichen elektrotelegraphischen Nachrichtenübertragung in Göttingen mündeten, erst 1833 statt.

61 Vgl. Henry, Joseph (1856): „On Acoustics Applied to Public Buildings“, in: *Tenth Annual Report of the Board of Regents of the Smithsonian Institution*, Washington, D.C., 221-234.

and perpendicular walls, an impulse will pass in each direction, will be reflected from the walls, cross each other again at the point of origin, be again reflected, and so on until the original impulse is entirely absorbed by the solid materials which confine it.”⁶²

Ebenso widmete sich zur Mitte des 19. Jahrhunderts Jabez Upham dem physikalischen Phänomen des Nachhalls. Explizit verwies er auf die ästhetischen Qualitäten des Nachhalls, erwähnte aber auch ein Negativbeispiel: die Vortragsäle des Girard College in Philadelphia. 1846 besuchte er die insgesamt acht Vortragsräume, die sich zu dieser Zeit noch im Bau befanden, „and then ventured the prediction that they could never be made to serve the purpose for which they were intended, unless altered from their original form, owing to the excessive amount of reverberation engendered.”⁶³ Betrugten die Nachhallzeiten in den Räumen bis zu 6 Sekunden, konnte Upham diese durch das Anbringen von Papier und Wolle an den Innenwänden auf 4 Sekunden reduzieren; das Anbringen von Stoff quer durch die Räume verringerte den Nachhall auf lediglich eine halbe Sekunde. Seine daraus resultierenden Überlegungen und Empfehlungen zur innenarchitektonischen Gestaltung von Hörsälen fasste Upham in Beiträgen unter programmatischen Titeln wie „Acoustic Architecture“⁶⁴ zusammen.

Weniger worüber Henry und Upham in ihren Schriften konkret schrieben, ist retrospektiv bezeichnend für den Umgang mit dem Akteur Delay im Kontext der Architekturtheorie um 1850. Interessant ist vielmehr, worüber sie *nicht* schrieben. Als programmatische Repräsentanten der Architekt:innen-Szene um 1850 reflektierten sie über Nachhall und darüber, dass Schall Geschwindigkeiten habe – aber es fehlte ihnen an einem apparativen, messtechnischen Instrumentarium, eben jenen Nachhall oder die wiederholten Schallreflexionen in Innenräumen mathematisch zu konkretisieren. Schall- oder zeitmessende Apparaturen markieren den blinden Fleck ihrer Forschung.⁶⁵

Bereits der ältere Langhans hatte in seinen Schriften akustische Zeit-Raum-Regime antizipiert, wie sie für moderne Medientechnologien des Delays konstitu-

62 Ebd., 226.

63 Upham, J. Baxter (1853): „A Consideration of some of the Phenomena and Laws of Sound, and their application in the Construction of Buildings designed especially for Musical Effects“, in: *The American Journal of Science and Arts* 15(44), 215-225 u. 348-363, 348.

64 Upham, J. Baxter (1852): „Acoustic Architecture, or, the Construction of Buildings with Reference to Sound and the best Musical Effect“, in: *Dwight's Journal of Music. A Paper of Art and Literature* 2(3), v. 23. Oktober, 17-18.

65 Zu apparativen Messtechniken zur Bestimmung von Nachhall, insb. im Unterschied zu den Messtechniken von Clement Sabine, vgl. Tkaczyk, Viktoria (2015): „The Shot is Fired Unheard: Sigmund Exner and the Physiology of Reverberation“, in: *Grey Room* 60, 66-81.

tiv sind, insofern sie mikrotemporale Ökonomien ausprägen. Langhans schrieb von Schallwegen zwischen 50 und 60 Fuß und entsprechenden Echos, die die menschliche Echoschwelle unterschreiten, da sie im „fünf- oder sechshundertsten Theile einer Sekunde“⁶⁶ stattfanden. Messen konnte er solche Mikrotemporalitäten jedoch nicht; dafür wäre eine Expertise um technische Apparaturen vonnöten gewesen, die Architekten ihrerzeit nicht vorweisen konnten. Zwar wurde die oben zitierte und für das Selbstverständnis von Theaterarchitekt:innen seit Ende des 18. Jahrhunderts programmatische Formulierung, ein guter Architekt müsse ebenso ein ‚Physikus‘ sein, wiederholt in der Literatur aufgerufen – nur de facto war dies keiner der genannten Architekten. Das physikalische Grundlagenwissen eigneten sie sich lediglich im Selbststudium an, bspw. durch Chladnis *Die Akustik*. Damit betrat der Akteur Delay im Kontext der Theaterarchitektur die buchstäbliche Bühne und den Diskurs und wurde zum ersten Mal praktisch jenseits zweckfreier physikalischer Forschung – er wurde aber nicht experimentaltechnisch formalisiert. Daher ändert sich nun der historische ‚Schauplatz‘ des Delays vom Theater hin zu elektrophysiologischen Laboren um 1850 und einem tatsächlichen ‚Physikus‘: dem Experimentalpraktiker Hermann von Helmholtz.

66 Langhans (1800): *Vergleichung des neuen Schauspielhauses zu Berlin*, 4.

2. Chronogrammatologie

„Sobald 1/10 Secunde oder noch kleinere Theile mit Sicherheit beobachtet oder gar gemessen werden sollen, müssen wir künstliche Hülfsmittel anwenden.“

– Hermann von Helmholtz, 1850¹

Zeitregistratur bei Hermann von Helmholtz um 1850

Nachdem Hippolyte Louis Fizeau und Eugène Gounelle wenige Monate zuvor die Signalgeschwindigkeit von Elektrizität in Kupfer- und Eisendraht gemessen hatten,² trat der deutsche u.a. Elektrophysiologe Hermann von Helmholtz zur Mitte des 19. Jahrhunderts an, die Fortpflanzungsgeschwindigkeit von elektrischen Impulsen nicht in Metalleitern, sondern Nervenfasern zu bestimmen. Er hob damit die Trennung von Geist und Körper, „jene“, so Friedrich Nietzsche, „gänzlich irrtümliche Scheidung“,³ auf. Die Helmholtz'sche Forschungsfrage, die nach experimentalpraktischer Antwort verlangte, lautete 1850, ob ein irreduzibles und damit messbares Delay zwischen einem Reiz und seiner Wahrnehmung liege:

„Vergeht eine angebbare Zeit bei der Beförderung einer solchen Nachricht, welche von den entfernten Enden der empfindenden Hautnerven oder den Nervenausbreitungen in den Sinnesorganen nach dem Gehirne hineilt, oder einer solchen, welche der Wille vom Gehirn durch die motorischen Nervenfäden zu den Muskeln hinsendet?“⁴

-
- 1 von Helmholtz, Hermann (1851 [1850]): „Ueber die Methoden, kleinste Zeittheile zu messen, und ihre Anwendung für physiologische Zwecke“, in: *Königsberger Naturwissenschaftliche Unterhaltungen* 2, 169-189, 172.
 - 2 Fizeau, Hippolyte Louis/Gounelle, Eugène (1850): „Untersuchungen über die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Elektrizität“, in: *Polytechnisches Journal* 117, 125-128.
 - 3 Zit. n. Bitsch, Annette (2008): „Physiologische Ästhetik. Nietzsches Konzeption des Körpers als Medium“, in: *Nietzscheforschung* 15, 167-188, 167.
 - 4 von Helmholtz (1851): „Ueber die Methoden, kleinste Zeittheile zu messen“, 181.

Damit stieß die Phänomenologie an ihre Grenze und es wurden die Wahrnehmungsleistungen des Subjekts thematisiert – im Sinne der temporalen Vermessung neurophysiologischer Wahrnehmungsleitungen. Denn dass „wir“ so etwas „an uns selbst“ nicht bemerken, so Helmholtz, liege schließlich daran, dass sich unsere Wahrnehmung unserer Wahrnehmung entzieht: „wir [können] natürlich nicht schneller wahrnehmen (...), als unsere Empfindungsnerven, die nothwendigen Vermittler aller unsrer Wahrnehmungen, sie uns zukommen lassen“.⁵ Nach dem Vorbild von Kupfer- oder Eisendraht war das menschliche Nervensystem in der Ausgangsfrage von Helmholtz als Kabelnetzwerk interpretiert worden: ein Netz, welches Wahrnehmung, verstanden als innerkörperliche Nachrichtenübertragung, zeitlich bedingt. Als epistemische Konsequenz hatte Helmholtz einerseits die philosophische Frage nach der Wahrnehmung in eine physiologische zu konvertieren. Andererseits galt es ihm notwendigerweise – im Unterschied zur empirischen Architekturtheorie des Nachhalls zuvor –, technische Sensoren der Messung zu verwenden. Denn seine Forschungsfrage sah sich mit dem anthropologischen Problem konfrontiert, dass menschliche Sensorien zwar vieles wahrnehmen können, nur die Zeitlichkeit ihrer Wahrnehmung selbst eben nicht.

Emil du Bois-Reymond – nicht nur Kollege, sondern auch Freund von Helmholtz, mit Scheu vor allen, die nicht Physiologen waren⁶ und der als vehementer Vertreter der *hard science* Goethes Faust nachrief, dieser hätte besser Elektrisiermaschine und Luftpumpe erfinden sollen⁷ – hatte bereits bewiesen, dass die Leitung von Reizen durch tierische Nerven „mit einer veränderten Anordnung ihrer materiellen Moleküle mindestens eng verbunden, vielleicht sogar wesentlich durch sie bedingt ist.“⁸ Dadurch wurden zwei Dinge klar. *Erstens*, dass im Gegensatz zur vormaligen Behauptung Johannes Müllers die Reizleitung im Nerven keine instantane sein kann. Müller ging zuvor sogar so weit zu behaupten, dass es die Hilfsmittel zur Bestimmung der Fortpflanzungszeit von Reizen in Nerven wohl nie geben werde.⁹ Allerdings haben Impulse in Nerven genau wie der Schall in der

5 Ebd.

6 So laut Helmholtz in einem Brief an du Bois-Reymond vom 19.08.1849, vgl. Kirsten, Christa (1986) (Hrsg.), *Dokumente einer Freundschaft. Briefwechsel zwischen Hermann von Helmholtz und Emil du Bois-Reymond 1846-1894*, Berlin, 85.

7 Vgl. du Bois-Reymond, Emil (1883): *Goethe und kein Ende. Rede bei Antritt des Rectorats der Königlichen Friedrich-Wilhelms-Universität zu Berlin am 15. October 1882*, Leipzig, 23.

8 von Helmholtz, Hermann (1850): „Messungen über den zeitlichen Verlauf der Zuckung animalischer Muskeln und die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Reizung in den Nerven“, in: *Archiv für Anatomie, Physiologie und wissenschaftliche Medicin* 27, 276-364, 331.

9 Vgl. Donders, Franciscus Cornelis (1868): „Die Schnelligkeit psychischer Prozesse“, in: *Archiv für Anatomie, Physiologie und wissenschaftliche Medicin* 35, 657-681, 660.

Luft eine je konkrete Geschwindigkeit – daran erinnerte Helmholtz und verortete seine Experimente in der epistemischen Tradition der Konkretisierung der Schallgeschwindigkeit.¹⁰ *Zweitens* wurde deutlich, dass biologische Nerven als elektrotechnische Leiter beschreibbar werden, sodass Helmholtz' Bestimmung der Geschwindigkeit von Impulsen in Nerven zu einem protokybernetischen Vorhaben avancierte. Er maß nicht die immanente Zeitlichkeit von Kabeln, mithin technischen Systemen, sondern die Zeitlichkeit biologischer Nachrichtenübertragung – ganz gemäß des Vorhabens Norbert Wieners, Kommunikation in Mensch und Maschine als einander ebenbürtig zu untersuchen.¹¹ Helmholtz verglich Nerven explizit mit Drähten:

„[S]o dürfen wir die Nervenfasern nicht unpassend mit den electrischen Telegraphendrähten vergleichen, welche einmal augenblicklich jede Nachricht von den äußersten Grenzen her dem regierenden Centrum zuführen, und dann ebenso dessen Willensmeinung nach jedem einzelnen Theile des Ganzen zurückbringen, um daselbst in Ausführung zu kommen.“¹²

Wie der Körper die Wahrnehmung bedingt, untersuchte Helmholtz zunächst am „alten Märtyrer der Wissenschaft“:¹³ dem Frosch. Der Frosch war für seine Experimente geeignet, weil bei warmblütigen Tieren die Reizbarkeit der Muskeln nach dem Tod schnell abnimmt und andererseits Fischmuskeln wesentlich schwächer auf Reizungen reagieren. Nun sind Frösche – wie im Übrigen auch Katzen¹⁴ – sel-

10 von Helmholtz (1851): „Ueber die Methoden, kleinste Zeittheile zu messen“, 182.

11 Vgl. das schon dem Titel nach programmatische Grundlagenwerk Wiener, Norbert (1948): *Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine*, Cambridge, MA.

12 von Helmholtz (1851): „Ueber die Methoden, kleinste Zeittheile zu messen“, 181.

13 von Helmholtz, Hermann (1845): „Ueber den Stoffverbrauch bei der Muskelaktion“, in: *Archiv für Anatomie, Physiologie und wissenschaftliche Medicin*, 72-83, 74. Zum Status des Frosches in der Wissenschafts- und Wissensgeschichte vgl. Hüppauf, Bernd (2014): *Vom Frosch. Eine Kulturgeschichte zwischen Tierphilosophie und Ökologie*, Bielefeld, 201-294.

14 Tiere werden allenfalls temporär zum Medium, wenn über Nervenbahnen dieselben Signale gesendet werden wie bspw. über Telefondrähte und damit zwischen biologischen und technischen Systemen keine operative Differenz besteht: Im Jahr 1929 wiederholten Ernest Glen Wever und Charles W. Bray die Urszene des Telefons – nur ohne ein Telefon als Sender. Stattdessen verschalteten sie eine lebende Katze in ein Telefonsystem, indem sie einen Teil des Katzenschädels und -gehirns entfernten, den freigelegten rechten Hörnerven mit einer Elektrode versahen und den Aktionsstrom im Nerven nach Klangstimulation des Ohres abnahmen. Nach Verstärkung wurden die durch die Katze empfangenen Signale, die ein Forscher dem Katzenohr mitteilte, durch einen Telefonempfänger in einem anderen Raum wieder akustisch ausgegeben. Die Forscher stellten zur Tauglichkeit des Systems fest: „Speech was transmitted with great fidelity. Simple commands, counting and the like were easily received. Indeed, under good condition the system was em-

ten im Mediumszustand.¹⁵ Für den Elektrophysiologen Helmholtz waren Froschmuskeln aber Empfänger elektrischer Impulse und Nerven ihre Leiter. Sendet normalerweise ein Froschhirn Impulse zur Erregung bestimmter Muskeln, kann dieser Vorgang durch die elektrische Reizung eines Muskels bzw. seiner Nerven simuliert werden, wodurch das Froschhirn für den Vorgang praktischerweise obsolet wird. Wo „Wille“ war, herrschte der „electrische Strom“,¹⁶ der Froschmuskel zuckte ohne Impuls des Zentralorgans des Nervensystems, sondern auf Wunsch des Experimentators. Und dieser konnte zeigen, dass Zuckungen des Muskels später einsetzten, wenn die Reizung seiner Nerven an einer Stelle geschah, wo sie eine längere Strecke zum Muskel hin übertragen wurde – und früher bei einer kürzeren Übertragungsstrecke. Helmholtz schrieb dabei explizit von Muskeln als Empfängern¹⁷ und bei du Bois-Reymond avancierten Froschbeine zu „stromprüfenden Froschschenkeln“¹⁸ – eine Formulierung, die eher an technische Messgeräte wie das Galvanometer,¹⁹ als an biologische Körperteile denken lässt. Und schon bei Alessandro Volta begann die Mediengeschichte des Froschs, der über diesen als sensibles Messgerät für Elektrizität schrieb, man könne ihn mit Recht „thierisches

ployed as a means of communication between operating and sound-proof rooms.“ Wever, Ernest Glen/Bray, Charles W. (1930): „Action Currents in the Auditory Nerve in Response to Acoustical Stimulation“, in: *Proceedings of the National Academy of Science* 16, 344-350, 345. Das lebende Tier versorgte das elektroakustische System mit Energie und das Katzenohr stellte einen passablen Transducer dar. Nur das ‚die away‘ des Tiers galt zugleich für den zu übertragenden Ton. Vgl. auch Sterne, Jonathan (2009). „The Cat Telephone“, in: *The Velvet Light Trap* 64(1), 83-84.

15 Vgl. Rieger, Stefan (2008): „Der Frosch – ein Medium?“, in: Alexander Roesler/Stefan Münker (Hrsg.), *Was ist ein Medium?*, Frankfurt a.M., 285-303.

16 von Helmholtz (1851): „Ueber die Methoden, kleinste Zeittheile zu messen“, 182.

17 Ebd., 181.

18 du Bois-Reymond, Emil (1849): *Untersuchungen über thierische Elektricität. Zweiter Band. Dritter Abschnitt*, Berlin, 87.

19 Über dieses hieß es bei James Clark Maxwell: „An instrument which indicates the strength of an electric current by its magnetic effects is called a Galvanometer.“ Maxwell, James Clerk (1881): *A Treatise on Electricity and Magnetism. Vol. I. Second Edition*, London, 332. Vor der Erfindung technischer Galvanometer waren es oft physiologische Körper, die Stromstärke maßen, mitunter die organischen Körper der Physiker selbst: „Heroen wie Johann Wilhelm Ritter oder Jan Purkinje ermaßen unter unsäglichen Schmerzen die Stärke der Stromschläge an den Farb- bzw. Tonempfindungen, die sie im Auge oder Ohr hervorriefen.“ Siegert, Bernhard (1999): „Das Leben zählt nicht. Natur- und Geisteswissenschaften bei Wilhem Dilthey aus mediengeschichtlicher Sicht“, in: Claus Pias (Hrsg.), *[me'dien]i. dreizehn vortraege zur medienkultur*, Weimar, 161-182, 167.

Elektrometer' nennen, das „andere noch so empfindliche Elektrizitätsmesser, durch das Anzeigen der schwächsten Ladungen“ übertreffe.²⁰

„Die Wahrnehmung von Zeitunterschieden mittels unserer Sinne ohne Anwendung künstlicher Hülfsmittel ist keine sehr feine“,²¹ so Helmholtz. Insbesondere nicht, wenn Zeitunterschiede von verschiedenen Sinnesorganen, bspw. Auge und Ohr, wahrgenommen werden sollen. Bewusst wurde dieses neurophysiologische Synchronisationsproblem bereits in der Praxis der Astronomie, wo Sterndurchläufe zeitlich exakt angegeben werden sollten.²² So berichtete der deutsche u.a. Astronom Friedrich Wilhelm Bessel 1823 von der Differenz in der astronomischen Zeitbestimmung von Sterndurchgängen bei Messungen verschiedener Forscher:innen, die durch mangelnde Synchronität von Auge (Stern mit Fernrohr fixieren) und Ohr (Pendelschlag einer Uhr hören) entstünden, sodass „kein Beobachter (...) sicher sein kann, absolute Zeitmomente richtig anzugeben.“²³ Anders formuliert: Was bestimmt wurde, war weniger das eigentliche Ereignis, als vielmehr der Mensch mit seiner Persönlichen Gleichung – d.h. seiner Reiz-Reaktionszeit –, die bei verschiedenen Forscher:innen bis zu einer Sekunde variieren konnte.²⁴ Helmholtz kommentierte dies wie folgt:

20 Volta, Alexander [Alessandro] (1793): *Schriften über die thierische Elektrizität*, hrsg. v. Johann Mayer, Prag, 93.

21 von Helmholtz (1851): „Ueber die Methoden, kleinste Zeittheile zu messen“, 170.

22 Vgl. Dreyer, John L. E. (1877): „On Personal Errors in Astronomical Transit Observations“, in: *Proceedings of the Royal Irish Academy. Science, 1875-1877* 2, 484-528.

23 Bessel, Friedrich Wilhelm (1876 [1823]): „Persönliche Gleichung bei Durchgangsbeobachtungen“, in: ders.: *Abhandlungen in drei Bänden. Band III*, hrsg. v. Rudolf Engelmann, Leipzig, 300-304, 303. Zur frühen Arbeit an Persönlichen Gleichungen siehe Schaffer, Simon (1988): „Astronomers Mark Time: Discipline and the Personal Equation“, in: *Science in Context* 2(1), 115-145.

24 Vgl. Exner, Sigmund (1873): „Experimentelle Untersuchung der einfachsten psychischen Prozesse“, in: *Archiv für die gesamte Physiologie des Menschen und der Thiere* 7(1), 601-660, 602-603. Exner zeichnete die Entdeckung der Persönlichen Gleichung im Kontext der Sternbeobachtung Ende des 18. Jahrhunderts nach und verwies auf den Astronomen Nevil Maskeleyne. Dieser beklagte in den *Annalen der Greenwicher Sternwarte* 1795, dass er seinen Assistenten Kinnebrook nicht mehr brauchen könne, da er den Durchgang von Sternen durch den Meridian immer zu spät beobachtete. Zum Zwecke der Messung individueller Reiz-Reaktions-Zeiten wurde die „Personal-Equationsmaschine“ konstruiert, die 1884 präsentiert wurde. Diese erzeugte durch Reflexion einen künstlichen Stern, der sich automatisch vor einem Teleskop mit fünf Haarlinien bewegte. Im Moment des vermeintlichen Durchgangs des Sterns durch jede Haarlinie musste ein Beobachter einen Knopf drücken. Diese Zeitpunkte wurden mit einem Chronographen verzeichnet. Zudem vermerkte der Chronograph automatisch den tatsächlichen Zeitpunkt des Sterndurchgangs; die zeitliche Differenz beider Markierungen entsprach der Persönlichen Gleichung: „Die Differenz zwischen dem wirklichen und vermeintlichen Uebergang zeigt die Zeit, die in Anrechnung gebracht werden muss, wenn ein Teleskop nach wirklichen Ster-

„Nehmen wir an diese beiden [Extreme] wichen um gleich viel in entgegengesetztem Sinne von der Wahrheit ab, so folgt daraus, daß auch bei der sorgfältigsten Einübung und der größten Aufmerksamkeit, der Mensch sich in der Bestimmung der Gleichzeitigkeit einer Gesichts- und einer Gehörwahrnehmung mindestens um eine halbe Secunde irren kann.“²⁵

Auch wenn Signale über dieselben Sinnesbahnen übertragen würden, sei eine physiologische Unschärfe vorhanden, wie Helmholtz korrekt anmerkte, und das Dispositiv Kinematographie implizierte. Wenn nämlich zwei optische Signale wie ein kurzes Blitzen unter 1/10 Sekunde hintereinander aufträten, „so verschmelzen beide Erscheinungen in eine (...)“,²⁶ was sich an Farbenkreiseln empirisch überprüfen lasse. Damit war Zeit zur Erklärung der optischen Wahrnehmungsschwelle geworden, die später bei unter anderem Karl Ernst von Baer zur Schwelle des Bewusstseins werden sollte.²⁷ Das Ohr hingegen, so Helmholtz, sei wesentlich zeitkritischer und könne in der Sekunde bis zu 32 Stöße als separate Klangereignisse wahrnehmen; erst ab 32 Einzelschlägen stelle sich ein gleichmäßig anhaltender Ton ein, der höher wird, wenn sich die Zahl der diskreten Einzelschläge erhöht.

Menschliche Wahrnehmung ist eine kontinuierliche, wohingegen Messtechnik Zeit zu diskretisieren vermag. Da der Fokus der Helmholtz'schen Experimentalforschung auf Mikrotemporalitäten lag, ergab sich für die Arbeitsutensilien seines Labors eine nachhaltige Konsequenz. Zur physiologischen Methode musste es werden, den Menschen nicht mehr zu beschreiben, sondern messtechnisch zu bestimmen. Die Verschaltung eines menschlichen Beobachters hätte Messergebnisse notwendigerweise verfälscht und es galt, was noch heute in der Ortungstechnik gilt: Die „Ungenauigkeit unserer Sinne“²⁸ setzt auf Subjekten beruhenden Experimentalanordnungen physiologische Grenzen. Wissen um Wahrnehmung war bei Helmholtz nicht länger Sache des philosophischen Denkens, sondern des neuro-

nen gerichtet ist.“ Anonym (1884): „Die Ausstellung in Philadelphia“, in: *Zeitschrift für Elektrotechnik* 2(19), 606-607, 607.

25 von Helmholtz (1851): „Ueber die Methoden, kleinste Zeittheile zu messen“, 170.

26 Ebd., 171.

27 Nach Baer ist die Zehntelsekunde die Mindestdauer der Empfindung: „Indessen ist das eigentliche Grundmaß, mit welchem unsere Empfindung wirklich mißt, noch kleiner [als der Pulsschlag], nämlich die Zeit, die wir brauchen, um uns eines Eindrucks auf unsere Sinnesorgane bewußt zu werden (...) Als mittleres Maß [für die Dauer einer Sinnesempfindung] kann man etwa 1/6 Sekunde annehmen, wenigstens 1/10. Da nun unser geistiges Leben in dem Bewußtsein der Veränderung in unserm Vorstellungsvermögen besteht, so haben wir in jeder Sekunde durchschnittlich etwa sechs Lebensmomente, höchstens zehn.“ von Baer, Karl Ernst (1907): *Schriften. Eingeleitet und ausgewählt von Remigius Stölzle*, Stuttgart, 141-142.

28 von Helmholtz (1851): „Ueber die Methoden, kleinste Zeittheile zu messen“, 174.

physiologischen Messens, um das Unwahrnehmbare der Wahrnehmung selbst zu adressieren, wie es Annette Bitsch formulierte:

„Sobald die cartesische Frage nach dem Sein in eine Zeitfrage physiologischer Art konvertiert wird, fallen Seinsgewissheit und Seinstransparenz in die Unmöglichkeit – etwas, *es*, das bei Helmholtz neurophysiologisch bestimmt ist, unterläuft unwiderruflich die bewusste Wahrnehmung und damit die Möglichkeit jedes selbstreferentiellen Denkaktes.“²⁹

Für die messtechnische Beantwortung seiner Forschungsfrage konnte sich Helmholtz – mithilfe seiner Frau Olga³⁰ – zweier Zeitmessverfahren bedienen, die einem anderen Diskurs entstammten und über welche er 1850 ausführlich berichtete.³¹ Einerseits ein Verfahren, das Zeit- als Raumunterschiede visualisierte, um Zeit- als graphische Raumunterschiede messbar zu machen. Andererseits ein Verfahren, das die Wirkung eines Stroms auf einen an einem Faden hängenden Magneten nutzte, dessen Schwingungsbogen sodann proportional zur Dauer des Vorgangs war, wenn Anfang und Ende des zu messenden Vorgangs mit dem Anfang und Ende des s.g. zeitmessenden Stroms synchronisiert war. Beide Verfahren waren um 1850 vergleichsweise jung und ersetzten teils das Pendel, das zuvor als Instrument für Zeitmessungen diente.³²

Zeit- als Raumdifferenz & zeitmessender Strom

Erstere Methode war bereits von u.a. Werner von Siemens beschrieben und verbessert worden³³ und war nicht in der Elektrophysiologie beheimatet, sondern im Militär. Um nämlich die Ballistik von Geschützkugeln zu berechnen, ist ein Wissen

29 Bitsch, Annette (2009): *Diskrete Gespenster. Die Genealogie des Unbewussten aus der Medientheorie und Philosophie der Zeit*, Bielefeld, 286.

30 Helmholtz berichtete hierüber in einem Brief an du Bois-Reymond vom 14.10.1849: „Meine Frau [...] steht mir treulichst bei meinen Versuchen als Protokollführerin der beobachteten Skalenteile, was sehr nötig ist, weil ich allein vollständig konfus werde, wenn ich auf so viele Dinge gleichzeitig achtgeben soll, als da sind: Umlegen höchst verwickelter Drahtleitungen mit Nebenströmen zweiter Ordnung, Einstellen des Muskels, Auflegen der Gewichte, Ablesen der Skalenteile, rechtzeitiges Öffnen und Schließen der Kette.“ Vgl. Kirsten (1986), *Dokumente einer Freundschaft*, 88.

31 von Helmholtz (1850): „Messungen über den zeitlichen Verlauf“ und von Helmholtz (1851): „Ueber die Methoden, kleinste Zeittheile zu messen“.

32 Hierzu ausführlicher Kassung, Christian (2007): *Das Pendel. Eine Wissensgeschichte*, München, insb. 91-115.

33 Siemens, Werner (1847): „Ueber Geschwindigkeitsmessung“, in: *Fortschritte der Physik im Jahre 1845* 1, 47-72.

um ihre Fluggeschwindigkeit und die Dauer der Entzündung des Pulvers im Gewehrlauf notwendig. Siemens studierte drei Jahre an der Artillerie- und Ingenieurschule in Charlottenburg (damals bei, heute in Berlin) und war seit 1839 Leutnant Siemens in der preußischen Artillerie. Siemens' Zeitmesser war eine Scheibe, die sich drehte, ähnlich wie es später Schallplatten tun sollten. Die Oberfläche der Platte war untergliedert, bspw. in Winkelgrade. In dieser Experimentalanordnung musste die Drehgeschwindigkeit der Scheibe bekannt sein und mit einer Zeitreferenz synchronisiert, hier einem Uhrwerk mit Regelpendel, sodass die Scheibe bspw. in einer Sekunde eine vollständige Umdrehung um 360° vollzog. Wenn nun eine kleine Schreibspitze zwei diskrete Markierungen auf der Scheibe machte, war die Zeit, die zwischen beiden Markierungen vergangen war, bei bekannter Rotationsgeschwindigkeit aus der Summe der zwischen ihnen liegenden Winkelgrade ableitbar.

So weit war diese Methode 1845 bekannt. Das Novum Siemens' in der Verbesserung des Systems bestand darin, auf Mechanik größtmöglich zu verzichten und die Zeitschreibung nicht mit Schreibstiften zu realisieren, sondern „die Elektrizität selbst zeichnen zu lassen“,³⁴ um Messungen auf ihren dromologischen Grenzwert, nämlich die Geschwindigkeit von Elektrizität, zu bringen. Was nun blitzte, provozierte keinen Donner, sondern war elektrischer Funke: Der dunkle Fleck, den ein elektrischer Funke auf einer rotierenden Stahlplatte erzeugte, markierte Zeitpunkte. Verbindet eine Kugel nämlich auf ihrer Flugbahn die isolierten Drähte eines Drahtnetzes, wobei der dazugehörige Stromkreis eine Leidener Flasche sowie eine rotierende Stahlplatte und eine stromleitende Stiftspitze miteinander verschaltete, funkt es. Oder in den Worten des Erfinders:

„Mein auf dieser Wirkung des Funkens begründeter Plan war nun der, einen möglichst leichtconstruirten und möglichst schnell und gleichmäßig rotirenden Stahlcylinder als Zeitmesser zu benutzen und die Dauer einer Bewegung dadurch zu messen, daß beim Beginn und am Ende derselben ein Funke aus einer dem rotirenden Cylinder dicht gegenüberstehenden Spitze auf diesen überspringt. Der Abstand der Punkte von einander giebt dann mit vollkommener Sicherheit den Zeitverbrauch, wenn nur der Cylinder richtig getheilt war und gleichmäßig rotirte. Hierin lag ohnstreitig die größte Schwierigkeit (...).“³⁵

Bei Emil du Bois-Reymond waren die Überlegungen, die präzise Zeitmessung aus der Ballistik in den Bereich der physiologischen Forschung zu transferieren, bloß Theorie. Helmholtz sollte diesen Transfer praktizieren. Auch bei ihm zeichnete

34 von Helmholtz (1851): „Ueber die Methoden, kleinste Zeittheile zu messen“, 175.

35 Siemens (1847): „Ueber Geschwindigkeitsmessung“, 66.

sich die Kontraktion eines Froschmuskels selbst, wie schon bei Siemens die Elektrizität selbst ‚zeichnete‘. In Ermangelung photographischer Fixierung hatte Helmholtz dabei das Problem der Reibung, diesem physikalisch irreduziblen Rest jeder noch so feinen materiellen Aufzeichnung. Die geringste Reibung fand er im Selbstzeichnen auf angerußtem Glas.³⁶ Hierfür war in einer Konstruktion über Zwischenstücke ein Gewicht an einen Froschmuskel gehängt. Eines dieser Zwischenstücke trug an einem Querarm eine Stahlspitze, die auf einer fortbewegten, angerußten Glasplatte oder auf einem rotierenden Zylinder zeichnete. Wurde ein in die Apparatur eingehängter Froschmuskel elektrisch gereizt, wurde seine Kontraktion als Zeitlinie im Ruß deutlich: „Der zuckende Muskel zeichnete auf diese Weise Curven, deren horizontale Abscissen der Zeit proportional, deren vertikale Ordinaten der Erhebung des Gewichtes gleich waren.“³⁷

Mit anderen Worten: Während Siemens' Methode mit Leerstellen operierte – ideal digital, wenn man so will – zeichnete Helmholtz' Froschmuskel qua fester Kopplung im Kontinuum des Realen wie die bekannten Sphygmographen von Karl von Vierordt, Étienne-Jules Marey oder Carl Ludwig.³⁸ Muskelkontraktion als transitorisches Intervall kam bei Helmholtz in einem Koordinatensystem zur graphischen Linearisierung, um es zeitlich zu bestimmen. Die ‚Zeitachse‘ war nunmehr eine technikinduzierte Darstellung von Zeit nach den linearen Bedingungen der „Graphischen Methode“: Dem ‚Links‘ des graphisch stillgestellten Ereignisses entsprach von nun an ein ‚Früher‘ und die der technischen Zeit-Schrift inhärente Ein-dimensionalität stellte das Imaginäre einer Gerichtetheit von Zeit dar. Ein Zeitergebnis war chronographisch fixiert worden, um es wieder und wieder befragen, manipulieren, übersetzen, reproduzieren usw. zu können. Damit hatten mikrotemporale Intervalle ihre visuelle Logik und d.h. kleine Zeitdifferenzen ihr Imaginäres zur Mitte des 19. Jahrhunderts gefunden und konnten definieren, was als mechanisch objektiv gelten durfte.

Mit den angefertigten Kurvenbildern war bewiesen, dass Froschmuskeln im Kontinuum kontrahieren. Aufgrund der Anstiegszeit der Kontraktion musste Helmholtz eine Reihe von Reizungsexperimenten durchführen, um zu beweisen, dass die verschiedenen Stufen der Zuckung des Froschmuskels mit einer relativen Verzögerung einsetzten, wenn die Nervenstrecke bis zur Muskelreizung eine grö-

36 von Helmholtz (1850): „Messungen über den zeitlichen Verlauf“, 284.

37 Ebd., 281.

38 Ludwig, Carl (1847): „Beiträge zur Kenntniss des Einflusses der Respirationsbewegungen auf den Blutlauf im Aortensystem“, in: *Archiv für Anatomie, Physiologie und wissenschaftliche Medizin*, 242-302. Eine Übersicht über damalige Pulsschreiber, ihre Geschichte und Anwendung in der diagnostischen Praxis gibt die Quelle Dudgeon, R. E. (1882): *The Sphygmograph. Its History and Use as an Aid to Diagnosis in Ordinary Practice*, London.

ßere war und ein konkreter Faktor c , die Nervenleitgeschwindigkeit, ermittelt werden konnte. Und „[d]as“, so Helmholtz, „findet sich aber in der That so.“³⁹ Nur ließ es sich nicht mit seiner ersten, einfachen Experimentalmethode nachweisen.

Da das beschriebene Messverfahren 1850 keine exakten Messdaten hervorbrachte und nicht der exakten Angabe der Fortpflanzungsgeschwindigkeit in Nervenfasern dienen konnte, nutzte Helmholtz ein zweites Verfahren: Eine Methode, die wiederum Antwort auf die bereits erwähnte ballistische Frage nach der Fluggeschwindigkeit von Geschossen und der Dauer der Entzündung von Schießpulver geben sollte und die auf den französischen Physiker Claude Pouillet zurückgeht (vgl. Abb. 3).⁴⁰ Die Messmethode übersetzte nicht mehr Zeit- in chronographische Raumunterschiede, sondern machte Dauer durch die Intensität des Ausschlags einer Galvanometernadel errechenbar. Die Methode basierte auf der physikalischen Wirkung des elektrischen Stroms, die – so Pouillet – den Vorteil hat, „augenblicklich einzutreten“, weshalb sie „mit der größten Genauigkeit meßbar“ sei.⁴¹

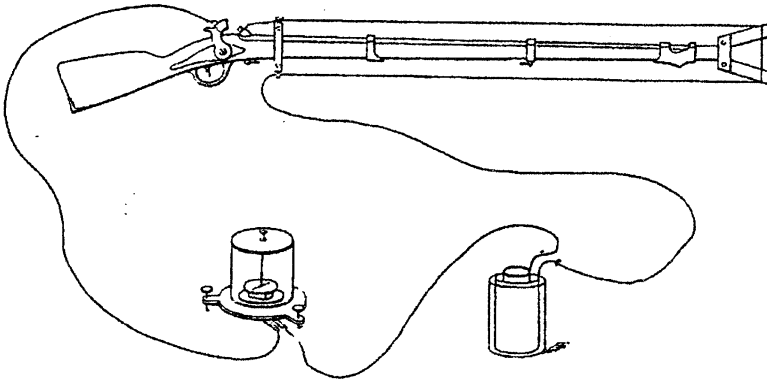


Abbildung 3: Zeitmessung mit Pouillet'scher Methode. Durch das Betätigen des Abzugs des Gewehrs wird ein Stromkreis von bestimmter Intensität geschlossen. Der Austritt der Kugel aus dem Gewehrlauf durchschlägt den Stromkreis wiederum, indem er einen Draht durch-

39 von Helmholtz (1851): „Ueber die Methoden, kleinste Zeittheile zu messen“, 183.

40 Pouillet, Claude (1844): „Note sur un moyen de mesurer des intervalles de temps extrêmement courts, comme la durée du choc des corps élastiques, celle du débandement des ressorts, de l'inflammation de la poudre, etc.; et sur un moyen nouveau de comparer les intensités des courants électriques, soit permanents, soit instantanés“, in: *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences* 19, 1384-1389.

41 Pouillet, Claude (1837): „Ueber die Volta'sche Säule und über das allgemeine Gesetz für die Intensität der Ströme einer einfachen Kette und einer Säule von grosser oder kleiner Spannung“, in: *Annalen der Physik und Chemie* 42, 281-297, 281-282.

trennt. Der Ausschlag der Galvanometernadel (unten links im Bild) ist Referent für das Delay zwischen Schließen und Öffnen des Stromkreises. Abbildung aus einer Quelle von 1849.

Helmholtz maß mit der Methode die elektromagnetische Wirkung einer Kupferdrahtspule auf einen an einem Kokonfaden schwebenden Magneten,⁴² wobei sich die Kupferdrahtspule eben nur dann wie ein Magnet verhielt, wenn sie elektrisiert worden war. Sobald Strom durch die Spule in Helmholtz' Versuchsaufbau floss, zog diese einen Pol des Magneten an. War die Kupferdrahtspule nicht mehr elektrisiert, hatte sie keine Wirkung mehr auf den Magneten, welcher nun „regelmäßige Schwingungen“ machte, „deren Größe sich nur äußerst langsam ändert und daher mit voller Muße bestimmt werden kann.“⁴³ Durch Beobachtung des Schwingungsbogens ließ sich ableiten, wie viel Strom durch die Drahtspule geflossen war, um den Magneten anzuziehen – mit anderen Worten: es wurde an den Schwingungen sichtbar, *wie lange* die Drahtspule den Magneten angezogen hatte. Elektrischer Strom war zum „zeitmessenden Strom“⁴⁴ geworden. Mit diesem maß Helmholtz den Zeitunterschied, wenn ein Froschmuskel direkt und indirekt über verschiedenen lange Froschnerven gereizt wurde. Helmholtz kommentierte die mit dieser Methode durchgeführten Versuche wie folgt:

„Wenn man Messungen über die Zeit anstellt, welche zwischen der Reizung des Nerven und der Erhebung der Ueberlastung durch den Muskel vergeht, stellt sich heraus, dass sie von der Stelle des Nerven abhängig ist, auf welche man den elektrischen Schlag einwirken lässt, und zwar desto grösser, ein je grösseres Stück des Nerven sich zwischen der gereizten Stelle und dem Muskel befindet.“⁴⁵

Damit galt für biologische Leiter, was im historischen Kontext bereits an Telegraphendrähten gemessen worden war. Kanallänge verhielt sich proportional zur Übertragungszeit: Froschnerven hatten spezifische Delays. Dabei erinnerte Helmholtz bei der Beschreibung seiner Experimente fortwährend an die zeitkritischen Bedingungen, denen seine apparative Messmethode selbst unterlag. Zwar mochte bspw. sein verwendeter Induktionsstrom eine Dauer gehabt haben, die „verschwindend klein“⁴⁶ war, aber dennoch war sie genau dies: eine Dauer. Um zeitkritische Bedingtheit zu erforschen, widmete sich Helmholtz unweigerlich der zeit-

42 von Helmholtz (1851): „Ueber die Methoden, kleinste Zeittheile zu messen“, 178.

43 Ebd.

44 Ebd., 179.

45 von Helmholtz (1850): „Messungen über den zeitlichen Verlauf“, 328.

46 Ebd., 296.

kritischen Bedingung, denn seine Verzeichnung des Realen war derart mikrotemporal, dass er die Skalierung der Messung überall dort verfeinerte, wo er die Grenze bisheriger Messungen erreichte. Bevor also Messergebnisse als valide gelten durften, musste Helmholtz seine eigene Messapparatur vermessen: „Ich [H.v. Helmholtz] musste darum nach Mitteln suchen, wodurch ich mich überzeugen konnte, dass die Dauer der angewendeten Ströme auch gegen so kleine Zeiträume nicht in Betracht kommt, wie die von mir gemessenen sind.“⁴⁷ Durch experimentelle Messreihen limitierte Helmholtz die Fehlergröße auf 1/400 des Gesamtwertes und ermittelte als Reizleitgeschwindigkeit der Nerven des Frosches 26,4 m/s – eine für Helmholtz unerwartet geringe Geschwindigkeit von lediglich rund einem Zehntel der Schallgeschwindigkeit in der Luft.⁴⁸

Für den Menschen nahm Helmholtz eine Nervenleitgeschwindigkeit von 60 m/s an, plus eine Prozessierungszeit im Gehirn von einer Zehntelsekunde. Die Messungen dieser Zeit nahm Helmholtz mit ähnlichen Apparaturen vor, wie er sie für Froschnerven nutzte. Versuchspersonen wurden leichte Elektroschläge gegeben und die Proband:innen mussten diesen qua bestimmter Hand- oder Zahnbewegung anzeigen. So zeitbehaftet diese menschliche Reaktion sein mochte, konnte bei konditionierten Proband:innen die Reizleitgeschwindigkeit bestimmt werden, wenn Reaktionszeiten identisch blieben, aber nicht die Stelle der Reizung: „Es ergibt sich z.B., daß eine Nachricht vom großen Zehen etwa 1/30 Secunde später ankommt, als eine vom Ohr oder Gesicht.“⁴⁹ Zum Glück, so kommentierte Helmholtz die unerwartet geringe Nervenleitgeschwindigkeit, sind die menschlichen Nervenbahnen kurz, „sonst würden wir mit unserm Selbstbewußtsein weit hinter der Gegenwart und selbst hinter den Schallwahrnehmungen herhinken“.⁵⁰

Der Nachteil der Pouillet'schen Methode war, dass für valide Experimentalergebnisse lange und aufwendige Reihen von Messungen notwendig waren. Helmholtz setzte daher sein ursprüngliches Vorhaben in die Tat um: die Verbesserung des chronographischen Messverfahrens. Sein erklärtes Ziel war es seit 1850, einen

47 Ebd., 296-297.

48 von Helmholtz (1851): „Ueber die Methoden, kleinste Zeittheile zu messen“, 184-185.

49 Ebd., 187.

50 Mit der nonchalanten Nüchternheit eines Physiologen und unter Bezugnahme darauf, dass Menschen keine Wale seien, kommentierte Helmholtz weiterhin: „Glücklicher Weise sind die Strecken kurz, welche unsere Sinneswahrnehmungen zu durchlaufen haben (...) daß wir es nicht bemerken und in unserm practischen Interesse nicht dadurch berührt werden. Für einen ordentlichen Wallfisch [sic] ist es vielleicht schlimmer; denn aller Wahrscheinlichkeit nach erfährt er vielleicht erst nach einer Secunde die Verletzung seines Schwanzes, und braucht eine zweite Secunde um dem Schwanz zu befehlen, er solle sich wehren“, ebd., 189.

Apparat zu konstruieren, der Ergebnisse binnen weniger Minuten zur Evidenz brachte, d.h. die Visualisierung mikrotemporaler Ereignisse zeitökonomisch vollzog. Für eine solche Apparatur war seine erste Messmethode nach Werner von Siemens – die Visualisierung von Zeit- als Raumunterschied – bloß Grundlage, die Anwendbarkeit eines chronographischen Verfahrens überhaupt zu testen. Gleichwohl Helmholtz diesen Begriff nicht nutzte, galt es ihm, einen Kymographen⁵¹ zu konstruieren, der Kurvenbilder semi-automatisiert anzufertigen erlaubte. Bereits im September 1850 schrieb er an du Bois-Reymond, dass er sich einen Apparat mit rotierendem Zylinder bauen lasse, mit dem er hoffte, „jedermann durch einen Versuch in 5 Minuten die Tatsache der Fortpflanzungsdauer in den Nerven vor Augen legen zu können.“⁵²

Ohne die schließlich realisierte Apparatur *en detail* zu beschreiben, bleibt festzuhalten, dass mit ihr ein kanalzeitlicher Aussageraum in der Physiologie um 1850 messtechnisch geschaffen worden war, aus dem graphisch „Gleichzeitigkeit“, nämlich die vermeintliche Instantaneität von Reiz und seiner Wahrnehmung „*kat'exochen* verbannt“⁵³ wurde. „Sie sehen“, fügte Helmholtz an anderer Stelle über die Messung von Lichtgeschwindigkeit – Foucaults und Fizeaus Drehspiegelversuche – an, „daß die Mikroskopie der Zeit die des Raums bei weitem überflügelt hat.“⁵⁴ Der Begriff der Mikroskopie ist an dieser Stelle weniger metaphorisch, als er anmutet. Schließlich referiert er etymologisch auf *skopeîn* für *betrachten* und benennt Objekte, die für das menschliche Auge Unsichtbares sichtbar machen. Und exakt dies waren zur Mitte des 19. Jahrhunderts exakte Messungen von Delays: graphische Visualisierungen, die daher ‚betrachtet‘ werden konnten.⁵⁵

51 Unter dem Begriff des Kymographen subsumieren sich verschiedene Instrumente, denen gemein ist, dass sie ein Zeitereignis als graphische Kurve visualisieren – sei es Akustik, Blutdruck, Muskelkontraktion etc.

52 Brief vom 17.09.1850, in: Kirsten (1986), *Dokumente einer Freundschaft*, 106.

53 Kassung, Christian/Kümmel, Albert (2003): „Synchronisationsprobleme“, in: Albert Kümmel/Erhard Schüttelpeitz (Hrsg.), *Signale der Störung*, München, 143-166, 145.

54 von Helmholtz (1851): „Ueber die Methoden, kleinste Zeittheile zu messen“, 177.

55 Nach Helmholtz führten andere Physiologen die Bestimmung der Reizleitungsgeschwindigkeit im Menschen fort, vgl. Schelske, Rudolf (1864): „Neue Messungen der Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Reizes in den menschlichen Nerven“, in: *Archiv für Anatomie, Physiologie und wissenschaftliche Medicin*, 151-173; vgl. auch von Helmholtz, Hermann (1867): „Versuche über die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Reizung in den motorischen Nerven des Menschen, welche Hr. N. Baxt aus Petersburg in dessen Laboratorium ausgeführt hat“, in: *Monatsbericht der königlichen preussischen Akademie der Wissenschaften*, 228-234. Nach heutigem Wissensstand ist es unmöglich, eine pauschale s.g. Nervenleitgeschwindigkeit (NLG) anzugeben, da diese vom Nervenfasertyp abhängig ist. Verschiedene Fasern leiten mit Geschwindigkeiten zwischen 0,5 und 120 m/s.

Wissenschaft der Zeit-Schrift

Helmholtz' Kurven übersetzten Ereignisse in ihrer Zeitlichkeit nicht allein in eine bildliche Form und mediale Repräsentation, sondern qua Koordinatensystem in die Sphäre des Berechenbaren. Zeitpunkte bekamen Adressen auf Papier, und zwar tatsächlich als graphische Punkte, die bei bekannter Zeitrelation in exakte Zahlwerte übersetzt werden konnten. Werden, so hält Wolfgang Schäffner für analoge Aufzeichnungsmaschinen fest,

„Serien von Zahlen oder Meßwerten auf graphische Flächen als Kurven aufgetragen, wie dies bei Küsten-, Höhen- oder allgemein Isolinien in Landkarten, bei geometrischen und physikalischen Diagrammen oder statistischen Kurven der Fall ist, so verwandeln sich dabei Zahlen und Schrift in graphische Linien“.⁵⁶

Dieses Prinzip gilt auch umgekehrt. So schrieb der deutsche Mediziner und Physiologe Oscar Langendorff in seinem Grundlagenwerk *Physiologische Graphik* von 1891: „Graphische Aufzeichnungen sollen nicht nur ein anschauliches Bild des dargestellten Vorgangs geben, sondern sie müssen auch zu Messungen benutzt werden. Vor allem wünscht man, die Beziehungen der durch die Curven ausgedrückten Bewegungen zur Zeit zahlengemäss feststellen zu können.“⁵⁷ Sinn und Zweck der Chronographie im Kontext der Elektrophysiologie war es demgemäß, medienpraxeologisch gewendet, kritisches Glied einer Operationskette der Messung zur Datenproduktion zu sein. Die erzeugten Kurvenbilder visualisierten einen Prozess, um auf Basis jener Schriftzeichen eine Mathematisierung durchführen zu können: die zeitliche Vermessung und schließlich ‚zahlengemässe‘ Erfassung eben jenes Prozesses, d.h. seine Datafizierung.

Die im Labor als Ort der Signifikantenproduktion geschaffenen Kurven verwiesen zudem nicht allein auf Signifikate, sondern als neue visuelle Erkenntnisform auf die technischen Verfahren, die ihnen als Bedingung zugrunde lagen. Im Sinne der Wissenschaft der Schrift – die von Jacques Derrida begrifflich popularisierte Grammatologie⁵⁸ – war die Frage nach Zeichensystemen nun untrennbar verwoben mit der Frage nach ihrer technischen Produktion. Zwar mag sich ein

56 Schäffner, Wolfgang (2007): „Bewegungslinien. Analoge Aufzeichnungsmaschinen“, in: Wolfgang Schäffner/Bernhard Siegert/Robert Stockhammer (Hrsg.), *Electric Laokoon. Zeichen und Medien, von der Lochkarte zur Grammatologie*, Berlin, 130-145, 130.

57 Langendorff, Oscar (1891): *Physiologische Graphik. Ein Leitfaden der in der Physiologie gebräuchlichen Registrirmethoden*, Leipzig/Wien, 99.

58 Derrida, Jacques (1983 [1967]): *Grammatologie*, übers. v. Hans-Jörg Rheinberger u. Hanns Zischler, Frankfurt a.M.

Vorgang selbst geschrieben haben, allerdings nur mithilfe eines komplexen Aufschreibesystems, welches es zu konzipieren galt. Die Kurvenzeichen gaben kein Abbild des Lebens, sondern bezeichneten zuvorderst das technische Verfahren selbst. Mit Gilles Deleuze kommentiert: „Sowenig die Aussagen ablösbar sind von ihren Ordnungen, sowenig sind die Sichtbarkeiten von ihren Maschinen ablösbar.“⁵⁹ Daher fokussierte dieses Kapitel weniger auf die Bilder, welche die Nervenleitgeschwindigkeit vor Augen führten, sondern auf die technischen Prozeduren, mit welchen diese produziert wurden. „Denn wann immer es darum geht, wissenschaftliche Darstellungen zu verstehen, setzt dies den Blick auf die Apparaturen und Utensilien voraus, mit denen die Bilder hergestellt werden.“⁶⁰

Wenn ein Zeichen für etwas anderes steht – so die basale Definition von Zeichen –, verwiesen die Kurvenbilder von Helmholtz nicht nur auf ihre technische Bedingung, sondern grundlegend auf temporale Ereignisse, und wurden dadurch zu Zeitzeichen. Die Wissenschaft der Schrift, Grammatologie, war damit zur *Chronogrammatologie* geworden: zu einer Wissenschaft von Zeichen der Zeit, einer Wissenschaft der Zeit-Schrift. Jene Zeitschriften hatten aufgrund ihres medialen Status einen weiteren Vorteil: Sie waren die Lösung eines Speicherproblems. Als „immutable mobiles“⁶¹ im Sinne Bruno Latours konnten die angefertigten Kurvenbilder übertragen werden – und zwar nicht nur im Raum, sondern auch in der Zeit. Oder wie Helmholtz den Bildern trocken bescheinigte: „[d]ie so angefertigten Zeichnungen kann man aufbewahren.“⁶² Während die Pouillet'sche Methode nach Ablesen und Notation auf Papier verlangte, um Ausschläge einer Galvanometernadel zu speichern, fielen bei Helmholtz die sichtbare Darstellung von Nervenlaufzeiten und ihre Speicherung in eins.⁶³

Die derart produzierten Kurven waren dennoch alles andere als evident. Ohne Hermann von Helmholtz und seine Frau, die an diesen Kurven chronogrammatologische Praktiken des Messens durchführten, mögen die Kurvenbilder das Delay von Nerven zwar gezeichnet, aber nicht expliziert haben. Um das Delay von Nervenleitungen zu messen – d.h. zu verdaten –, war ein Wissen um die Rotations-

59 Deleuze, Gilles (1987): *Foucault*, übers. v. Hermann Kocyba, Frankfurt a.M., 83.

60 Grevsmühl, Sebastian (2007): „Epistemische Topografien. Fotografische und radartechnische Wahrnehmungsräume“, in: Ingeborg Reichle et al. (Hrsg.), *Verwandte Bilder. Die Fragen der Bildwissenschaft*, Berlin, 263-279, 264.

61 Vgl. Latour, Bruno (1986): „Visualization and Cognition. Thinking with Eyes“, in: *Knowledge and Society – Studies in the Sociology of Culture Past and Present* 6, 1-40.

62 von Helmholtz (1852): „Messungen über Fortpflanzungsgeschwindigkeit“, 211.

63 Hierzu auch Schöffner, Wolfgang (2003): „Mechanische Schreiber. Jules Etienne's Mareys Aufzeichnungsmaschinen“, in: Bernhard Siegert/Joseph Vogl (Hrsg.), *Europa: Kultur der Sekretäre*, Zürich/Berlin, 221-234.

geschwindigkeit der Schreibfläche und somit die Zeitreferenz der Kurve; Wissen um das, was die Kurve eigentlich bezeichnete; das Auslesen der exakten Phasenverschiebung – und vieles mehr – nötig. Sinnfällig und im besten Sinne praktisch wurden die Kurvenbilder erst durch und während ihrer Übersetzung in numerische Werte, d.h. durch Menschen, die an und mit den Kurven arbeiteten. Das Messen der Nervenleitgeschwindigkeit offenbart sich als komplexe Operationskette: Lesen, Vermessen, Übersetzen, Mathematisieren usw. der Kurvenbilder waren die humanen Komponenten der vermeintlich objektiven Registriermaschinen. Ohne menschliche Praktiken war das Papier gewordene Experiment nicht mehr als ein Kurvenbild. Die experimentelle Verdattung des Delays von Nerven basierte auf Artefakten und folglich einem technischen Wissen *und* menschlichen Praktiken. Physiologie gestaltete sich nunmehr als chronogrammatologische Messpraxis aus, die zwischen biologischen Fakten und technischen Artefakten oszillierte.⁶⁴

Das Resultat der Experimente bestand in der Bezifferung der Leitgeschwindigkeit von Nerven. Dabei zeigte sich, dass die Fortpflanzungsgeschwindigkeit von Impulsen in Nervenfasern recht gering ist. Die Botschaft der Experimente war hingegen eine andere. Sicher gibt es über die Helmholtzexperimente viel von Seiten der Wissenschaftsgeschichte, der Physiologie, den Animal und Gender Studies, der Techniksoziologie u.v.m. zu sagen. Medienwissenschaftlich bedeutend sind vor allem drei Dinge: die Verwendung von Messapparaturen als Kalkül; die Adaption ballistischer Verfahren; und die Erzeugung und Erscheinung von Reizimpulsen.

Erstens. Die medientheoretische Brisanz der Helmholtz'schen Frosch-Experimente – und programmatisch für die späteren Medien des Delays – liegt in der basalen Erkenntnis begründet, dass Messtechniken dem Menschen mit seiner irreduziblen Reaktionszeit überlegen sind, wenn es um das möglichst authentische Aufschreiben von Zeitereignissen geht. Die Geschwindigkeit von Reizen in Nerven kann als blinder Fleck menschlichen Erlebens nicht wahrgenommen, sie kann allein gemessen werden: Inhärent beginnt die Naturwissenschaft vom Menschen, wo reflexive Wahrnehmung – also Wahrnehmung der Wahrnehmung – endet und technische Systeme in Bereichen unterhalb der menschlichen Wahrnehmungsschwelle agieren müssen. Damit mikrotemporale Ereignisse analysier- und datafizzierbar werden konnten, mussten sie ‚stillgestellt‘, d.h. durch Bilder entzeitlicht werden. Helmholtz überführte die Praxis der s.g. Selbstschreibeapparaturen,⁶⁵ im

64 Vgl. Latour, Bruno (1987): *Science in Action. How to Follow Scientists and Engineers through Society*, Cambridge, MA, insb. 79.

65 Eine Mediengeschichte von Selbstschreibeapparaturen müsste im Übrigen historisch früher ansetzen, als zur Mitte des 19., nämlich in der zweiten Hälfte des 17. Jahrhunderts. Bereits dort verzeichneten s.g. Anemographen (Windmesser) Windrichtungen kontinuierlich und automatisiert. In Jacob Leupolds *Theatro aërostatico. Schau-Platz der*

Unterschied zu bspw. Carl Ludwigs Pulsschreiber zuvor, in die Sphäre des *Mikrozeitlichen*. Helmholtz Experimente sind als analoge Datenpraktiken Teil eines im 19. Jahrhundert gründenden „neue[n] Dispositiv[s] von Wahrheitsprozeduren“,⁶⁶ die Messtechniken sind und die Differenz von naturwissenschaftlichem Verdaten und geisteswissenschaftlichem Erklären eröffneten.

Mit Friedrich Kittler gesprochen ging damit einher, dass die Vermessung der Welt nur noch bedingt den alphabetischen „Engpaß des Signifikanten“⁶⁷ passieren musste, der für sämtliche Daten der Gutenberg-Galaxis normativ war. Die Kurvenbilder waren Zeitschriften, die das Lebendige graphisch und auf dieser Basis numerisch adressierten. Damit war Wissen um den Menschen vom Wissen des Biologischen oder Physiologischen zum Wissen des Technischen geworden, nämlich um Verfahren und Methoden zeitkritischer Messung. Die „Geschwindigkeit von Gefühlen und Gedanken“⁶⁸ wurde qua Artefakt zum Fakt, womit das Wissen um organische Delays ein Wissen um Apparaturen und Praktiken der Datafizierung voraussetzte. Die Physiologie als „Wissenschaft von den Lebenserscheinungen der Organismen“, so der eröffnende Satz von Wilhelm Wundts *Lehrbuch der Physiologie des Menschen*,⁶⁹ wurde zur Experimentalpraxis mit Batterien, Schaltkreisen und Aufschreibesystemen. Grundsätzlich hatte sich damit die Überzeugung von einer Wichtigkeit exakter Zeitmessung unter Physiolog:innen ihrerzeit durchgesetzt; ebenso waren die dafür erforderlichen Techniken entwickelt worden, wie den chronographischen ‚Zeitbildern‘ noch zum Ende des 19. Jahrhunderts bescheinigt wurde:

Maschinen zu Abwiegung und Beobachtung aller vornehmsten Eigenschaften der Luft behandelte dieser ausführlich Verfahren zur Verzeichnung von Windstärken, vgl. Jacob Leopold (1724), Leipzig. In Kapitel X, „Von Anemometris oder Maschinen die Stärke des Windes zu messen“, fasst er für die „Physico und curieusen Observatori“ (301) alles, was seinerzeit über Windmesser bekannt war, zusammen. Schon Christopher Wrens Konzept einer ‚Wetteruhr‘, die 1678 vom englischen Naturphilosophen Robert Hooke verbessert wurde, verfügte über ein Mechanismus der Aufzeichnung kontinuierlicher Windaufzeichnung; vgl. Tkaczyk, Viktoria (2006): „Cumulus ex machina. Wolkeninszenierungen in Theater und Wissenschaft“, in Helmar Schramm/Ludwig Schwarte/Jan Lazardzig (Hrsg.), *Spektakuläre Experimente. Praktiken der Evidenzproduktion im 17. Jahrhundert*, Berlin/New York, 43-77, insb. 68-70.

66 Siebert (1999): „Das Leben zählt nicht“, 171.

67 Kittler, Friedrich (1986): *Grammophon Film Typewriter*, Berlin, 12.

68 Schmidgen, Henning (2004): „Die Geschwindigkeit von Gefühlen und Gedanken. Die Entwicklung psychophysiologischer Zeitmessung, 1850-1865“, in: *NTM Zeitschrift für Geschichte der Wissenschaften, Technik und Medizin* 12, 100-115.

69 Wundt, Wilhelm (1873): *Lehrbuch der Physiologie des Menschen. Dritte völlig umgearbeitete Auflage*, Erlangen, 1.

„In allen denjenigen Gebieten der experimentellen Wissenschaften, wo die graphische Registrierung rasch ablaufender Vorgänge eine Rolle spielt, vor Allem in den physiologischen Disciplinen, ist eine der wichtigsten Voraussetzungen correcten Beobachtens eine zuverlässige Zeitregistrierung, deren Genauigkeit hinter der übrigen Methodik nicht zurückbleibt.“⁷⁰

Zweitens. Helmholtz' Experimente zur Adressierung der Nervenleitgeschwindigkeit haben als Bedingung den Methodentransfer von ballistischen Techniken in die Praxis der Elektrophysiologie. Diese diskursive Varianz der Messtechniken offenbart ihre basale Funktion, nämlich die der Zeitmessung. Ob die Apparate die Fluggeschwindigkeit von Projektilen oder die Nervenleitgeschwindigkeit verzeichneten, war letztlich gleich. Dies ist kennzeichnend für ihren epistemischen Status als chronographisch operierende Messtechniken des Delays, die nach kontinuierlicher Verbesserung rund zweieinhalb Jahrzehnte später die technische Grundlage der ersten Echoortungen darstellen werden (vgl. Kap. 3).

Drittens. Der Helmholtz'sche Impuls zur Reizung von Muskeln oder Nerven hatte explizit mikrotemporale Erscheinung, er war „von verschwindend kleiner Dauer“.⁷¹ D.h. die Dauer des Reizimpulses war in Relation zum zu beobachtenden Zeitereignis vernachlässigbar – was in der Forschungsliteratur zu Helmholtz so noch nicht betont wurde. Schon in der Beschreibung der ersten Apparatur zeigte sich, dass Helmholtz, bevor er überhaupt experimentierte, das Experimentalsystem selbst zeitkritisch bestimmte. Denn die Dauer des Reizimpulses konnte Helmholtz als kleiner als 1/600 Sekunde angeben.⁷² Selbstredend ist die Fokussierung von Mikrot temporalitäten und die Generierung ultrakurzer Impulse im historischen Kontext kein Unikum von Helmholtz, sondern auch bei bspw. Pouillet anzutreffen,⁷³ bei Helmholtz fiel sie jedoch überaus akribisch aus.

Dieses Wissen um die Erzeugung von mikrotemporalen Impulsen, die dennoch über ausreichende Intensität verfügten, um nicht in Umgebungen – respektive Nerven – zu verrauschen sowie die Praxis der zeitlinearen Verzeichnung von Ereignissen sollte einige Jahrzehnte nach der Experimentalforschung von Helmholtz in andere Kontexte einkehren, die aktive Ortungstechniken waren. Damit

70 Jacquet, A. (1891): „Studien über graphische Zeitregistrierung“, in: *Zeitschrift für Biologie* 10, 1-38, 1.

71 von Helmholtz (1850): „Messungen über den zeitlichen Verlauf“, 277.

72 Ebd., 281.

73 Vgl. Pouillet, Claude (1845): „Ueber ein Mittel zur Messung äußerst kurzer Zeiträume, wie der Dauer des Stoßes elastischer Körper, der Auslösung von Springfedern, der Entzündung von Schießpulver u.s.w., und über ein neues Mittel, die Intensität elektrischer Ströme, permanenter wie instantaner, zu messen“, in: *Polytechnisches Journal* 96, 196-201, insb. 198-199.

dies praktiziert werden konnte, musste das Experimentalsystem um einen weiteren temporalen Darstellungsmodus ergänzt werden. Helmholtz' Selbstschreiber stellten zwar apparative Verfahren dar, die durch diverse mechanische Übersetzungsleistungen, Taktungen und Synchronitäten zur Zeitmessung gekennzeichnet waren. Ihnen fehlte aber ein wesentliches Moment: ein temporaler Standard. Denn ohne eine Referenz gibt eine Kurve keine Auskunft über die Zeit des derart verzeichneten Vorgangs bzw. war es dann erforderlich, exakte Kenntnis über die Geschwindigkeit der fortlaufenden Schreibfläche zu besitzen. Explizit wird dies in Langendorffs *Physiologische Graphik* von 1891. Diese stilisierte die physiologischen Kurvenbilder zur „wissenschaftlichen Weltsprache“⁷⁴ und widmete sich den physiologischen Registriermethoden: „Die vollständige Verwerthung einer graphischen Aufzeichnung ist nur dann möglich, wenn man die Geschwindigkeit kennt, mit welcher sich während des Aufzeichnens die aufnehmende Fläche beim Schreibapparat vorbei bewegt hat.“⁷⁵

Zeitschriften zweiter Ordnung

18 Jahre nach der Erstveröffentlichung der ersten Forschungsergebnisse zur Nervenleitgeschwindigkeit von Hermann von Helmholtz erschien Franciscus Cornelis Donders' Aufsatz „Die Schnelligkeit psychischer Prozesse“. Der Artikel rief bereits einleitend die programmatische Kehre der Physiologie in eine Naturwissenschaft und die damit verbundene Umschaltung vom Beschreiben zum Messen auf:

„Während die Philosophie sich im Abstracten mit der Betrachtung der psychischen Erscheinungen beschäftigt, hat die Physiologie, über die Resultate der Philosophie verfügend, den Zusammenhang zwischen diesen Erscheinungen und der Gehirnthatigkeit zu untersuchen.“⁷⁶

74 So schrieb Langendorff in seinem chronographischen Grundlagenwerk: „Indem die darzustellende Bewegung alle ihre Veränderungen, auch die schnellsten und vorübergehendsten, selbst markirt, indem sie von jeder Zunahme und jeder Abnahme in der Zeit eine deutliche Spur hinterlässt, gibt die erhaltene Curve, unbeeinflusst von den Unvollkommenheiten unserer Sinnesorgane, unbeeinträchtigt von jeder Voreingenommenheit des Beobachters, das treueste Bild von dem Ablauf jener Bewegung, das überhaupt gewonnen werden kann. Sie stellt ein documentarisches Versuchsprotokoll dar, wie es objectiver nicht gedacht werden kann. Sie redet in einer Sprache, die, den Gebildeten aller Zungen verständlich, als eine wissenschaftliche Weltsprache bezeichnet werden könnte. Häufig versteht die graphische Selbstregistrierung zugleich den Dienst eines Mikroskopes, indem sie geringfügige Veränderungen in vergrößertem Massstabe wiedergibt.“ Langendorff (1891): *Physiologische Graphik*, 10.

75 Ebd., 119.

76 Donders (1868). „Die Schnelligkeit psychischer Prozesse“, 657.

Mit einem Plädoyer für eine experimentelle Lokalisierung psychischer Fähigkeiten wies der Aufsatz der Physiologie eine neue Arbeitsaufgabe zu. Im Unterschied zur Forschung von Helmholtz sollte nicht mehr die Temporalität physiologischer, sondern die Zeitlichkeit einfacher psychischer Prozesse erforscht werden, so Donders: „Sollte nun auch der Gedanke nicht die unendliche Schnelligkeit haben, die man ihm zuzuschreiben pflegt, und sollte es möglich sein, die Zeit zu bestimmen, die zur Bildung einer Vorstellung oder einer Willensbestimmung gefordert wird?“⁷⁷ Namentlich sollte die elementare psychische Funktion des *Unterscheidens* chronographisch „auf den Punkt“⁷⁸ bzw. auf die Schwingung gebracht werden, oder wie es in der Quelle hieß: Die Aufgabe der Physiologie sei es, psychischen Fähigkeiten und Aktivitäten „auf die Spur zu kommen“.⁷⁹ Diese Formulierung darf buchstäblich verstanden werden. Denn in der Art jener „Spur“ bestand ein Novum des von Donders verwendeten Experimentalsystems. Diesem apparativen Verfahren und weniger der physiologischen Forschung gilt im Folgenden die Aufmerksamkeit.

Eine Versuchsreihe des Experiments bestand in der akustischen Reizung der Ohren verschiedener Probanden. Der Reiz war der Klang eines Vokals, die Reaktion eines Probanden hatte in der Wiederholung des Vokals zu bestehen. Die Versuchsanordnung im nüchternen Klartext des Experimentators: „21. August, Abends 7 Uhr; die Herren Hamer und Donders vor dem Phonautograph. H. ruft, D. antwortet. Stimmgabel = 261 Schwingungen.“⁸⁰ Oder etwas ausführlicher:

„Zwei Personen A und B sitzen hierbei vor der Oeffnung des Phonautographen. Während man den Cylinder dreht, stösst A einen Vocal aus, und B hat diesen so schnell wie möglich zu wiederholen. Für beide ist der Anfang der Schwingungen auf der unteren Linie Fig. 1 in a und b zu sehen, und die Länge der Zeit zwischen beiden ist aus den gleichzeitig registrierten Stimmgabelschwingungen abzuleiten.“⁸¹

Dies zeigt einerseits, worin die Differenz von Phonautograph und Phonograph bestand.⁸² Der Phonautograph war ein in der Physiologie beheimateter, graphischer

77 Ebd., 663.

78 Schmidgen, Henning (2004): „Zeit der Fugen. Über Bewegungsverhältnisse im physiologischen Labor, ca. 1865“, in: Dieter Simon (Hrsg.), *Zeithorizonte in der Wissenschaft*, Berlin, 101-124, 107.

79 Donders (1868). „Die Schnelligkeit psychischer Prozesse“, 657.

80 Ebd., 680.

81 Ebd., 666-667.

82 Der Edison'sche Phonograph trat bei Oscar Langendorff bezeichnenderweise nicht als Unterhaltungsmedium, sondern als ein Akteur im Medientheater der Physiologie 1891 auf – unter diversen anderen Apparaten im Dienste der Selbstschreibung. Der Unter-

Linearisierungsapparat, der Akustik – menschliche Stimmen – als Kontinuum schrieb, ohne je zu beabsichtigen, die Signalschriften wieder in Zeitvollzug zu setzen, d.h. den Kurven ihren Klang wiederholt abzulauschen. Andererseits illustrieren das Zitat und die in der Quelle gegebene Abbildung (vgl. Abb. 4), dass etwas Neues in die laborexperimentelle Praxis der physiologischen Zeitschreibung eingetreten war. Nicht ein zu bestimmendes Ereignis allein kam im Experiment von Donders zur Verzeichnung, sondern ebenso ein Signal, welches allein den Zweck verfolgte, genuine Zeitschrift zu sein: die Schwingung einer Stimmgabel.

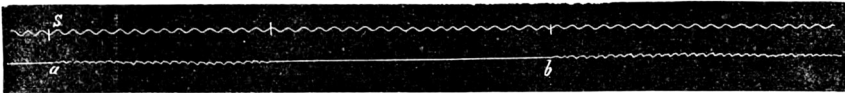


Abbildung 4: Neben den zeitlinearisierten Lauten der beiden Probanden (untere Linie) zeigt die obere Linie die kontinuierliche Verzeichnung der Schwingung einer Stimmgabel als Zeitreferenz.

Donders' Zeitkurven stellten eine erste synchrone graphische Registrierung von Stimmen und Stimmgabelschwingungen dar. Diese Schwingungen wurden nicht aufgezeichnet, um analysiert zu werden, sondern sie dienten als Bedingung zeitlicher Analyse: Sie fungierten als Maßstab für die Zeit, waren für sich aber semantisch sinnfrei. Damit stellten die ‚gleichzeitig registrierten Stimmgabelschwingungen‘ (Donders) eine Zeitschrift zweiter Ordnung dar. Zwar hieß es in euphorischer Beschreibung des Zeitalters der Selbstschreibeapparaturen bei Langendorff, „Curvenzeichnungen“ der „Selbstregistrierung“, wenn sie als Funktion der Zeit dargestellt wurden, gäben eine „präzise Auskunft über den zeitlichen Verlauf der Bewegung“.⁸³ Dem muss allerdings hinzugefügt werden, dass Kurvenbilder nur dann ‚präzise Auskunft‘ über zeitliche Verläufe zuließen, wenn eine in ihrer Zeitlichkeit *bereits bekannte* Schwingung als temporale Referenz synchron verzeichnet wurde. Demgemäß hieß es in der Beschreibung der Experimentalanordnung bei Donders, dass für ihr Gelingen eine „genau bekannte chronoskopische Einheit“ gebraucht werde.⁸⁴ Durch die Schwingung der Stimmgabel war der exakte Gleichlauf einer

schied der phonographischen „Glyphischen Curvenzeichnung“ zu anderen Kurvenbildern ihrerzeit bestand darin, dass der schreibende Stift fixiert war und Material (wie Wachs oder Paraffin) in-formierte. Damit trat die Kurve, mithin ein Signal, als Tiefe der In-Formation eines Materials in Erscheinung – bei anderen Selbstschreibeverfahren war es umgekehrt, da Kurven-Bilder auf Papier generiert wurden: Dabei waren Schreibstifte in Relation zu fortlaufenden Schreibflächen vertikal flexibel und es wurden keine ‚Tiefenschriften‘ erstellt; vgl. Langendorff (1891): *Physiologische Graphik*, 93.

83 Ebd., 95.

84 Donders (1868): „Die Schnelligkeit psychischer Prozesse“, 675.

Schreibfläche als absolute Zeitreferenz – wie noch bei Helmholtz um 1850 – nicht mehr notwendig, so Donders, schließlich ändert sich dadurch lediglich die visuelle Darstellung des verzeichneten Ereignisses:

„Der grosse Vortheil des Gebrauchs von Stimmgabelschwingungen als chronoskopische Einheit besteht darin, dass man den Cylinder frei aus der Hand umdrehen kann: man findet die Dauer des Processes in der zwischen Reiz und Signal liegenden Anzahl Schwingungen, unabhängig von deren Länge, und auf gleichmässige Umdrehungsgeschwindigkeit kommt es deshalb nicht besonders an.“⁸⁵

Die Integration einer Stimmgabel erlaubte, dass bei bekannter Frequenz das Intervall zwischen zwei Zeitpunkten durch die Anzahl der zwischenliegenden Stimmgabelschwingungen ausgezählt werden konnte. Der von Helmholtz bekannte ‚zeitmessende Strom‘ war durch die ‚zeitmessende Stimmgabel‘⁸⁶ abgelöst worden. Ein sonisches Phänomen – ein akustischer Schwingungsvorgang – war nicht als Sound, sondern als Zeiteignis operationalisiert worden. Zwar konnte der Klang der zeitmessenden Stimmgabel von Menschen gehört werden, jedoch bestand darin nicht ihr epistemischer Wert. In der physiologischen Praxis war die Stimmgabel zum Zeitstandard geworden. Étienne-Jules Marey stellte dies sogar als zentrale Eigenschaft der Stimmgabel heraus: „Enfin, un chronographe ou on diapason mesureront, d’après le nombre de vibrations qu’ils ont inscrites, le temps qui s’est écoulé entre les deux signaux.“⁸⁷

Neu war die Verwendung von Stimmgabeln in physikalischen Experimenten nicht. Nur wurde ihr Schwingungsverhalten zuvor selten graphisch fixiert, sondern galt menschlichen Ohren als tonale Referenz, wie bspw. in Wilhelm Webers Experimenten zur Wärme fester Körper aus dem Jahr 1830.⁸⁸ Eine erste singuläre

85 Ebd., 676.

86 Langendorff (1891): *Physiologische Graphik*, 133.

87 Marey, Étienne-Jules (1885): *La Méthode Graphique ans les Sciences Expérimentales et Principalement en Physiologie et en Médecine*, Paris, 141. In deutscher Übersetzung: „Schließlich misst ein Chronograph oder eine Stimmgabel anhand der Anzahl der aufgezeichneten Schwingungen die Zeit, die zwischen den beiden Signalen verstrichen ist.“

88 Weber, Wilhelm (1830): „Ueber die specifische Wärme fester Körper, insbesondere der Metalle“, in: *Annalen der Physik und Chemie*, 177-213, 187, dort schrieb er: „Ich setzte den Draht ab in Schwingung. Weil die Geschwindigkeit dieser Schwingungen von der Spannung abhängt, so kann man sowohl aus der Spannung die Geschwindigkeit der Schwingungen, als auch aus der Geschwindigkeit der Schwingungen die Spannung berechnen. Den Ton, welchen diese Schwingungen des Drahts ab hervorbrachten, verglich ich mit dem Tone einer Stimmgabel, die ich so gewählt hatte, daß beide fast harmonirten, und nur wenige sogenannte Schwebungen, Pulsationen oder coincidirende Schwingungen, hervorbrachten (...).“

Erwähnung der graphischen Fixierung von Stimmgabelschwingungen zu Zwecken der Zeitmessung findet sich beim englischen Arzt und Physiker Thomas Young im Jahr 1807. Bisher wurde seine Konstruktion, die er im *Course of Lectures on Natural Philosophy and the Mechanical Arts* beschrieb, als Teil einer Vorgeschichte der Phonographie und von Selbstschreibeapparaturen gelesen⁸⁹ – damit ist es aber mit der epistemischen Brisanz der Apparatur nicht getan. Ausdrücklich sollte mit seinem Chronometer, wie er es nannte, nicht ein akustisches Ereignis verzeichnet werden bzw. sich selbst verzeichnen, sondern sein expliziter Zweck lautete seinem Namen entsprechend „measuring small portions of time“.⁹⁰ Folgerichtig beschrieb Young den Apparat nicht etwa in einem Kapitel zur Akustik, sondern im Kapitel „On Timekeepers“, in welchem er einleitend in aristotelischer Manier festhielt: „Time is measured by motion; but in order that motion may be a true measure of time, it must be equable.“⁹¹ Bezeichnenderweise galt es mit dem Apparat nicht *ein*, sondern immer *zwei* Schwingungsereignisse zu verzeichnen, um Zeitmessung graphisch zu realisieren, so Young:

„By means of this instrument we may measure, without difficulty, the frequency of the vibrations of sounding bodies, by connecting them with a point, which will describe an undulated path on the roller. These vibrations may also serve in a very simple manner for the measurement of the minutest intervals of time; for if a body, of which the vibrations are of a certain degree of frequency, be caused to vibrate during the revolution of an axis, and to mark its vibrations on a roller, the traces will serve as a correct index of the time occupied by any part of a revolution, and the motion of any other body may be very accurately compared with the number of alternations marked in the same time, by the vibrating body.“⁹²

Marey zufolge bezog sich der im Langzitat abschließend erwähnte ‚vibrating body‘ nicht auf eine Stimmgabel, sondern einen Schwingstab.⁹³ Für praktische Forschung wurden zeitmessende Stimmgabeln bspw. von Guillaume Wertheim verwendet, welcher der Pariser Akademie der Wissenschaften 1842 über diese be-

89 Vgl. Leonhard, Joachim-Felix et al. (2001) (Hrsg.), *Medienwissenschaft. Ein Handbuch zur Entwicklung der Medien und Kommunikationsformen. 2. Teilband*, New York/Berlin, 1362; oder Morton, David L. (2006): *Sound Recording. The Life Story of a Technology*, Baltimore, 2; oder Burgess, Richard James (2014): *The History of Music Production*, New York, 3-4.

90 Young, Thomas (1845 [1807]): *A Course of Lectures on Natural Philosophy and the Mechanical Arts. Volume I*, London, 146.

91 Ebd., 144.

92 Ebd., 147.

93 Marey (1885): *La Méthode Graphique*, 110 u. 137.

richtete. Mit einer Stimmgabel mit 256 Schwingungen pro Sekunde maß er die Schwingungseigenschaften anderer Körper chronographisch.⁹⁴ Damit ging er weiter als Jean Marie Constant Duhamel zuvor – der, wieder Marey zufolge, als erster eine Stimmgabel nutzte⁹⁵ – oder Wilhelm Weber, denn Wertheim machte Schwingungsvorgänge nicht nur sicht-, sondern numerisch adressierbar. War die Stimmgabel originär in der Praxis der Medizin zu diagnostischen Zwecken verwendet worden, um Arten bzw. Grade von Schwerhörigkeit festzustellen,⁹⁶ hatte sie nun im Kontext chronographischer Messverfahren einen weiteren Zweck erhalten: als Instrument der Zeitmessung.

Im Hinblick auf das erste apparative Verfahren der Echoortung, die das folgende Kapitel thematisieren wird, sind zudem binär operierende Verfahren der Zeitmessung des historischen Kontexts von Interesse. Als Zeitregistratur boten sich nicht allein klingende Stimmgabeln an, sondern ebenso Verfahren, die nicht durch menschliche Ohren vernommen werden konnten. Seit dem frühen 19. Jahrhundert erfuhr das Metronom, jenes „umgedrehte Pendel“,⁹⁷ Konjunktur – allerdings in einem Kontext, in dem nicht Zeit gemessen, sondern diktiert werden sollte, um relative Tempovorgaben wie ‚Adagio‘ oder ‚Allegro‘ zugunsten exakter Zeitvorgaben abzulösen: Musikaufführungen. Die Einführung des Metronoms als apparative Kulturtechnik der Taktung in die musikalische Praxis im 19. Jahrhundert fungierte als Einführung eines Standards. Nun war aber auch das Metronom als Apparat nicht absolut, sondern in Praktiken situiert. Und ob es als „Zeitmaass“ für

94 Wertheim, M. G. (1844): „Recherches sur l'Élasticité“, in: *Annales de Chimie et de Physique* 3, 385-454, insb. 392-393.

95 Marey (1885): *La Méthode Graphique*, 110.

96 Ein Abriss der Frühgeschichte der Stimmgabel findet sich bei Feldmann, H. (1997): „Die Geschichte der Stimmgabel Teil 1. Die Erfindung der Stimmgabel, ihr Weg in der Musik und den Naturwissenschaften“, in: *Laryngo-Rhino-Otologie* 76(2), 116-122. Dort heißt es, der Arzt, Mathematiker und Astrologe Girolamo Cardano bemerkte im 16. Jahrhundert, dass Schall auch dann wahrnehmbar ist, wenn dieser direkt an die Kopfknochen geleitet wird. Als diagnostisches Instrument zur Feststellung der Art von Taubheit nutzte der Arzt Hieronimus Capivacci die Vorform einer Stimmgabel und kommentierte dies im posthum, 1603, veröffentlichten Werk *De laeso auditus*. Würde eine Gabel angeschlagen und an den Kopf eines vermeintlich Tauben gesetzt und höre dieser dann einen Ton, sei die Hörstörung bedingt durch das Trommelfell; wird kein Ton vernommen, ist das Hören vollständig erloschen. Dieses Vorwissen nutzte Medizinprofessor Günther Christoph Schelhammer und beschrieb in seinem Buch über das Gehör von 1684 denselben Versuch wie von Capivacci – nur nutzte er eine zum Klingen gebrachte Speisegabel. Hörte ein vermeintlich Tauber die Gabel, wenn diese seine Zähne berührte, lag die Hörkrankheit im Trommelfell begründet, nicht im Hörnerven. 1711 wurde die Stimmgabel in London von John Shore schließlich erneut ‚erfunden‘, allerdings nicht als diagnostisches Instrument, sondern als tonale Referenz.

97 Kassung (2007): *Das Pendel*, 158.

„Compositionen“,⁹⁸ also Standardisierung der Zeitgabe, oder eben als Zeitreferenz bei physiologischen Messungen diente, war allein eine Frage der diskursiven Kontextualisierung desselben Objekts. Auch bei den Akteuren und Zeitgenoss:innen früher Metronome ist eine terminologische Unschärfe zu identifizieren, ob das Metronom Zeit diktiert, oder umgekehrt, Zeit messe. Schon eine erste Beschreibung eines Metronoms, die Étienne Loulié in seinem Buch *Éléments ou Principes de musique* von 1696 lieferte,⁹⁹ nennt das Gerät noch explizit *Chronomètre* – ein Begriff, der im heutigen französischen Sprachgebrauch Stoppuhren benennt. Auch die englische Patentschrift von 1815 für Johann Mälzels Konstruktion benennt dieses „Metronome or Musical Time-keeper“¹⁰⁰ – also Zeitmesser statt Zeitgeber – und bspw. in der *Allgemeinen Encyclopädie der Wissenschaften und Künste* von 1830 wird das Metronom noch unter dem Begriff Chronometer gelistet und an die altgriechische Etymologie erinnert: „Chronometer, d. i. Zeitmesser (von χρόνος und μέτρον, Maß), heißt in der Musik eine mechanische Vorrichtung, welche dazu bestimmt ist, das Tempo eines Tonstückes anzugeben.“¹⁰¹

Werden die beiden möglichen, durch Metronome zur Ausführung gebrachten Realitäten eines Stromkreises – geschlossen oder offen – chronographisch dargestellt, ergeben sich im Unterschied zu den kontinuierlichen Stimmgabelschwingungen Chronogramme, die Zeitmarkierungen binär vornahmen. Dies prägte Techniken der „Elektrochronographie“¹⁰² aus, die bereits typische Visualisierungen binärdigitaler Schemata antizipierten (vgl. Abb. 5). Die Ästhetik der Chronogramme ruft die schematische Abbildung der Clock Pulse moderner Digitalcomputer auf, wie sie bereits John von Neumann im „First Draft of a Report on the EDVAC“ im Juni 1945 präsentieren sollte¹⁰³ – nur befanden sich die physiologischen Chronogramme in einer Praxis der exakten Zeitmessung und nicht des Zeitdikts beheimatet.

98 Anonym (1817): „Mälzels Metronom“, in: *Allgemeine Musikalische Zeitung* 25 vom 18.06., 417-422, 419.

99 Loulié, Étienne (1696): *Éléments ou Principes de musique, mis dans un nouvel ordre* [Kurtitel], Paris.

100 Mälzel, Johann (1818 [1815]): „Patent Specification for an Instrument, or Instruments, Machine or Machines, for the Improvement of all Musical Performance, which he calls a Metronome or Musical Time-keeper“, in: *The Reperory of Arts, Manufacures, and Agriculture. Consisting of Original Communications, Specifications of Patent Inventions, Practical and Interesting Papers* 33, Second Series, 7-13.

101 Ersch, J. S./Gruber, J. G. (1830): *Allgemeine Encyclopädie der Wissenschaften und Künste in alphabetischer Folge*. 21. Teil, Leipzig, 204-209, 204.

102 Langendorff (1891): *Physiologische Graphik*, 129.

103 Wiederabgedruckt in von Neumann, John (1993 [1945]): „First Draft of a Report on the EDVAC“, in: *IEEE Annals of the History of Computing* 15(4), 27-75

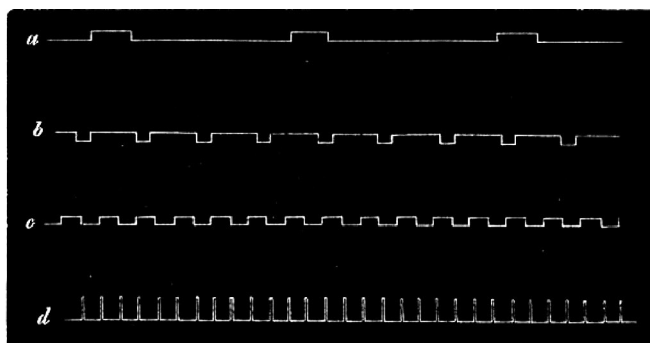


Abbildung 5: Übersicht verschiedener Elektrochronogramme aus Langendorffs *Physiologische Graphik* von 1891; Zeitmarkierungen erfolgten alle 5 Sekunden.

Gaben sich architektonisch bedingte Verzögerungen bereits in Theaterräumen zu hören (vgl. Kap. 1), fehlte es den empirisch ausgerichteten Theaterarchitekten ihrerzeit an technischem Equipment, diese Delays auf numerische Werte zu bringen. Sie beschränkten sich darauf, Delays mit ihren biologischen Sensorien zu hören, statt sie mit analoger Sensortechnik zu messen. Es fehlte ihnen, mit Helmholtz gesprochen, an ‚künstlichen Hilfsmitteln‘, den unbeabsichtigten oder gar störenden Akteur jeder Aufführung numerisch zu formalisieren. Zwar wurde von den Theaterarchitekt:innen gefordert, diese sollten ‚Physikusse‘ sein, nur waren sie es nicht, weshalb es Physiolog:innen und Ballistiker:innen waren, die an Experimentalanordnungen feinskalierter Zeitdifferenzmessung arbeiteten.

Das technische Arsenal der Elektrophysiologie verfügte in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts über heterogene Apparaturen der chronographischen Messung von Zeitverläufen. Chronographische Messungen wiederum, in welchen ‚zeit-schreibende Stimmgabeln‘, ‚Elektrochronogramme‘ und zu bestimmende Vorgänge zusammentrafen, hatten sich nicht auf das Feld der Physiologie zu beschränken. Wir verlassen daher nun den Kontext der Physiologie, wo elaborierte Techniken elektromechanischer, chronographischer Zeitmessung entwickelt worden waren, und begeben uns in einen Raum, in welchem exakte Angaben um Entfernungen zu quasi unsichtbaren Objekten kritisch wurden: den Kommunikationsraum der Rohrpost. Es war in den Räumen postalischer Röhren, in denen die historisch erste Apparatur der aktiven Ortung auf Basis der Messung akustischer Delays praktische Anwendung finden sollte, wie das folgende Kapitel thematisieren wird.

3. Echoortung

Der genealogische Ursprung eines medialen Prinzips

Rohrposten & gestörte Kommunikation

„Un train vient à s'arrêter [sic] dans le tube, que fait-on en pareil cas?“¹ Mit dieser Frage – *Ein Zug kommt in der Röhre zum Stehen, was machen wir in so einem Fall?* – eröffnete Charles Bontemps, dessen Name untrennbar mit dem Aufbau des Pariser Rohrpostsystems verbunden ist, das Kapitel über Störungen (*Dérangements*) seines Buchs *Les Systèmes Télégraphiques*. Das Werk fasste alles seinerzeit Wissenswerte über optische bzw. Luft-Telegraphie (*Télégraphiques Aériens*), elektrische Telegraphie (*Télégraphiques Électrique*) und schließlich pneumatische Telegraphie oder Rohrpost (*Télégraphiques Pneumatiques*) zusammen. Mit dem Begriffs ‚train‘ bezeichnete Bontemps mithin keine Transportmittel von Personen, Dingen oder Gütern, die auf Schienen fahren, sondern die Aneinanderreihung mehrerer Postbüchsen, die qua Luftdruck durch lange Röhren gesendet wurden.²

-
- 1 Bontemps, Charles (1876): *Les Systèmes Télégraphiques. Aériens – Électriques – Pneumatiques*, Paris, 327.
 - 2 Im historischen Kontext benannte der Begriff ‚Kommunikation‘ noch allgemein einen Austausch, schloss also das Senden von Nachrichten, aber auch Dingen und Personen ein. Die Gleichsetzung von Eisenbahnwägen mit Postbüchsen findet in Quellen demgemäß ihre konsequente Fortführung im Vergleich von Rohrpostrohren mit Eisenbahnschienen: „It is customary to think of a tube as if it were a line of railway.“ Culley, Richard Spelman/Sabine, Robert (1876): „The Pneumatic Transmission of Telegrams“, in: *Minutes of Proceedings of the Institution of Civil Engineers* 43, 53-104. Diese Rhetorik schreibt sich über verschiedene Quellen hinweg fort. So sei ein Rohrpostsystem „[l]ike a diminutive subterranean railway, in which the waggons are cylindrical boxes and the motive power compressed air prepared in the stations.“ Anonym (1873): „The Atmospheric Telegraph“, in: *Nature* v. 27.11.1873, 64-66, 65. Titelgebend für diese Narrativierung des ‚Nachrichten-Verkehrs‘ ebenso Knies, Karl (1857): *Der Telegraph als Verkehrsmittel. Mit Erörterungen zum Nachrichtenverkehr überhaupt*, Tübingen. Noch zum Ende des 19. Jahrhunderts war es durchaus gängig, Telegraphen als „Verkehrsmittel“ zu be-

Die eingangs zitierte Frage war eine nach der Lösungsstrategie gegen materielle Störungen im Kanal der Rohrpost, die weitere Rohrpostbüchsen- und d.h. Nachrichten-Übertragungen verhinderten. Die Frage, deren Beantwortung *prima facie* leicht fallen sollte, tangierte im Veröffentlichungsjahr des Buchs 1876 ein Grundproblem der Rohrpost. Denn mit der Einführung der Rohrpost wurde ‚Kanalarbeit‘ buchstäblich und die Frage nach dem Funktionieren von Kommunikation zu einer Frage nach etwaigen Störungen im Kanal. Oder mit Bontemps selbst kommentiert, der erfolgreiches Kommunizieren als fortwährende Arbeit an der Störung narrativierte: „Intimately connected with the working of the [pneumatic] tubes is the removal of obstructions which occur from time to time, causing not unfrequently serious inconvenience and delay.“³ Und dieses ‚delay‘ galt der Rohrpost, wie für Transportinfrastrukturen üblich, als inakzeptables Übel. Schließlich war das System der Rohrpost eines, das materielle Kommunikation semi-automatisierte und Sendungen mit damals möglicher Höchstgeschwindigkeit transportierte. Schon die englische Bezeichnung *Pneumatic Despatch* für Rohrpost (heute eher *dispatch*) ist dafür programmatisch. Nach dem Oxford English Dictionary bedeutet *dispatch* nämlich als Substantiv das *Versenden* von etwas oder jemandem – gleich ob Briefe, Truppen oder Waren –, ebenso als Verb das *schnelle* und *effiziente* Handhaben einer Aufgabe.

Es geschah in diesem historischen Kontext der Rohrpost, dass eine andere Form von Delay Implementierung erfahren sollte und die erste Apparatur der Echoortung begründete. Von besonderer Relevanz ist demgemäß im Folgenden weniger die erfolgreiche Kommunikation per Rohrpost als vielmehr ihre Negation, insofern diese nach nachgelagerten Prozeduren der Fehlerbehebung und – das ist besonders – zunächst der Störungs*lokalisation* verlangte. Wurde sich in der Medienwissenschaft bisher – wenn auch allenfalls randständig – mit Rohrpost-Infrastrukturen beschäftigt, erfolgte dies hinsichtlich ihrer Funktionalität.⁴ Dahingegen

zeichnen, vgl. Geistbeck, Michael (1895): *Der Weltverkehr. Seeschifffahrt und Eisenbahnen, Post und Telegraphie. Zweite, neu bearbeitete Auflage*, Freiburg, 507-513.

- 3 Bontemps, Charles (1875): „The Pneumatic Telegraphs of Paris“, in: *Minutes of Proceedings of the Institution of Civil Engineers* 43, 116-134, 132.
- 4 Schabacher, Gabriele (2014): „Rohrposten. Zur medialen Organisation begrenzter Räume“, in: Christoph Neubert/Gabriele Schabacher (Hrsg.), *Verkehrsgeschichte und Kulturwissenschaft: Analysen an der Schnittstelle von Technik, Kultur und Medien*, Bielefeld, 189-222. Eine vollumfängliche Mediengeschichte von Rohrposten ist – und bleibt vielleicht – ein Desiderat, obgleich diese aus medienkultureller Perspektive lohnenswert wäre. Rohrposten stellten die ersten Techniken dar, die materielle Übertragungen semi-automatisierten, und Kanäle nutzten, die Menschen sinnlich verborgen waren. Rohrpost sollte damit die Übertragungszeit brieflicher Kommunikation beschleunigen. Zwar fand die Telegraphie seit der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts Verwendung und telegraphische Kommunikation fand zwischen den Central Post Offices von Großstädten statt. Von die-

liegt mein Fokus dezidiert auf Momenten des Scheiterns jener Funktionalität, nämlich der Störung von Rohrpost-Kommunikation. Diese Störungen im Kanal der Rohrpost, namentlich steckengebliebene Rohrpostbüchsen, wie sie Bontemps hier eingangs erwähnte, standen dem *effizienten* Senden destruktiv entgegen.

Rohrposten erinnern daran, dass Kommunikationsnetzwerke – wie ortlos das digitale *world wide web* auch erscheinen mag – räumlich rückgebunden sind und auf Kanälen, Röhren oder Kabeln basieren, die störungsfrei zu funktionieren haben. Nur dann ist die Möglichkeit einer Nachrichtenübertragung garantiert. Rohrposten sind dafür geradezu exemplarisch: Jede im Postrohr steckengebliebene Büchse machte sogleich den ganzen Kanal defizitär. Die Rohre der Rohrpost zwischen zwei Stationen waren geschlossene Systeme. Das bedeutete, dass der Luftdruck eines Rohrs nicht an beliebiger Stelle verändert werden konnte, sondern entweder Ergebnis von kontinuierlichem Überdruck der Sendestation oder kontinuierlichem Unterdruck seitens der Empfangsstation war. Zugriff auf die Sendungen konnte lediglich an jenen Sende- und Empfangsstationen erfolgen. Technisch gesprochen war damit die ‚Bandbreite‘ des Kanals sehr limitiert. Steckten Botschaften im Postrohr fest, konnten keine weiteren Nachrichten durch das Rohr gesendet werden. War die Bedeutung der Störungsbeseitigung in technischen Kanälen ihrerzeit in anderen Diskursen bereits brisant geworden – allen voran im Kontext von Telegraphenkabeln, besonders den meist vergleichsweise langen unterseeischen Kabeln⁵ – geriet die Störung als zentrales Element von Kommunikation in den Fokus von Ingenieuren, die sich mit Transportinfrastrukturen statt elektrotechnischen Sendungen beschäftigten.

Zum Steckenbleiben einer Büchse im Postrohr konnte es kommen, wenn der benötigte erhöhte Luftdruck seitens einer Sendestation nicht ausreichte, um eine Sendung zu befördern; oder der Unterdruck an der Empfangsstation nicht genügte; wenn sich Wasser in den Röhren sammelte; oder nicht zuletzt, wenn sich die Röhren durch massiven Bodenfrost verengten. So wurde zwar die am 1. März 1893 in Betrieb genommene Rohrpostlinie in Philadelphia 1,2 m tief im Boden verlegt und war damit unterhalb der Frostgrenze.⁶ Dahingegen war ein Großteil

sen zentralen Stellen aus nahm die separate Distribution von Botschaften aber noch erhebliche Zeit in Stundenhöhe in Anspruch, da einzelne Wohnungen üblicherweise nicht an das Telegraphennetz angeschlossen waren: „As each house cannot be put in immediate communication with the telegraphic network, it became necessary to adopt some other convenient plan.“ Anonym: (1873): „The Atmospheric Telegraph“, 65.

5 Vgl. exemplarisch Clark, Latimer (1868): „Testing for Faults“, in: ders.: *An Elementary Treatise on Electrical Measurement for the Use of Telegraph Inspectors and Operators*, London, 69-77.

6 Arnold, Ingmar (2016): *Luft-Züge. Die Geschichte der Rohrpost*, Berlin, 106.

der Berliner Rohrpost (geplant und gebaut von Siemens & Halske, deren erste Linie 1865 zwischen dem zentralen Telegraphengebäude und der Börse eröffnet wurde) lediglich zwei bis drei Fuß „unter dem Straßenpflaster“⁷ verlegt worden, wie Werner Siemens im selben Jahr, 1865, berichtete. Dadurch stand die Berliner Rohrpostinfrastruktur in Abhängigkeit von ihrer Umwelt, wie bereits 1867 kommentiert wurde: Durch die geringe Tiefe der Rohrpost-Rohre unter den Gehwegen „kam es, besonders bei feuchtem Wetter, daß das in der verdichteten, erwärmten Luft enthaltene Wasser in den kalten Röhren condensirte und dadurch die Telegrambüchsen nebst Inhalt in den Röhren feucht wurden, im Winter aber, sobald das Wasser gefror, in denselben stecken blieben.“⁸ Auch bei ausreichend tief verlegten Rohrpostsystemen oder der Pariser Rohrpost – die nicht unter Gehwegen, sondern in der Kanalisation verlegt worden war – konnte es zu Störungen kommen bzw. gehörten Störungen, wie Bontemps es formulierte, irreduzibel zum betrieblichen Alltag der Post und verlangten nach „Infrastruktur-Arbeit“.⁹

Der Kanal als die intermediäre Instanz der Rohrpost-Kommunikation, die allenfalls passive Erwähnung in den Schriften zur Rohrpost findet – nämlich als etwas, das es innerhalb möglichst kurzer Zeiten vermeintlich zu „überwinden“ galt¹⁰ –, geriet in den nachrichtentechnischen Fokus von Ingenieuren. Zu den ihrerzeit gängigen Verfahren der Störungsbeseitigung bei Steckenbleiben einer Rohrpostsendung zählte es, durch eine Umkehrung des Luftdrucks die Büchse wieder zu ihrem Ausgangspunkt zurück zu befördern. Eine zweite Möglichkeit war es, auf der bereits absolvierten Strecke einen Unterdruck zu erzeugen, was dasselbe bewirkte. Im Londoner Rohrpostsystem konnten Rohre zudem mit Wasser oder Alkohol geflutet werden, um eine steckengebliebene Rohrpostbüchse zur Sende- oder Empfangsstation zu pressen. Sämtliche Postrohre in den Sende- und Empfangsstationen waren dort daher mit einer zusätzlichen schmalen Röhre versehen, durch welche Wasser eingelassen werden konnte.¹¹

7 Siemens, Werner (1891 [1865]): „Die pneumatische Depeschenbeförderung zwischen der Central-Telegraphenstation in Berlin und dem Börsengebäude daselbst“, in: ders.: *Wissenschaftliche und Technische Arbeiten. Zweiter Band. Technische Arbeiten*, Berlin, 217-229, 227.

8 Zit. n. Arnold (2016): *Luft-Züge*, 120.

9 Schabacher, Gabriele (2022): *Infrastruktur-Arbeit. Kulturtechniken und Zeitlichkeit der Erhaltung*, Berlin.

10 So hieß es 1909 über die Berliner Rohrpost: „Die längste Fahrt zwischen zwei einzelnen Ämtern geht über 3 Kilometer; offiziell braucht man zum Überwinden dieser Distanz vier Minuten, 19 Sekunden bei komprimierter Luft sowie fünf Minuten dreißig Sekunden bei verdünnter Luft.“ Anonym (1909): „Investigations as to Pneumatic Tube Service for Mails“, Washington, hier zit. n. Arnold (2016): *Luft-Züge*, 133.

11 Vgl. Culley/Sabine (1876): „The Pneumatic Transmission of Telegrams“, 92.

Ließ sich die Störung mit diesen Prozeduren nicht beseitigen – anders gewendet: präsentierte sich das Postrohr statt als passiver Überträger als aktiver, aber unbeabsichtigter Speicher von Nachrichten –, „so bleibt freilich nichts anders übrig“, so Werner Siemens 1865, „als den Röhrenstrang aufzunehmen“.¹² So konnte eine steckengebliebene Büchse manuell entfernt werden. Das zentrale Problem aber, weiter Siemens, war, dass sich die Störung „irgendwo in der Leitung“ befinden konnte, wobei die Betonung auf diesem ‚Irgendwo‘ der buchstäblich uneinsichtigen Röhre lag. Um ein Rohr zu öffnen und eine Störung manuell zu beseitigen, musste also „der Ort, wo der Wagen sitzt, wenigstens annähernd bekannt sein“,¹³ schließlich war es wenig ökonomisch, ein mitunter mehrere hundert Meter langes Rohr gänzlich zu öffnen.

Anders als Züge, die an der Erdoberfläche fahren, schwanden Rohrpostbüchsen in die Unsichtbarkeit. Konnten Fragen nach der Position stehengebliebener Züge einfach beantwortet werden, da sie sich dem menschlichen Blick selten entziehen, war die Frage nach den ‚trains‘ steckengebliebener Rohrpostbüchsen selten auf Grundlage menschlicher Sinne zu beantworten. So wurde zum historischen ersten Mal die Frage nach dem ‚Wo‘ eines Dings, das man weder sehen, hören oder riechen kann, zum kritischen Moment von Kommunikationstechnik. Wie also lässt sich der Ort eines Dings wissen, auf das kein direkter Zugriff möglich ist? Wie lässt sich ein Objekt lokalisieren, das man nicht sehen kann und das keine Geräusche, Hitze oder sonstige Emissionen ausstrahlt? Wie misst man die Entfernung zu einem Ding, von dem keiner weiß, wo es ist?

Wichtig für die Beantwortung dieser Fragen sowie für das Verständnis der erheblichen Infrastrukturprobleme, die steckengebliebene Rohrpostbüchsen verursachten, ist ein Blick in die historische Situation. Die in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts in Paris, Marseille, Berlin, München, Hamburg, Wien, New York oder Boston entstandenen Rohrpostnetze – um nur einige der größten zu nennen – waren Infrastrukturen, welche Großstädte netzartig durchzogen: s.g. Fernrohrpostanlagen. Vornehmlich in Bezug auf konkrete Fallbeispiele sind diese frühen Rohrpostsysteme historisch bereits erschlossen. Für eine historische Aufarbeitung der Wiener Rohrpost sei auf Walther Turner¹⁴ oder Hans Hajek¹⁵ verwiesen, mit

12 Siemens (1891 [1865]): „Die pneumatische Depeschenbeförderung“, 227.

13 Ebd. Mit „Wagen“ war die Rohrpostbüchse gemeint. Diese Äquivalenz von Nachrichten- und Transporttechnik in der Bezeichnung gilt auch, da mehrere „Wagen“ zu s.g. „Zügen“ gruppiert wurden. Im Englischen erfolgte die Bezeichnung der Rohrpostbüchsen und ihre Aneinanderreihung mit „wagon“ und „train“ demselben rhetorischen Schema.

14 Turner, Walther (1978): *Die Stadtrohrpost in Wien 1875-1956*, Wien.

15 Hajek, Hans (1933): *Geschichte der Wiener Rohrpost*, Wien. Zudem von Interesse für die Wiener Rohrpost ist Kainz, Christine (1995): *Österreichs Post. Vom Botenposten zum*

Bezug auf Berlin legte Ingmar Arnold eine umfassende Studie vor.¹⁶ Ebenso sind die umfassenden Arbeiten von Reinhard Krüger zur Rohrpost erwähnenswert.¹⁷

Diese historischen Darstellungen innerstädtischer Rohrpostanlagen illustrieren, dass – im Gegensatz zu den noch heute gebräuchlichen Rohrpostsystemen, die die Grenzen eines Gebäudes meist nicht übersteigen¹⁸ –, die Rohre zwischen den einzelnen, miteinander verbundenen innerstädtischen Sende- und Empfangsstationen lang waren. Rohrlängen im Bereich hunderter Meter, teilweise sogar im Kilometerbereich waren keine Seltenheit. So erstreckte sich das Berliner Rohrpostnetz bereits 1868 über eine Länge von 18 Kilometern.¹⁹ Als am 1. Dezember 1876 die Berliner Rohrpost für private Sendungen freigegeben wurde, verfügte sie bereits über 15 Rohrpostämter mit einer Ausdehnung von rund 26 Kilometern Rohrlänge. Dass die innerstädtischen Rohrpostnetze tendenziell das Zentrumsgebiet der jeweiligen Städte vollständig abzudecken versuchten, zeigen ihre schematischen Liniennetze, von denen hier repräsentativ eines zur Illustration herhalten soll: ein Plan des Rohrpostnetzes von Paris aus dem Jahr 1888 (vgl. Abb. 6).

Postboten, Wien, insb. 113-117; allgemein auch Bettel, Florian (2011): „Der ‚vollkommenen‘ Welt um einen Schritt näher. Die Rohrpost am Arbeitsplatz in fünf Bildern“, in: *Blätter für Technikgeschichte* 73, 127-148.

- 16 Arnold, Ingmar (2000): *Luft-Züge. Die Geschichte der Rohrpost in Berlin und anderswo*, Berlin. Zur Berliner Rohrpost siehe auch Krüger, Reinhard (2013): *Pneumatische Streifzüge I zur Geschichte der Berliner Rohrpost (1863-1976)*, Frankfurt a.M. oder Wengel, Wolfgang (2002): „Comeback der Rohrpost? 125 Jahre Stadtrohrpost Berlin – auch heute noch ein Vorbild für technische Innovation“, in: *Das Archiv* 1(2), 6-19.
- 17 Krüger, Reinhard (2017): *Die Rohrpost von Marseille*, Berlin; ders. (2015): *Studien und Quellen zur Geschichte der Stadtrohrpost Hamburg bis 1935*, Berlin; ders. (2015): *Die Rohrpost von Algier*, Berlin.
- 18 So verfügt das Bundeskanzleramt in Berlin sowie das Heidelberger Universitätsklinikum über ein internes Rohrpostsystem. Zweiteres verdeutlicht, dass sich die innerbetriebliche Rohrpost heutzutage vor allem dort bewähren kann, wo es gilt, nicht ausschließlich Daten, sondern Dinge respektive Flüssigkeiten (Medikamente, Blut) schnell und personal-ökonomisch zu versenden. Ersteres verdeutlicht, dass für einen Staat relevante Dokumente selten per Email gesendet werden, sondern physisch vorliegen müssen – weshalb ihre Übertragung durch Rohrposten zeitökonomisch ist.
- 19 Die größte Ausdehnung erreichte das Berliner Rohrpostnetz im Jahr 1940 mit einer gesamten Rohrlänge von insgesamt knapp 400 Kilometern.

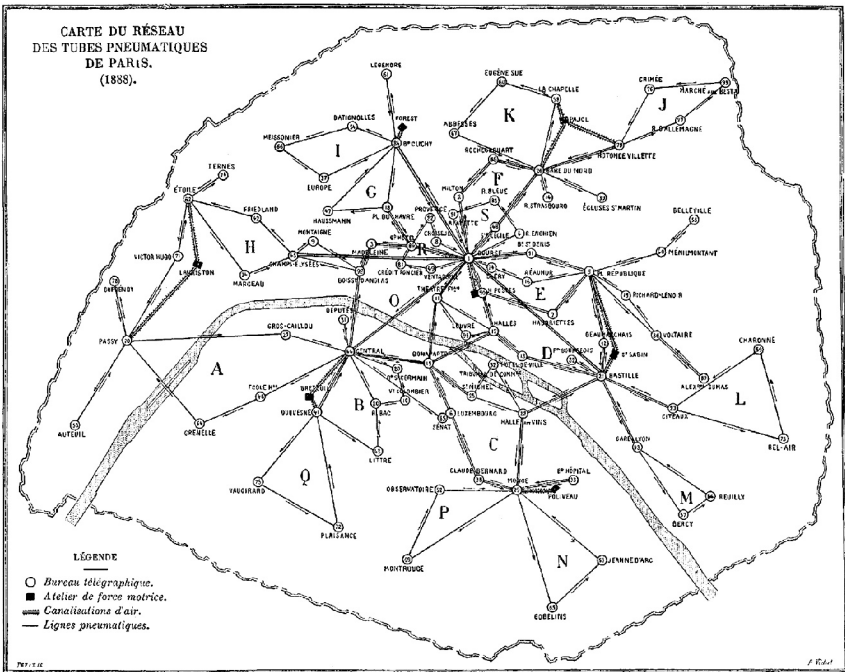


Abbildung 6: Karte der Rohrpostlinien im Stadtraum von Paris, 1888.

Arbeit an der Störung

Aufgrund der Ausmaße dieser Fernrohrpostanlagen war das Auffinden steckengebliebener Rohrpostbüchsen mit konventionellen Verfahren nicht möglich. Die bereits bekannte Methode, eine Postbüchse mit Hilfe von Draht bzw. einer Gelenkstange zu lokalisieren, die von einer Sende- oder Empfangsstation in das gestörte Rohr geschoben wurde, erübrigte sich. Dies war nur bis zu einer Entfernung von etwa 60 m zur Störung funktional – mithin für die postalischen Langstreckenverbindungen weitaus zu gering. Vonnöten wurde die Konzeption und Realisierung neuer Strategien zur Objektlokalisierung, um die gestörten Rohre möglichst nah an der Störung zu öffnen.

Von einem hierzu genutzten Verfahren berichtete der bereits zur Rohrpost zitierte Werner Siemens. Seine Lösung des Problems der Störungslokalisierung operierte auf Basis des Rohrvolumens bis zur steckengebliebenen Postbüchse, aus dem sich – mittels Division durch den Rohrdurchmesser – die Länge des Rohrs bis zur Störungsstelle errechnen ließ. Um das Volumen zu ermitteln, verwendete er ein technisches Objekt, das sein Bruder Carl Wilhelm Siemens einige Jahrzehnte zuvor verbesserte und für welches er 1852 ein englisches Patent erhalten hatte:

den Wassermesser, der Wasserverbrauch direkt anzeigte und vom Prinzip her einem Wassermesser entspricht, wie er noch heute verwendet wird.²⁰ Unter Einschaltung dieses Messers galt es Werner Siemens, Wasser in einer Ledermanschette in ein gestörtes Rohr zu leiten, bis dieses zwischen Poststation und Störung vollständig mit Wasser gefüllt war.²¹ Mit diesem recht primitiven Verfahren konnte gemäß notwendigem Wasservolumen die Position einer feststehenden Postbüchse annähernd exakt bestimmt werden. In der Praxis war das Verfahren allerdings mit dem Problem belastet, dass das Rohr anschließend wieder leergepumpt werden musste, was zeitaufwendig war.

Ein zweites in der historischen Rohrpost-Praxis angewandtes Verfahren, um Störungen zu lokalisieren, das ebenso indirekt funktionierte, basierte auf Luftdruck-Messungen bzw. genauer: der Differenz *zweier* Luftdruck-Messungen. Dabei wurde die Veränderung des Luftdrucks eines Drucklufttanks in der Rohrpoststation des gestörten Kanals auf einem Manometer – ein Druckmessgerät – beobachtet, wenn dieses nacheinander mit einer Linie bekannter Länge und anschließend mit der gestörten Rohrpostlinie in Verbindung gebracht wurde. Die verwendeten Manometer waren zwar nicht auf Entfernungen geeicht, aber bei ausreichender Erfahrung der Postmitarbeitenden konnte auf Basis der Skala des Manometers und bei bekannter Länge des Referenzrohres die Störungsstelle annähernd bestimmt werden. Allerdings konnte auch so die Position einer steckengebliebenen Rohrpostbüchse nur bis auf höchstens 30 m genau bestimmt werden.²² Damit war auch dieses Verfahren zu ungenau.

Der bereits eingangs erwähnte französische Ingenieur und Pariser Rohrpost-Pionier Charles Bontemps (1839–1884) berichtete demgegenüber über eine seinerzeit neue, aus heutiger Perspektive genuin moderne Methode, die Entfernung zu einer steckengebliebenen Rohrpostbüchse zu ermitteln. Eine Methode, die – so scheint es in der Retrospektive – ihrer Zeit weit voraus war, da apparative Verfahren, die auf gleichen Epistemen fußen wie das Echolot oder das Sonar, erst Jahrzehnte später breite Wirkmächtigkeit entfalten sollten. Sein Verfahren nebst der verwendeten Apparatur als einem neuem epistemischen Ding²³ in der postalischen Praxis, markiert den historischen Ursprung einer ganzen Reihe unterschiedlicher Techniken der Entfernungsbestimmung auf Basis von *Laufzeitmessung*. D.h.

20 Für einen historischen Abriss heimischer Wasserzähler siehe Sell, L. (1896): „Die Wassermesser für Hausleitungen“, in: *Polytechnisches Journal* 301, 241-248.

21 Siemens (1891 [1865]): „Die pneumatische Depeschenbeförderung“, 227.

22 Bontemps (1876): *Les Systèmes Télégraphiques*, 328.

23 Zum Begriff des epistemischen Dings siehe insb. Rheinberger, Hans-Jörg (2001): *Experimentalsysteme und epistemische Dinge. Eine Geschichte der Proteinsynthese im Reagenzglas*, Göttingen.

sein Verfahren basierte auf der Mobilität von Klang und evozierte mithin eine Verzeitlichung von Räumen auf Basis von Delays, was seinen Status der Modernität unterstreicht. Um diese Apparatur, ihre Herkunft und ihren originären Zweck zu verstehen, ist jedoch ein historischer Umweg erforderlich, der beim französischen Chemiker und Physiker Henri Victor Regnault (1810–1878) beginnt.

Regnault beschäftigte sich in den 1860er Jahren mit der Messung von Schallgeschwindigkeit, die bis dato noch keineswegs als gesicherte Größe galt. Dies machte er exakt in der Stadt, in welcher Bontemps später maßgeblich an der Installation des dortigen Rohrpostsystems beteiligt sein sollte – Paris –, zudem in genau jenem Raum, in welchem die spätere Rohrpost verlegt werden sollte – der Pariser Kanalisation – und nicht zuletzt war es Regnaults erklärtes Ziel, die Schallgeschwindigkeit in Objekten zu bestimmen, welche auch für die Rohrpost konstitutiv werden sollten: Röhren.

Regnaults apparatives Verfahren basierte auf dem Öffnen und anschließenden Schließen eines Stromkreises, wobei jenes Öffnen und Schließen am Anfang bzw. Ende einer Röhre bekannter Länge geschah. Regnault feuerte eine ungeladene Pistole am Anfang einer Röhre ab, wodurch ein akustischer Impuls erzeugt wurde. Dessen Druckwelle durchtrennte einen feinen Draht, was einen Stromkreis öffnete. Anschließend pflanzte sich der Impuls mit seiner spezifischen Verzögerung durch die Röhre fort. Am Ende der Röhre bewirkte die akustische Welle eine Wölbung eines zweiten feinen Drahts, wodurch der Stromkreis wieder geschlossen wurde. Kritisches Moment der Messanordnung war es, diese Zeit zwischen Öffnen und Schließen des Stromkreises möglichst exakt zu bestimmen, um die bekannte Rohrlänge durch dieses Zeitintervall dividieren zu können. Dieses Verfahren der Bestimmung von Zeitintervallen auf Basis des Öffnens und Schließens eines Stromkreises war im historischen Kontext als „zeitmessender Strom“ bekannt und entstammt der experimentalpraktischen Ballistik und Physiologie, genauer: der Elektrophysiologie (vgl. Kap. 2). Zu diesem Zweck war das Öffnen und Schließen des Stromkreises mit einem Elektromagneten synchronisiert, der entsprechend seines Zustands (magnetisiert/nicht-magnetisiert) einen Hebel anzog oder nicht. Wurden auf einer sich drehenden Walze auf berußtem Papier diese binären Zustände des Hebels und zudem eine Zeit-Schrift zweiter Ordnung als temporale Referenz – ein Elektrochronogramm – verzeichnet, konnte das zu bestimmende Zeitintervall *gesehen* und *ausgezählt* werden. Denn eine zeitliche Differenz war in eine graphische, d.h. räumliche Differenz übersetzt worden (vgl. Abb. 7). Fünf Jahre lang, zwischen 1862 und 1866, bestimmte Regnault mit diesem Verfahren die Schallgeschwindigkeit in Gas- und Wasserleitungen bei unterschiedlichen Temperaturen. Er nutzte dazu Rohre mit einer Länge von mitunter 1590 m und einem Durchmesser zwischen 10 cm und 1 m.

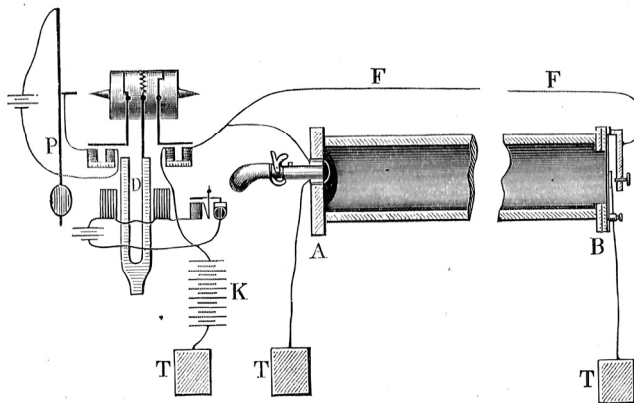


Abbildung 7: Schematisierung der experimentellen Anordnung zur Messung der Schallgeschwindigkeit in Röhren bei Regnault.

Orten: Zeit-Räumlichkeit des Schalls

Regnault brachte das Zeit-Raum-Regime des Schalls in Röhren unterschiedlichen Durchmessers auf konkrete Werte *und* er entwarf und beschrieb eine Messanordnung – quasi eine *open access*-Apparatur –, die es potenziell jedem Interessierten erlaubte, seine Versuche zu reproduzieren. Das Novum und die Pionierleistung Bontemps' war es, diese Regnault'sche Apparatur zu verwenden, aber mit dieser eine *andere* Frage zu beantworten. Er vertauschte die bekannten und unbekannten Parameter des Experimentalsystems miteinander: Bontemps galt es nicht, bei bekannter Länge eines Rohres eine vormalig unbekannte Schallgeschwindigkeit zu ermitteln, sondern mit nunmehr hinreichend validen Daten um akustische Delays den unbekannten Parameter ‚Rohrlänge‘ zu messen: nämlich den Abstand zwischen einer Rohrpoststation und einer steckengebliebenen Postbüchse. Mathematisch interpretiert handelte es sich bei beiden Verwendungsweisen derselben Apparatur – zur Bestimmung von Schallgeschwindigkeit bei bekannter Rohrlänge bzw. zur Bestimmung von Rohrlänge bei bekannter Schallgeschwindigkeit – um die Lösung derselben Formel; nur, dass jeweils eine andere Größe als Unbekannte galt. Bontemps adaptierte also Regnaults Verfahren unter vorzeichenverkehrten Bedingungen. War es zur Mitte des 19. Jahrhunderts Hermann von Helmholtz' Anliegen, die Zeitlichkeit der Wahrnehmung chronographisch zu bestimmen, galt es in der Praxis der Rohrpost circa 1875, chronographische Apparaturen zu verwenden, um Entfernungsmessung auf Basis der Messung der Verzögerung eines akustischen Impulses durchzuführen.

Bontemps überführte die bis dato rein physikalische Forschung Regnaults in den Bereich des Praktischen. Die Konkretisierung des Delays von Schall in Röhren

wurde produktiv: Bontemps operationalisierte die Raum-Zeit-Regime der Akustik zum historisch ersten Mal zu Zwecken der aktiven Ortung ‚unsichtbarer‘ Objekte via Schall. Damit realisierte die Apparatur das historisch erste technische Verfahren des *remote sensing* auf Basis von Laufzeitmessung und – das ist medienhistorisch von Bedeutung – ist das erste apparative Verfahren der Ferndetektion auf Basis der *Echoortung*. Denn im Unterschied zu Regnaults Anwendung des Experimentalsystems kam bei Bontemps nicht mehr am Ende eines Rohres der Zeitpunkt zur Markierung, wenn der Schall eines Pistolenschusses dieses erreichte. Es wurde jeder Zeitpunkt markiert, wenn das von einer steckengebliebenen Rohrpostbüchse reflektierte *Echo* wieder am *Anfang* des Rohres eintraf. Eine technikdeterministische Perspektivierung der Regnault’schen Apparatur zur Messung von Schallgeschwindigkeit würde seine Varianz verengen. Es waren Messpraktiken, die darüber entschieden, ob ein und dieselbe Technik Schallgeschwindigkeiten chronographisch zu verdaten erlaubte oder umgekehrt, auf Basis von Schallgeschwindigkeiten eine Prozedur der akustischen Lokalisation darstellte. Über die Neuartigkeit dieser Messtechnik („L’originalité de ces expériences“²⁴) im Dienste der nunmehr akustischen Ortung als Novum seinerzeit war sich Bontemps bewusst, auch, wenn er seine mediengenealogische Pionierleistung nicht erahnen konnte.

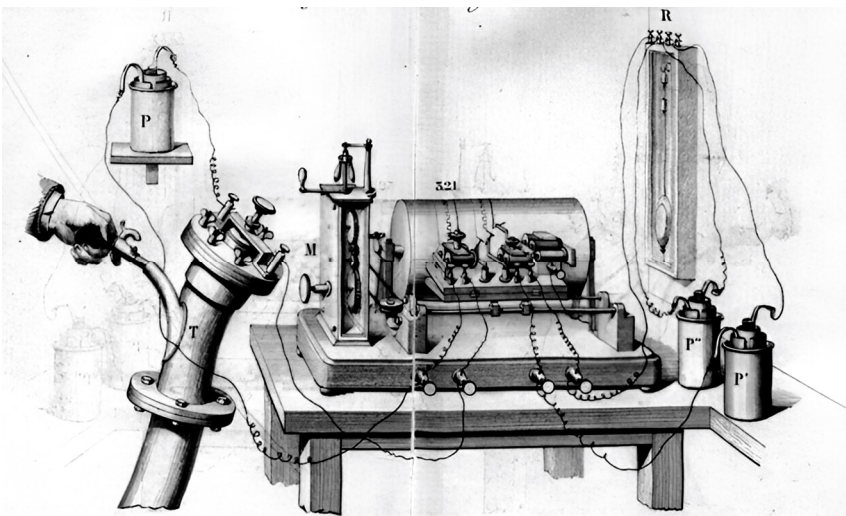


Abbildung 8: Messanordnung zur Echoortung steckengebliebener Rohrpostbüchsen nach Charles Bontemps (1876).

24 Bontemps (1876): *Les Systèmes Télégraphiques*, 329.

Die mechanische Komplexität des Verfahrens wird in einer Abbildung deutlich, die Bontemps seinem Buch über Telegraphie beifügte (vgl. Abb. 8). Von besonderem Interesse ist die zentral zu sehende Zylinderwalze mit berußtem Papier, auf der insgesamt drei Schwingungsvorgänge chronographisch verzeichnet wurden. Über das derart produzierte Chronogramm wurde das Delay zwischen Ortungsimpuls (Pistolenknall) und seinem von einer steckengebliebenen Rohrpostbüchse reflektierten Echo bestimmt. Damit diese Translation einer Zeit- in eine Raumdifferenz auf dem berußten Papier mathematisierbar, d.h. in numerische Daten überführbar wurde, wurde neben den sukzessiven Echos (vgl. Abb. 9 oben) die Schwingung eines Sekundenpendels binär verzeichnet (vgl. ebd. mittig), ebenso die Schwingungen einer ‚zeitschreibenden Stimmgabel‘, die in diesem Fall eine Frequenz von 33 Hz hatte (vgl. ebd. unten).



Abbildung 9: Das visuelle Regime der Elektrochronographie zur Errechnung räumlicher Entfernung auf Basis des Delays eines akustischen Impulses bei Bontemps.

Dadurch gestaltete sich die Ortung von Störungen im Rohrpostkanal als chronographische Praktik aus, ein als Abzählen von Stimmgabelschwingungen, die zwischen einem Echo und dem nächsten vergingen. Wie Bontemps selbst berichtete:

„Si l'on réussit à évaluer l'intervalle de temps écoulé entre les apparitions des deux marques, il est aisé de voir qu'on pourra calculer la distance de la membrane à l'obstacle.“ („Wenn es uns gelingt, das Zeitintervall zwischen zwei Markierungen [d.h. zwei sukzessiven Echos] zu bestimmen, ist es leicht zu sehen, dass wir die Entfernung zwischen Membran und Hindernis [die steckengebliebene Rohrpostbüchse] berechnen können.“)²⁵

Die Anzahl chronographisch aufgezeichneter Stimmgabelschwingungen zwischen zwei sukzessiven Echos wurde durch zwei dividiert, da es sich schließlich um ein Echo handelte und somit die doppelte Schallstrecke. Dieses Ergebnis wurde mit der von Regnault ermittelten Schallgeschwindigkeit (rund 330 m/s) multipliziert. Im konkreten Fall der chronographischen Abbildung (vgl. Abb. 9) konnte abgelesen werden, dass Echos von einer steckengebliebenen Rohrpostbüchse alle 12/33

25 Bontemps (1876): *Les Systèmes Télégraphiques*, 329.

Sekunde verzeichnet wurden. Die Störung befand sich folglich in einer Entfernung von 60 m zur Messapparatur.

Am Ende der Übersetzungskette stand ein Datum: eine numerische Angabe, die im Idealfall mit der Entfernung zwischen einer Rohrpoststation und einer steckengebliebenen Postbüchse korrespondierte. Die Räumlichkeit von Schall wurde mithin zeitkritisch in eine Zahl übersetzt, die auf eine Geoposition im Raum verwies. An jener Stelle wurde das gestörte Postrohr geöffnet und die Büchse manuell entfernt. Damit handelt es sich bei dem Verfahren um ein frühes Geomedium, das eine Virtualisierung des Raums begründete, insofern Entfernungen zu unsichtbaren Objekten zahlenmäßig verhandelt werden konnten. Die mit jeder Ortung notwendig einhergehende chronographische Darstellung ist bereits als „Phänomenotechnik“ im Sinne Gaston Bachelards zu bewerten.²⁶ Das Verfahren erzeugte graphische Erkenntnisobjekte, auf deren Basis Positionsdaten materieller Objekte des Georaums berechnet wurden. Aus diesem Grund handelte es sich um eine mediale Prozedur: Einerseits erzeugte sie technische Einsichtigkeit ansonsten uneinsichtiger Rohre; andererseits setzte sie auf Basis von Chronogrammen eine rechnerische Praxis mit Daten voraus – eine, die im historischen Kontext von menschlichen Akteuren geleistet wurde.

Gleichwohl die oben gegebene, nüchterne Beschreibung des Verfahrens seine Brisanz fast zu negieren scheint, ist Bontemps' s.g. *chronographe enregistreur* als posthistorisches Artefakt hinsichtlich einer Technik- und Wissensgeschichte der Akustik und medienwissenschaftlich von erheblicher Signifikanz. Bontemps' inverse Adaption des Regnault'schen Verfahrens markiert den Anbeginn einer Medientechnikgeschichte, die sich im 20. Jahrhundert in so bedeutenden Techniken wie dem Echolot, dem aktiven Sonar, der Sonographie, dem Impulsradar oder dem GPS fort schreibt. Alle diese Medientechniken messen zwar räumliche Entfernung, aber eigentlich Zeit, nämlich Delays: die Übertragungszeit akustischer bzw. im Fall von Radar und GPS elektromagnetischer Impulse oder Signale. Aus diesen Delays zwischen Senden und Empfangen eines Impulses oder Signals wird erst eine räumliche Größe ermittelt. Diese temporale Verdatung des Georaums qua Delay war dem Verfahren bereits inhärent. Die epistemische Pionierleistung Bontemps' bestand darin, die Ausbreitungszeit von Schall nicht als zweckfreie Nebenbedingung jeder akustischen Übertragung zu interpretieren, sondern Delay strategisch zu nutzen.

26 Gaston Bachelard prägte den Begriff der „Phänomenotechnik“ in den 1930er Jahren und referierte mit diesem unter anderem auf wissenschaftliche Bilder, die das, was sie zu zeigen vorgeben, selbst erst hervorbringen und damit selbst zu Erkenntnisobjekten werden. Zum Begriff siehe auch Rheinberger, Hans-Jörg (2004): „Gaston Bachelard und der Begriff der ‚Phänomenotechnik‘“, in: Marc Schalenberg/Peter T. Walther (Hrsg.), *„immer im Forschen bleiben“. Rüdiger vom Bruch zum 60. Geburtstag*, Stuttgart, 297-310.

Dadurch wurde Akustik zum ersten Mal zu Zwecken der aktiven Entfernungsmessung, nämlich der Echoortung, operationalisiert. Der informative Gehalt bei einer Übertragung von Schall bestand bei Bontemps nicht länger im semantischen Sinn einer Botschaft, sondern lag in der Zeitlichkeit der Übertragung selbst. Delay war zur Botschaft einer Apparatur geworden: Die situierte Verzögerung einer Sendung war Teil einer geomedialen Strategie zur Akquise von Daten des Raums.

Medien der aktiven Ortung sind aus dem medienkulturellen Alltag nicht wegzudenken. Wie es diese Arbeit im Folgenden historisch aufarbeitet, wird auf ihrer Basis bspw. der Luftraum organisiert und es wird navigiert (Radar); es findet die Vermessung der Tiefen des Ozeans und das Auffinden von U-Booten statt (Echolot und Sonar); und es werden immanente Strukturen biologischer Körper untersucht (Sonographie). Umso mehr erstaunt, dass die Geschichte der aktiven Ortungstechnik noch aussteht und folglich ihr Ursprung einer wissenschaftlichen Aufarbeitung harrt – und Bontemps Ortungsverfahren bisher unbeachtet blieb. Dieses stellt ein wissenschafts-, technik- und medienhistorisches Desiderat dar. Spannend ist die Apparatur Bontemps' daher insbesondere in mediengenealogischer Perspektive. Das originär in der Pariser Rohrpost praktizierte Verfahren steht am Anbeginn einer Genealogie, die sich im Echolot, dem Sonar, Radar und der Sonographie fort schreibt. Echoortung emergierte mithin nicht etwa im Krieg, sondern fand im zivilen Kontext der Post ihren Ursprung. Dies stärkt einmal mehr die These, dass es nicht allein kriegserische Eskalationen sind, die – im Sinne Friedrich Kittlers – medientechnische Eskalationen folgen lassen,²⁷ sondern, dass das zivile Postwesen seinen maßgeblichen Anteil an medientechnischen Innovationen hat.²⁸

Die technisch-apparative Bedingung der Delaymessung bei Bontemps mag sich vom Radar oder digitalen Verfahren massiv unterscheiden – finden jene doch meist automatisiert in Mikrochips wie jenen miniaturisierten GPS-Empfängern in Smartphones statt. Im 19. Jahrhundert gestaltete sie sich noch chronographisch aus, basierte auf elektromechanischen Apparaturen und war genuin an menschliche Rechenpraxis gekoppelt. Die apparativen Verfahren Regnaults und Bontemps' sind programmatische Beispiele für „Selbstschreibverfahren“ bzw. „Selbstschreibapparaturen“, deren chronographischen Kurvenbildern im 19. Jahrhundert die

27 „Medien sind keine Pseudopodien, die der Menschenkörper ausfahren würde. Sie folgen der Logik der Eskalation, die uns und die Schrift-Geschichte hinter sich läßt“, schrieb Kittler, Friedrich A. (1993): „Geschichte der Kommunikationsmedien“, in: Jörg Huber/Alois Martin Müller (Hrsg.), *Raum und Verfahren*, Basel, 169-188.

28 Dies haben u.a. Bernhard Siegert oder Elena Fingerhut gezeigt: Siegert, Bernhard (1993): *Relais. Geschicke der Literatur als Epoche der Post*, Berlin; Fingerhut, Elena (2019): „Übertragen und Speichern. Zum Verhältnis von Adressen und medialen Gehäusen“, in: Christina Bartz et al. (Hrsg.), *Gehäuse. Mediale Einkapselungen*, Paderborn, 343-361.

höchste Objektivität bescheinigt wurde.²⁹ Für die Verfahren ist kennzeichnend, dass sie nicht in menschlichen Sensorien ihre kritische Bedingung fanden, sondern Detektionen – welcher Art auch immer – weitgehend automatisiert und d.h. objektiviert vollzogen. So funktionalisierten die Messverfahren von Regnault und Bontemps eine Kautschukmembran als Registrierfläche und basierten mithin auf einem hochsensiblen quasi-kybernetischen Ohr, so Bontemps: einem „oreille artificielle plus sensible que l'oreille humaine“.³⁰

Das Moderne an den experimentellen Schallmessungen, die um 1850 ansetzten und für deren Objektivitätsideale Regnault paradigmatisch einsteht, ist, dass sie nicht über menschliche Ohren liefen. Marin Mersenne, Athanasius Kircher, aber auch spätere Experimente wie die der Pariser Akademie der Wissenschaften im Jahr 1738, die von Johann Friedrich Benzenberg 1809 und 1811 in Ratingen oder die im Juni 1822 in der Nähe von Paris von u.a. Alexander von Humboldt durchgeführten Experimente zur Schallgeschwindigkeitsmessung – sie alle eint, dass sie zur Zeitmessung menschliche Sensorien verwendeten. Sie alle bestimmten Delays mit neurophysiologischen statt medientechnischen Apparaten. Die Automatisierung der Delaymessung und Exklusion menschlicher Ohren aus dem Messvorgang in der Apparatur von Regnault wurde daher in den Schriften zur Akustik ihrerzeit betont, wie etwa in Radaus *Lehre vom Schall*:

„Die Ankunft des Schalls [in der Experimentalanordnung von Regnault] wurde nicht durch das Ohr, sondern durch gespannte Membranen erkannt, von welchen ein leicht bewegliches Pendel zurückprallte und dadurch einen electrischen Strom unterbrach. Die Erschütterung der Membranen konnte auf diese Art, ebensowohl als der Augenblick des Schusses, telegraphisch registriert werden. Auf einem mit Ruß überzogenen, sich allmähig von einer Rolle abwickelnden Papierstreifen markierte eine elektrische Pendeluhr die Secunden neben einer beständig vibrierenden Stimmgabel, welche mit einer biegsamen Spitze die Hundertstel- Secunden in den Ruß einzeichnete. Längs der Zeitlinie markierte der Telegraph die Schüsse und die Ankunft des Schalles vor den verschiedenen Membranen, die Zwischenzeiten konnten also bis auf kleine Bruchtheile einer Secunde abgelesen werden.“³¹

Damit ging für die beteiligten menschlichen Akteure ein epistemischer Sinneswechsel vom Ohr zum Auge einher, der sich für die weitere Mediengeschichte des Delays im 20. Jahrhundert als nachhaltig erweisen wird. Wo vormals gehört wur-

29 Vgl. Rieger, Stefan (2009): *Schall und Rauch. Eine Mediengeschichte der Kurve*, Frankfurt a.M.

30 Bontemps (1876): *Les Systèmes Télégraphiques*, 329.

31 Radau (1875): *Die Lehre vom Schall*, 78.

de, wurde nunmehr ‚gelesen‘. Das ‚Ohr‘ war durch ‚gespannte Membranen‘ ersetzt worden. Nun wurde in Referenz zu einer Zeitschrift zweiter Ordnung, nämlich einer Stimmgabelschwingung, nicht mehr gewissenhaft gelauscht, sondern ‚telegraphisch registriert‘. Abgesehen von einer möglichen Kritik an den mechanischen Objektivitätsidealen, für die sich die Quelle verbürgt, bleibt festzuhalten, dass obgleich das Verfahren auf Akustik basierte, die automatisierte graphische Fixierung und mithin ein visuelles Regime von Delays entscheidend für die Funktionalität der Schalldetektion unsichtbarer Rohrpostbüchsen war.

Anhand der wenigen vorhandenen Quellen zum Thema lässt sich ersehen, dass das Verfahren der Echoortung von Bontemps in der Rohrpost in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts tatsächlich praktiziert wurde.³² Wie viele derartige Apparaturen international Verwendung fanden, lässt sich aber nicht rekonstruieren. Dies schränkt das Novum der apparativen Methode weder ein noch ändert es etwas daran, dass es das historisch erste technische Verfahren der Echoortung war; ein Verfahren, dessen sonische Episteme im 20. Jahrhundert in unterschiedlichsten Umwelten der Echoortung und Laufzeitmessung erneut technisch brisant und praktiziert werden sollten. Dass das Verfahren aber im 19. Jahrhundert noch ein Nischendasein fristete, lässt sich auch daran ablesen, dass es fortwährend singular an den Namen Bontemps gekoppelt war und sich die Zirkulation seiner Beschreibung entsprechend ausgestaltete. Bontemps berichtete über das Verfahren zunächst 1873 auf französisch im *Journal de Physique Théorique et Appliquée*,³³ 1874 wurde der kurze Artikel identisch in englischer Übersetzung im *Journal of the Society of Telegraph Engineers* abgedruckt³⁴ und 1875 erneut in den *Minutes of Proceedings of the Institution of Civil Engineers*.³⁵ 1876 beschrieb Bontemps das Verfahren erneut in seiner bereits erwähnten Übersichtsdarstellung telegraphischer Verfahren,³⁶ 1881 wurde die Beschreibung erneut identisch im *Dictionary of Engineering* abgedruckt.³⁷ Noch 1897 druckte Birney Clark Batcheller, der die ers-

32 Vgl. Jüllig, Max (1881): „Ueber akustische Distanzmessung. Vortrag, gehalten am 17. November 1880“, in: *Schriften des Vereins zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse* 21, 55-87, 86. Zur vertiefenden Diskussion der Quelle vgl. Kap. 4.

33 Bontemps, Charles (1873): „Note sur un procédé pour la détermination du point d’arrêt d’un convoi de dépêches dans les tubes pneumatiques“, in: *Journal de Physique Théorique et Appliquée* 2(1), 257-260.

34 Bontemps, Charles (1874): „Note on a Method of Discovering the Point of Stoppage of a Carrier in Pneumatic Tubes“, in: *Journal of the Society of Telegraph Engineers* 3(7), 500-502.

35 Bontemps (1875): „The Pneumatic Telegraphs of Paris“, 132-134.

36 Bontemps (1876): *Les Systèmes Télégraphiques*, 327ff.

37 Spon, Ernest (1881) (Hrsg.), *Supplement to Spons’ Dictionary of Engineering, Civil, Mechanical, Military, and Naval. Division III*, London, 943.

te US-amerikanische Rohrpost in Philadelphia und die New Yorker Rohrpostinfrastruktur mitkonzipierte, die Beschreibung in seiner Überblicksdarstellung über pneumatische Postanlagen ab.³⁸ Batcheller fügte dem Nachdruck der Beschreibung Bontemps' den Kommentar hinzu, dass er selbst von der Beseitigung von Störungen in Postrohren „no experience“ habe und deshalb Bontemps zitieren müsse – dessen Artikel zu diesem Zeitpunkt wohlgerne schon 24 Jahre alt war.

Über die Gründe dafür, dass Bontemps' apparatives Verfahren elektromechanischer Delaymessung zum Zwecke des *remote sensing* seinerzeit singulär stand, ließe sich nur spekulieren. Wohl war die Apparatur, medienökologisch gesprochen, spezifisch in ihrer Umwelt eingenischt. Sie konnte Entfernungsmessung halbautomatisiert in Röhren ausführen – im freien Feld oder anderen Räumen hätte die chronographische Methode mit ihrer Kautschukmembran als Schwingungsdetektor jedoch versagt. Außerhalb des geschlossenen Raums enger Röhren ist Echoortung im physikalischen Medium der Luft über weite Distanzen nicht praktikabel, da starke Beugungen des Schallstrahls auftreten und Schallimpulse schnell an Intensität verlieren. Zudem bedurfte die Apparatur eines komplexen Aufbaus, der wenig bis keine Mobilität versprach. Die Apparatur konnte folglich nicht kurzfristig zur Detektion neuer Störungen bewegt werden. Daher waren es in der Praxis ihrerzeit vornehmlich passiv operierende Delay-Techniken, die Anwendung fanden. Diese meist auf dem menschlichen Gehör basierenden Delaypraktiken und die sie evozierenden Techniken stehen im Fokus des folgenden Kapitels.

38 Batcheller, Birney Clark (1897): *The Pneumatic Despatch Tube System of the Batcheller Pneumatic Tube Co. Also Facts and General Information Relating to Pneumatic Despatch Tubes*, Philadelphia, 143-147.

4. Passivortung

Frühe Hörtechniken des Delays

„Wozu hat der Mensch 2 Ohren?“
– Erich Moritz von Hornbostel, 1923¹

Entfernungsmessung im Handumdrehen

Am 17. November des Jahres 1880 hörte der Verein zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse in Wien einen Vortrag, über dessen medienepistemologische Brisanz erst aus heutiger Retrospektive geurteilt werden kann. Das Thema musste für die damalige Zuhörerschaft etwas befremdlich gewirkt haben, zumal es seinerzeit einem Nischenthema gleichkam. Der Vortragstitel: „Ueber akustische Distanzmessung“, Referent: Max Jüllig.² Bezeichnend für die historische Singularität des Themas ist bereits die Biographie und publizistische Tätigkeit des Referenten. Jüllig habilitierte sich 1883 für elektrische Telegraphie und Eisenbahnsignalwesen und arbeitete seit 1896 für das österreichische Eisenbahnministerium, wo er 1906 die Leitung des Departments für Elektrotechnik übernahm. Auf den Wiener Elektrotechniker gehen Schriften wie *Die Kabeltelegraphie*,³ „Über die Fortschritte der Telephonie“⁴ oder „Zur Theorie der Metallthermometer“⁵ zurück und

-
- 1 von Hornbostel, Erich Moritz (1923): „Beobachtungen über ein- und zweiohriges Hören“, in: *Psychologische Forschung: Zeitschrift für Psychologie und ihre Grenzwissenschaften* 4, 64-114, 64.
 - 2 Jüllig, Max (1881): „Ueber akustische Distanzmessung. Vortrag, gehalten am 17. November 1880“, in: *Schriften des Vereins zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse* 21, 55-87.
 - 3 Jüllig, Max (1884): *Die Kabeltelegraphie*, Wien et al.
 - 4 Jüllig, Max (1890): „Über die Fortschritte der Telephonie, Vortrag, gehalten den 18. December 1889“, in: *Vorträge des Vereins zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse in Wien* 6(30), 163-196.

er referierte u.a. über „Submarine Telegraphie und Telephonie“.⁶ Sein Wirken lässt erkennen, dass seine Expertise vornehmlich in den Bereichen elektrotechnischer Kabel und Eisenbahnsignale lag – d.h. weder Distanzmessung noch Fragen der physikalischen Akustik tangierte. Mit anderen Worten: Von seiner Vita her war Jüllig bei weitem kein Spezialist für Fragen angewandter Akustik. Das ist aber nicht als Defizit Jülligs oder Versagen des Wiener Vereins zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse zu interpretieren, einen Referenten mit hinreichender thematischer Expertise einzuladen. Es war symptomatisches Indiz für die Disziplin ihrerzeit: Verwendungen und Implementierungen von Akustik zu Zwecken der Distanzmessung waren um 1880 ein in jeder Hinsicht akademisches Desiderat. Dass Jüllig vor einem renommierten Verein sprach, lässt somit einen Rückschluss auf das Vortragsthema zu: Dieses war seinerzeit derart randständig, dass ein zum Zeitpunkt des Vortrags 27-jähriger ohne nachgewiesene thematische Expertise referieren *durfte* und *konnte*. Entsprechend dürfte es für keinen der Zuhörenden absehbar gewesen sein, dass die epistemische Bedeutung des Vortragsthemas konstitutiv für zukünftige Kulturtechniken des Messens werden sollte, die sich knapp 100 Jahre nach dem Vortrag in den medienkulturellen Alltag der Postmoderne eingeschrieben haben werden.

Max Jüllig gab, wie es sein Vortragstitel ankündigte, einen Überblick über die seinerzeit neuartigen Techniken und Praktiken der akustischen Distanzmessung und ihre historische, wiederum messtechnische Bedingung. Interessant ist diese von der Forschung bisher unberücksichtigte Quelle aus mehreren Gründen. Nicht nur gab Jüllig eine Bestandsaufnahme eines sich jüngst konsolidierenden technischen Feldes. Auch ist sein Vortrag wissenschaftsgeschichtlich von höchstem Interesse, insbesondere für eine Wissens- und Technikgeschichte der Akustik. Darüber hinaus unterschied sich Jüllig von anderen, insgesamt sehr spezifischen Arbeiten über akustische Verzögerungen ihrerzeit, da er nicht scheute, das Laufzeitverhalten von Schall derart zu theoretisieren, dass dies wie eine prototypische, zeitkritisch orientierte physikalische Medientheorie anmutet. Geschuldet war diese der Euphorie, dass ein vermeintlich zweckfreies physikalisches Wissen um akustische Delays unlängst technische Konsolidierung erfahren hatte, mithin *praktisch* wurde. Damit begann sich eine Technik- und Praxiswerdung von theoretischem Wissen – namentlich der physikalischen Akustik – historisch zu konkretisieren, die sich in der akustischen Vermessung des Georaums äußerte.

5 Jüllig, Max (1881): „Zur Theorie der Metallthermometer“, in: *Jahrbuch über die Fortschritte der Mathematik* 11, hrsg. v. Carl Ohrtmann, Berlin, 785.

6 Jüllig, Max (1897): „Submarine Telegraphie und Telephonie“, in: *Zeitschrift für Elektrotechnik. Organ des Elektrotechnischen Vereines in Wien* 15, 254.

Jüllig attestierte seiner historischen Situation einleitend, dass zweckfreie Forschung „ohne bestimmtes praktisches Ziel“, die „lediglich im Interesse der Wissenschaft“ stattfand, nun einen „greifbaren Nutzen“⁷ bekommen habe. Tatsachen des bis dato „rein theoretischen Interesses“ seien nunmehr „nützlich“ geworden. Dieses Feld der Praxiswerdung vormals genuiner Theorien explizierte er direkt: „Es sind dies die Erscheinungen der Fortpflanzung des Schalles“,⁸ welche sich nun in Geräten des praktischen Gebrauchs materialisierten. Bezeichnet Hans-Jörg Rheinberger mit dem Begriff des „epistemischen Dings“ denjenigen Untersuchungsgegenstand, der sich im Laufe des Forschungsprozesses zu einem technischen Objekt, mithin einem wissenschaftswirklich gewordenen Instrument kristallisiert,⁹ kontextualisierte Jüllig damit Delay als ein genau solches epistemisches Ding.

Im Vortrag widmete sich Jüllig zunächst dem Delay als Untersuchungsgegenstand vor seiner Technikwerdung. Ausgangspunkt von Jülligs Darlegung war die medientheoretische Situation der physikalischen Akustik um 1880, die er kondensiert als minimalistisches Kanalmodell benannte: „Das Zustandekommen einer Schallwahrnehmung ist an das Vorhandensein eines Schallerregers, eines den Schall fortpflanzenden Mediums und eines Gehörorgans geknüpft.“¹⁰ Diese anthropozentrische Diskursivierung des Schalls und seiner Übertragung war 220 Jahre vor Jülligs Vortrag zum empirischen Beleg der Notwendigkeit physikalischer Medien avanciert, welche zwar bereits in der antiken Wahrnehmungsphilosophie benannt worden war, aber nicht belegt werden konnte.¹¹ Robert Boyle, der 1659 die von Otto von Guericke entwickelte Luftpumpe verbesserte, hatte bereits 1660 bewiesen, dass, wenn er mit jener Luftpumpe in einer Glasglocke sukzessive ein Vakuum erzeugte, das Ticken einer Taschenuhr in der Glocke erstarb. Worauf Jüllig insistierte, war, dass diese für Schallausbreitung empirisch belegte Notwendigkeit einen temporalen Index trägt. Da er dies historisch explizierte, lohnt im Folgenden eine kursorische Exkursion durch die Wissens- und Technikgeschichte der Messung der Schallgeschwindigkeit.

7 Jüllig (1881): „Ueber akustische Distanzmessung“, 57.

8 Ebd., 58.

9 Vgl. Rheinberger, Hans-Jörg (2001): *Experimentalsysteme und epistemische Dinge. Eine Geschichte der Proteinsynthese im Reagenzglas*, Göttingen.

10 Jüllig (1881): „Ueber akustische Distanzmessung“, 58.

11 So entgegnete Aristoteles Demokrit, der von der ‚Leere‘ zwischen den Dingen und den Sinnesorganen der Wahrnehmung schrieb, dass es „notwendigerweise ein Dazwischen geben muß.“ Damit antizipierte er an physikalischen Medien als Bedingung für akustische Übertragungen. Zit. n. Gigon, Olof (1950) (Hrsg), Aristoteles: „Von der Seele. Zweites Buch“, in ders.: *Vom Himmel. Von der Seele. Von der Dichtkunst*, Zürich, 285-318, 304.

In den Schriften von Pythagoras findet sich die Erwähnung, dass der Klang eines Hammerschlags auf einen Amboss sein Ohr später erreichte als dessen optischer Eindruck. Derartige Beobachtungen waren es bereits in der Antike, die zu der Annahme führten, „dass das, was man Schall nennt, eine gewisse Zeit braucht, um sich in der Luft auf eine gewisse Entfernung fortzupflanzen.“¹² Medienepistemologisch weitreichender waren Aristoteles' Überlegungen, die sich in der Substantivierung des Adverbs *metaxy* zum *to metaxy* äußerten und mit welchem er den Zwischenraum bzw. nunmehr ‚das Dazwischen‘ zwischen den Sinnesorganen und dem Wahrgenommenen bezeichnete. Wie Wolfgang Hagen nachwies, war es dieser Begriff des substantivischen *metaxy*, der durch die Übersetzung der Schriften von Aristoteles durch Thomas von Aquin ins Lateinische in der begrifflichen Fassung des Mediums mündete.¹³ Besonders erscheint mir hierbei – und das wurde bei der Rezeption der Schriften von Aristoteles bisher vernachlässigt –, dass dieses *metaxy* bei Aristoteles explizit einen temporalen Index trug. Diesen maß er zwar nicht, aber belegte ihn empirisch, indem er darlegte: „Der Rudertakt eines Dreiruderers macht das klar: wenn sich die Ruder schon wieder heben, erreicht uns erst der Schall von ihrem Schlag.“¹⁴

Nach der antiken Vorahnung einer Schallgeschwindigkeit – die anthropozentrisch ausgerichtet war und ebenso die wahrnehmungsphilosophische Lesart eines langsameren Hörens im Vergleich zum Sehen zuließe – erstaunt es, dass es bis zum Anfang des 17. Jahrhunderts andauerte, bis die Konkretisierung der Schallgeschwindigkeit in der Luft über „meistens inhaltlose Spekulationen“ hinausging.¹⁵ Schließlich handelt es sich bei ihr lediglich um die „Messung einer Länge und einer Zeit“,¹⁶ um Empirie auf eine Formel zu bringen. Bei Francis Bacon (1561-1626) findet sich in seinem posthum 1627 veröffentlichten *Sylva Sylvarum* eine Referenz zur Räumlichkeit des Schalls, die zugleich die experimentalpraktische Erforschung der Schallgeschwindigkeit der darauffolgenden Jahrzehnte formatierte. Denn Marin Mersennes Experimente basierten auf diesem Prinzip ebenso wie die bekannten am 23. Juni 1677 von der Pariser Akademie der Wissenschaften – konkret von

12 Cherbuliez (1871): „Geschichtliche Uebersicht der Untersuchungen über die Schallfortpflanzungsgeschwindigkeit in der Luft“, in: *Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft in Bern aus dem Jahre 1870*, 151-191 u. 711-744, 153-154.

13 Hagen, Wolfgang (2008): „Metaxy: Eine historiosemantische Fußnote zum Medienbegriff“, in: Stefan Münker/Alexander Roesler (Hrsg.), *Was ist ein Medium?*, Frankfurt a.M., 13-29.

14 Zit. n. Grumach, Ernst (1970) (Hrsg.), *Aristoteles: Meteorologie. Über die Welt*, übers. v. Hans Strohm, Berlin, 72.

15 Cherbuliez (1871): „Geschichtliche Uebersicht“, 154.

16 Ebd.

Domenico Cassini, Ole Rømer und Jean Picard – ausgeführten Versuche. Bacon schlug originär vor, auf einer Pyramide oder einem Leuchtturm eine abdunkelbare Lichtquelle zu positionieren, die ein Beobachter in einer Meile Entfernung sehen kann. Würde die Lichtquelle kurz aufleuchten und im selben Augenblick ein Schlag ertönen, könne der Beobachter durch das Zählen seiner Pulsschläge die Verzögerung zwischen Sehen des Lichtimpulses und zeitversetztem Hören des Schlags ermitteln.¹⁷ Mathematisch formuliert handelte es sich um eine Gleichung mit einer bekannten Variablen (Entfernung), um eine unbekannte Größe (Schallgeschwindigkeit) subjektiv qua Zeitmessung zu bestimmen. Mersennes Leistung hinsichtlich der Messung der Schallgeschwindigkeit war es in späteren Versuchen, die subjektive Störgröße weitgehend zu eliminieren und die Verzögerung zwischen Hören und Sehen eines originär synchron stattfindenden Ereignisses mit einem Pendel zu bestimmen.¹⁸

Von den historischen Aufarbeitungen der frühen Messungen der Schallgeschwindigkeit in Luft wird gern übersehen – und das ist brisant für die vorliegende Arbeit –, dass Mersenne nicht nur Schallgeschwindigkeiten auf konkrete (wenn auch falsche) Daten brachte. Sondern dass er zudem seiner bis dato zweckfreien Forschung zur Schallgeschwindigkeit eine visionierte praktische Anwendung beiseite stellte. Zunächst mag seine Anmerkung trivial erscheinen:

„from the sound and the observation of the cannon flash it is easy to find out how far apart the cannons are; (...) from the sound of thunder and the preceding flash of lightning it can be learned how far away the discharge was, provided that the place of the flash does not change.“¹⁹

Neben der augenscheinlichen Banalität der Aussage stellt sie einen epistemischen Wendepunkt dar, insofern Mersenne die seinen Experimentalpraktiken inhärente Logik mathematisch invertierte. Bei hinreichend bekanntem Operanden c konnte in der mathematischen Darstellung der Schallgeschwindigkeit, $c = r/t$, nunmehr

17 Bacon, Francis (1859 [1627]): „Sylva Sylvarum or A Natural History“, in: *The Works of Francis Bacon* 11, hrsg. v. J. Spalding et al., London, 416.

18 Obgleich Galileo Galileis *Discorsi* erst 1638 veröffentlicht wurden, waren wesentliche Grundsätze der Bewegungslehre bereits früher von ihm entwickelt und vorgetragen worden, darunter das Gesetz der Pendelbewegung und die Idee, ein Pendel zur Zeitmessung zu verwenden – dies muss Mersenne bekannt gewesen sein, weshalb er auf Basis des Pendels seine Experimentalpraktik zu objektivieren suchte. Vertiefend zum Pendel siehe Kassung, Christian (2007): *Das Pendel. Eine Wissensgeschichte*, München.

19 Zit. n. Lindsay, R. B. (1973): *Acoustics: Historical and Philosophical Development*, Stroudsburg, PA., 64-66.

eine andere Größe als unbekannt vorausgesetzt werden: r , die Distanz. Ebenso gab Ernst Chladni in seiner epochalen *Die Akustik* von 1802 seinem Fließtext unter §201, „Geschwindigkeit des Schalles nach der Erfahrung“, eine Fußnote:

„Wenn man ungefähr 1040 Fuß als die Weite annimmt, durch welche der Schall in einer Sekunde geht, kann man die Entfernung der Orte, wo Licht und Schall zugleich entsteht, einigermaßen schätzen, wenn die Zeit, welche zwischen der Lichterscheinung (die man, weil das Licht durch 40000 Deutsche Meilen in einer Sekunde fortgeht, augenblicklich sieht) und dem Schalle vergeht, nach Sekunden, oder noch besser, nach einer Tertian-Uhr abgezählt wird (...).“²⁰

Diese Vision hypothetischer Schallortung ließe sich historisch weiter rückverfolgen. Die Messungen der Schallgeschwindigkeit des 17. Jahrhunderts waren maßgeblich von den in diesem Zeitraum gegründeten akademisch-wissenschaftlichen Privatgesellschaften geprägt, wie bspw. die am 19. Juli 1657 gegründete Accademia del Cimento in Florenz. Diese konnte bereits in einer 1667er Veröffentlichung²¹ für sich den Nachweis beanspruchen, geklärt zu haben, dass verschiedene Frequenzen – das Mündungsfeuer unterschiedlicher Waffen – bei gleichbleibenden umweltlichen Bedingungen dieselbe Schallgeschwindigkeit haben; und dass die Ausbreitungsgeschwindigkeit von Schall ebenfalls unter gleichbleibenden Bedingungen konstant ist. Ähnlich wie Mersennes Ausführungen schließt die Veröffentlichung der ‚Experimentierakademie‘ mit dem Vorschlag, das Wissen um Geschwindigkeiten des Schalls für Entfernungsmessungen zu nutzen, um die Entfernung zwischen zwei einander nicht sichtbaren Orten akustisch über ein Verfahren der Delaymessung zu bestimmen:

„wir können das auf diesem Wege ganz leicht feststellen, und zwar auf dem Wege einer doppelten Explosion, indem wir dafür sorgen, daß unserer Explosion sofort eine zweite antwortet, und wenn wir die Mitte der Zeit nehmen, die von unserem Zeichen bis zum Eintreffen des Antwortzeichens verstreicht, so haben wir genau die Hälfte des Schallweges, d.h. die ganze räumliche Distanz, die gesucht wurde.“²²

20 Chladni, Ernst Florens Friedrich (1802): *Die Akustik*, Leipzig, 223 (§201).

21 Accademia del Cimento (1667) (Hrsg.), *Saggi Di Naturali Esperienze Fatte Nell'Accademia Del Cimento* [Kurztitel], Florenz.

22 Zit. n. Ullmann, Dieter (1982): „Die ersten Messungen der Schallgeschwindigkeit in Luft und das Schallortungsverfahren von Jonas Meldercreutz“, in: *Centaurus* 26(1), 25-37, 29.

Es ist diese an den drei Fallbeispielen exemplifizierte Denkleistung, die epistemisch konstitutiv für sämtliche Medien des Delays ist, da sie grundlegend von der gegenseitigen *Übersetzbarkeit* von akustischen *Übertragungszeiten* und *Raumgrößen* gekennzeichnet ist. Obgleich aller Brisanz für eine Wissensgeschichte und Epistemologie akustischer Übertragungen, wurden diese ambitionierten Vorschläge ihrerzeit aber nicht praktiziert – ja, es wurde sogar die Berechenbarkeit von Schallgeschwindigkeit im Allgemeinen bezweifelt. Die Skepsis, die jener Zeit noch einer den Wetterbedingungen entsprechenden Schallgeschwindigkeit gegenüberstand, lässt sich daran ablesen, dass Athanasius Kircher in seinem Grundlagenwerk *Phonurgia Nova* von 1673 Mersennes Forschung in Bezug auf die Konstanz des Delays akustischer Übertragungen widersprach – und damit zugleich einer etwaigen praktischen Verwendung.

Die Komplikation, die der exakten Messung der Schallgeschwindigkeit noch entgegenstand, war, dass es an Präzisionsinstrumenten zur exakten Zeitmessung fehlte. Darauf wies bereits der Schwede Jonas Meldercreutz hin, auf den ein erstes, allerdings im Theoretischen gebliebenes Schallortungsverfahren zurückgeht, über das er 1741 berichtete.²³ Bemerkenswert ist dieses, weil es systemisch operierte und absolute Synchronität in einer Situation räumlich verteilter Zeitmessung erfordert hätte: Meldercreutz' Verfahren basierte auf dem verteilten Messen von Zeitunterschieden im Empfangen eines ausgesendeten akustischen Impulses und stellt damit ein Schallortungsverfahren dar, das hyperbolisch operierte – in epistemischer Vorwegnahme späterer elektromagnetischer Hyperbelnavigationsinfrastrukturen wie GEE oder LORAN (vgl. das Unterkapitel zu „Loran“ in Kap. 9).

Nach dieser Exkursion durch die Geschichte der Messung der Schallgeschwindigkeit zurück zum Vortrag von Jüllig. Schall bzw. konkreter: Delay in der Luft hatte also um 1880 – zur Zeit seines Vortrags – *eine eigene Experimentalgeschichte*. Dass Schall dieser zufolge, insbesondere nach einer Konjunktur der Messungen um 1850, eine temperaturabhängige Geschwindigkeit habe, mithin Schall nicht allein zeit-, sondern ebenso raumbasiert ist, zählte zur Allgemeinbildung der *scientific community*. Zumal die Messung von Schallgeschwindigkeiten zur Zeit Jülligs bereits auf eine rein apparative Basis gestellt worden war – mit „Zeitmarkierungen in vollster Präzision“²⁴ –, um das einzulösen, was im historischen Kontext paradigmatisch dem Ideal einer ‚mechanischen Objektivität‘ chronographisch verschrieben war.²⁵ Das brisante an seinem Vortrag nun war ein epistemischer Kipp-

23 Vgl. ebd.

24 Jüllig (1881): „Ueber akustische Distanzmessung“, 65.

25 Zum wissens- und wissenschaftshistorischen Wandel des Konzepts der Objektivität, einschließlich seiner mechanischen Auslegung qua ‚Selbstschreibeapparaturen‘ vgl. Daston, Lorraine/Galison, Peter (2007): *Objektivität*, Frankfurt a.M.

moment. Bereits bei Mersenne, Meldercreutz oder Chladni war dieser verschriftlicht worden, allerdings: ohne praktiziert zu werden. In ingenieurmäßiger Nüchternheit schrieb Jüllig:

„Hatte man einmal die Schall-Fortpflanzungsgeschwindigkeit mit so grosser Genauigkeit ermittelt, so lag nichts näher, als das Problem umzukehren und aus der Schall-Fortpflanzungszeit die Entfernung, welche die Schallwelle durchmessen hatte, zu bestimmen.“²⁶

In dieser minimalistischen Formulierung war nichts weniger als eine Epistemologie sonisch-medialer Übertragung angelegt, die von der Verzeitlichung und Datafizierung des Raums qua akustischer Sendungen ausging. Der Kanal bzw. *acoustic space* figurierte vom vermeintlich passiven physikalischen Medium zur verzögernden, mithin zeitvarianten und qualitativen Botschaft des übertragenden Raums. Bei dieser grundsätzlichen Annahme der Parametrisierung des Zeitraums akustischer Sendungen waren nun Zeit- in Raumgrößen übersetzbar *et vice versa*. Wo genau dies von praktischem Nutzen sei, konkretisierte Jüllig – neben einer kurzen Erwähnung der Rohrpost (vgl. Kap. 3) – auf vornehmlich einen Kontext: militärische Ballistik. Denn „[a]uf der Jagd, insbesondere aber im Kriege ist eine Bestimmung der Entfernung der Objekte, die man mittels der Schusswaffen zu treffen sucht, ausserordentlich wichtig.“²⁷

Kritisch wurde das Nicht-Wissen um Entfernungen bspw. im Deutsch-Französischen Krieg von 1870-1871. Entscheidend wurde dort das Wissen um die exakte Distanz zu feuernder Artillerie, dem – neben der militärischen Vernichtungskraft – ökonomische Konsequenzen innewohnten. Für zielsicheren Artilleriebeschuss musste die Entfernung zum zu treffenden Objekt hinreichend bekannt sein. Zudem waren in Anbetracht der Kosten pro Schuss einer Artilleriestellung – mehr als 2.000 Francs – Fehlschüsse auf Dauer finanziell nicht vertretbar. Die zunehmenden Schussweiten der „modernen Feuerwaffen“ erforderten es, so hieß es in zeitgenössischer Literatur, „ein Hülfsmittel zum praktischen Gebrauch im Felde zu construieren“, um eine „Präcision“ – gemeint war Treffsicherheit – zu erzielen.²⁸ Im Ersten und Zweiten Weltkrieg machten die Schussweiten der Artillerie ballistische Tabellen erforderlich, deren rechnerische Arbeit sich als derart zeitintensiv erwies, dass sie geradezu nach computerisierter Automatisierung bspw. durch den

26 Jüllig (1881): „Ueber akustische Distanzmessung“, 74.

27 Ebd., 76.

28 Scriba, J.v. (1877): „Moderne Hülfsmittel der Kriegführung (1. Fortsetzung)“, in: *Allgemeine Schweizerische Militär-Zeitung. Organ der schweizerischen Armee* 23(28), 221-223, 223.

späteren ENIAC verlangte. Bereits hier, 1870, deutete sich aber eine Mathematisierung des Schlachtfeldes zugunsten einer größtmöglichen Präzision an, die sich an der Entfernung potenzieller Ziele bemaß. In zeitgenössischer Paraphrasierung entsprach das Problem der exakten Distanzmessung einer „Quadratur des Kreises“.²⁹ Denn die praktische Anforderung an ein Gerät – nämlich „Handlichkeit des Instruments und Genauigkeit in der Distanzmessung“³⁰ – waren bis dato nicht realisiert worden.

Demgemäß wurden Distanzmessungen ihrerzeit als Körpertechniken des Abschreitens praktiziert, wie sie in Handbüchern beschrieben wurden: „Jeder Einzelne merkt sich, wie viel Schritte er zur Erreichung von 100 Meter Distanz zurücklegt.“³¹ Dieses empirische Wissen konnte in der Folge auf künftige Situationen appliziert werden. Ebenso findet sich beim ehemaligen preußischen General der Infanterie Paul Bronsart von Schellendorff aufgrund der Kompliziertheit von ‚Winkel-Messgeräten‘ die Darlegung, dass Entfernungen am besten durch „Augenmaß“, „Abschreiten“ oder „Abgaloppieren zu Pferde“ ermittelt würden: „Man hat für den letzteren Zweck den allgemeinen Anhalt“, so Schellendorff, „daß bei einem nicht starken Galopp 30 Sprünge etwa 80 Meter betragen, aber es leuchtet ein, daß dies für jedes Pferd besonders ermittelt werden muß, wenn man nicht gar zu große Fehler begehen will.“³² Diese körpertechnische Vermessung von Distanzen war jedoch mit dem Defizit belastet, auf dem Schlachtfeld mitunter existenzielle Folgen zu haben. Als wesentlich sicherer für das Leben der vermessenden Körper, wenn auch unsicherer in Bezug auf die Validität der ermittelten Distanzdaten, erwies sich das *Schätzen* von Entfernungen. „Für durchschnittlich gute Augen und gewöhnliche helle Luft“ listete Schellendorff auf, in welcher Entfernung sich Dinge für Soldatenaugen klar konturierten, um auf dieser Basis Entfernungen zu schätzen. Auf 15-20 Kilometer Entfernung sehe man Kirchtürme und Schlösser; auf 8-12 Kilometer Windmühlen; auf 3-4 Kilometer helle Schornsteine; auf ½ Kilometer sehe man Fensterkreuze; auf 200-250 Meter Dachziegel von Häusern.³³ Für die Infanterie im militärischen Kriegsfeld notierte er:

29 Scriba, J.v. (1877): „Moderne Hilfsmittel der Kriegführung (2. Fortsetzung)“, in: *Allgemeine Schweizerische Militär-Zeitung. Organ der schweizerischen Armee* 23(29), 229-231, 229.

30 Ebd.

31 Schmidt, Rudolf (1888): *Allgemeine Waffenkunde für Infanterie. Mit besonderer Berücksichtigung der neuesten Kriegs-Handfeuerwaffen der modernen Staaten*, Berlin, 135.

32 von Schellendorff, Paul Bronsart (1875): *Der Dienst des Generalstabes. Erster Theil*, Berlin, 223.

33 Ebd., 224.

Von den Truppen sieht man:

- auf 1600 Meter die Bewegung von Massen, wobei Infanterie als schwarzer Strich mit blinkendem Saum, Kavallerie als breiter schwarzer Strich, oben ausgezackt, erscheint;
- auf 1200 Meter erscheint auch Infanterie als oben ausgezackter Strich; Kavallerie markiert sich als berittene Mannschaft;
- auf 1000 Meter erkennt man die Motten und die Zahl der Geschütze;
- auf 800 Meter wird die Bewegung einer in Linie formierten Truppe deutlich;
- auf 650 Meter ist der obere Umriß des Infanteristen, das Pferd beim Kavalleristen erkennbar;
- auf 500 Meter unterscheidet sich der Kopf von der Kopfbedeckung; Leute und Pferde sind deutlich erkennbar.

Man erkennt ferner:

- auf 300 Meter helle Farben,
- „ 160 „ Knöpfe und Treffen,
- „ 80—120 Meter die Augen im Allgemeinen,
- „ 65 „ die Augen genau,
- „ 20—25 „ daß Weiße im Auge.

Abbildung 10: Distanzschätzung auf Basis der Genauigkeit menschlichen Sehens bei Paul Bronsart von Schellendorff.

Aber gerade das Ausrichten der Ermittlung von Distanzdaten am womöglich fehlerhaften Schätzen oder gar dem Weiß des Auges – im Angesicht des Feindes – galt es zu vermeiden. Notwendig wurden Verfahren indirekter, aber dennoch exakter und ‚praktischer‘ Entfernungsmessung. Zwar gab es im militärischen Kontext bereits Winkelmesser zur Distanzbestimmung – s.g. optische Telemeter –, die auf entfernter Beobachtung von Zielobjekten basierten.³⁴ Diese waren jedoch weder „leicht“ noch „bequem“ in der Praxis zu gebrauchen, wie ihnen Schellendorff attestierte.³⁵ Zudem erwiesen sie sich bei Dunkelheit, aber auch hellem Tageslicht oder bedecktem Terrain als fehleranfällig; zumal sie einer guten Sichtlinie zum Gegner bedurften, was mit dem Defekt einherging, während der optischen Entfernungsmessung selbst sichtbar zu sein. „So dachte man denn an die Verwerthung akustischer Erkenntnisse. Denn das Geschützfeuer bietet ein Mittel, welches uns vom

34 Grundlegend hierzu siehe König, Albert/Köhler, Horst (1959): *Die Fernrohre und Entfernungsmesser. Dritte völlig neu bearbeitete Auflage*, Berlin/Heidelberg.

35 von Schellendorff (1875): *Der Dienst des Generalstabes*, 223.

Feinde niemals entzogen werden kann“,³⁶ so Jüllig, und unterzog militärische Situationen einer Neuevaluation. Gegnerische Geschütze wurden nicht allein als potenziell bedrohliche, sondern zuvorderst geräuscherzeugende Objekte interpretiert, deren irreduzible Klanglichkeit sich mit hinreichend bekannter Verzögerung über das Schlachtfeld ausbreitete. Diese wiederum konnte mit entsprechenden Instrumenten gemessen werden, wenn das Zeitintervall zwischen sichtbarem Mündungsfeuer eines Geschützes und verzögertem Knall detektiert wurde: mit *akustischen Distanzmessern*. Medientheoretisch gewendet handelte es sich um die Operationalisierung einer Kommunikationsanordnung: Geschütze galten nunmehr als unweigerliche Produzenten von zu Signalen nobilitiertem akustischen Rauschen, Luft als das physikalische Übertragungsmedium und der durchschwungene Raum als qua Delay zu bestimmende Größe.

Der militärische Anwendungskontext dieser akustischen Instrumente wird in einem Artikel des *Scientific American* deutlich, der die Notwendigkeit des exakten Wissens um Distanzdaten in der Artilleriepraxis betonte.³⁷ Insbesondere sei das dort beschriebene Gerät – ein s.g. Phonotelemeter, das an eine Stoppuhr erinnert – von praktischem Nutzen, da gängige optische Telemeter auf „geometrical methods“ basierten, welche „trained operators“ voraussetzten: „Measurement by sight require much practice, and the operators most experienced in this exercise run the risk of often being deceived by plays of light, especially at great distance.“³⁸ Dahingegen bestünden die Praxisvorteile des Phonotelemeters darin, dass dieses leicht und intuitiv bedienbar sei, keinerlei spezifischer Ausbildung der Soldaten bedurfte und keine langwierigen Beobachtungen gegnerischer Stellungen notwendig waren. Zudem war das analoge Interface des Telemeters derart gestaltet, dass die Datifizierung des Georaums auf Basis von Delays durch das mechanische Objekt geleistet wurde, da „die aus der Zeit gewonnene Uebersetzung in Meter der Distanz auf dieser Kreistheilung abgelesen werden kann“,³⁹ wie eine deutsche Quelle berichtete. Hinsichtlich solcher stoppuhrartiger Entfernungsmesser ist die Konstruktion des Wienerers Wilhelm du Nord besonders (vgl. Abb. 11), da sie die thermische Bedingung in die Messung inkludierte und damit der Situiertheit ihrer Messpraxis Rechnung trug: Vor jeder Messung musste die herrschende Umgebungstempera-

36 Jüllig (1881): „Ueber akustische Distanzmessung“, 78.

37 Anonym (1890): „The Phonotelemeter“, in: *Scientific American Supplement* 731, v. 4. Januar, 11680.

38 Ebd.

39 Schmidt (1888): *Allgemeine Waffenkunde für Infanterie*, 136.

tur eingestellt werden.⁴⁰ Bezeichnend bei akustischen Telemetern ist mithin, dass sie als Geräte der Zeitmessung keine Zeit-, sondern Raumgrößen anzeigten. Die produzierten Daten verwiesen auf den Georaum und waren Ergebnis der Messung der Zeit-Raum-Regime akustischer Übertragungen. Damit fielen Delay- und Distanzmessung zusammen: sie waren in *eine* Körpertechnik konvergiert.

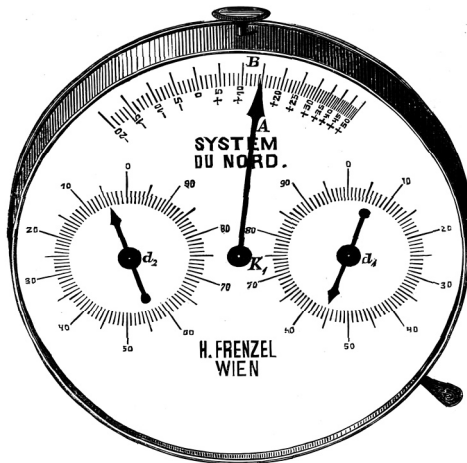


Abbildung 11: Zeitgenössische Abbildung eines Telemeters bei Max Jüllig. Vor der Messung galt es, die herrschende Umgebungstemperatur einzustellen (oben in der Abb.); nach der Delaymessung wurden Entfernungsdaten auf den unteren Skalen angezeigt.

Im Unterschied zum Stoppuhrcharakter des Phonotelemeters war das besondere am s.g. Telemeter des belgischen Ingenieurs und Offiziers Le Boulangé, dass mit diesem die Zeitmessung buchstäblich im Handumdrehen erfolgte.⁴¹ Es bestand aus einem zylindrischen Glasrohr, versehen mit einer Distanzskala, in welchem ein kleines metallenes Sinkgewicht in destilliertem Wasser oder Benzin schwamm. Für die Distanzmessung wurde das Gerät horizontal gehalten, der Gleiter an einem Ende des Glasrohres, und bei sichtbarem Mündungsfeuer in die Vertikale gedreht, woraufhin das integrierte Gewicht in Sinkbewegung versetzt wurde. Beim Hören des verzögerten Knalls galt es, das Gerät wieder in die Horizontale zu wenden. Im Glasrohr hatte das Sinkgewicht nun eine Entfernung absolviert, deren Länge auf

40 Vgl. du Nord, Wilhelm (1880): „Schallgeschwindigkeitsmesser mit Regulierung nach verschiedenen Temperaturen“, patentiert im Deutschen Reiche vom 17. November 1880 ab, Patentschrift No. 15529.

41 In seiner französischen Originalbezeichnung hieß das Gerät „Télémetre de combat“, was zugleich auf seine praktische Verwendung im militärischen Feld verwies.

einer geeichten Skala mit der Distanz zu einem feuernden Geschütz (im Idealfall) korrespondierte. Die Makrodistanz zum Zielobjekt wurde durch eine Handbewegung in eine Mikrodistanz auf einer Entfernungsskala übersetzt.

Dieses Telemeter zeitigte solide Ergebnisse in Praxistests: auf 1000 m Distanz ergaben sich „mittlere Abweichungen“ von lediglich 20,66 m, bei 1500 m oder 2000 m lediglich 26,30 respektive 28,33 m.⁴² Der Praktikabilität des Geräts wurde im historischen Kontext bescheinigt: „Die handliche Form, der geringe Preis, die genauen Resultate lassen hiernach den Telemeter zahlreiche Dienste in vielen Gefechten gewähren“.⁴³ Damit erwies sich das neue epistemische Ding zur Messung von Verzögerungen zwischen Schall und Licht als „entschieden praktisch“,⁴⁴ da es die subjektiv unmögliche Aufgabe der exakten Zeitbestimmung in eine körpertechnisch schnell und leicht zu realisierende Praktik übersetzte: eine Handbewegung. Zudem war neben der handlichen Form des Distanzmessers eine Variante erhältlich, die in Gewehre integriert war. An einer zeitgenössischen Beschreibung der praktischen Ausgestaltung der Distanzmessung wird ihre körpertechnische Verfasstheit deutlich:

„1. Bewegung. (Die Beobachtung einleitend.) Gewehr in obbezeichneter Stellung, Lauf nach abwärts gekehrt; hierbei begibt sich der Schwimmer auf den Nullpunkt der Scala.

2. Bewegung. (Zur Beobachtung.) Das Gewehr in derselben Stellung bloß in der Hand gedreht, Lauf nach auswärts, wobei man sich überzeugt, daß der Schwimmer auf dem Nullpunkt steht.

3. Bewegung. (Beobachten des Rauches eines feindlichen Schusses.) Im Momente des Erblickens des Rauches wird das Gewehr in der Hand gedreht, Lauf nach oben, wobei der Schwimmer zu kursiren beginnt.

4. Bewegung. (Beobachten des Schalls des betreffenden Schusses.) Im Momente des Eintreffens des Schalls des bezüglichen Schusses wird das Gewehr abermals in der Hand gedreht, Lauf nach auswärts, wodurch das Kursiren des Schwimmers aufgehoben wird, dessen flaches Ende nun auf der Scala die Distanz angibt.

5. Bewegung. (Heben des Kolbens.) Zu genauerem Ablesen der Distanz wird der Kolben etwas gehoben.

Bei allen Bewegungen bleibt die Stellung des Beobachters unverändert, ebenso bei 1 bis 4 die Lage des Gewehres, das bloß in der Hand gedreht wird.“⁴⁵

42 Anonym (1875): „Der Gewehr-Telemeter (Distanzmesser) von Le Boulangé. Modell 1875“, in: *Allgemeine Schweizerische Militär-Zeitung. Organ der schweizerischen Armee* 21(51), 401-402, 401.

43 Ebd.

44 Ebd.

45 Ebd., 402.

Das für Soldaten im historischen Kontext entweder nicht anwendbare Distanzmessen mit optischen Geräten oder das schlichtweg undurchführbare Abschreiten von Entfernungen auf dem Schlachtfeld wurde durch eine sichere Praktik der Datenakquise auf Distanz ersetzt. Das Schlachtfeld kam in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts zu Gehör und sein Status als immanent tönender bzw. geräuscherzeugender Raum wurde mechanisch und körpertechnisch operationalisiert. Damit war der *acoustic (battle)space* nicht mehr nur de facto vorhanden, sondern wurde geomedial informativ. Diese Hinwendung zur Bedeutung der irreduziblen akustischen Dimension von Kultur ist im historischen Kontext des 19. Jahrhunderts selbstredend kein Unikum der Theaterarchitekturtheorie (vgl. Kap. 1) oder des Schlachtfeldes. Über die Akustizität bspw. des Schreibens findet sich in Goethes *Dichtung und Wahrheit* die Aussage, dass ihn das „Schnarren und Spritzen der Feder“ aus dem „nachtwandlerischen Dichten aufweckte“.⁴⁶ Eine ähnliche „Schreibszene“,⁴⁷ die neben der Materialität der Schreibutensilien die Klanglichkeit des Schreibens selbst betonte, findet sich bei Friedrich Nietzsche, der sein Schreiben beschrieb: „In meiner Stube ist es totenstill – meine Feder kratzt nur auf dem Papier – denn ich liebe es schreibend zu denken (...)“.⁴⁸ Ebenso fänden sich naturromantische Beschreibungen, die der Akustik eine entscheidende Rolle in der menschlichen Wahrnehmung zuwiesen, wie es bspw. der einleitende Satz von William Gardiners *The Music of Nature* zeigt: „There is nothing in nature that arouses our attention, or impress our feelings more quickly, than a sound (...)“.⁴⁹ Bedeutend bei den akustischen Distanzmessern ist im Gegensatz zu diesen Beschreibungen, dass die Klanglichkeit des Kriegsfeldes nicht nur schlicht bemerkt wurde. Vielmehr wurde sie *produktiv*, nämlich als *raumbasiertes Zeitphänomen*, das – mediengeographisch interpretiert – zur Produktion von Daten des Georaums genutzt wurde. Der Zeitindex akustischer Übertragungen, wie er sich zuvor im Theater störend zu hören gab, erlaubte nunmehr militärisch entscheidende Geodaten zu produzieren. Aufgrund der handlichen Affordanz des technischen Geräts – im historischen Kontext wurde von seiner „sicheren Handhabung“⁵⁰ geschrieben – be-

46 von Goethe, Johann Wolfgang (1966 [1811-1830]): „Dichtung und Wahrheit (1811-1830)“, in: *Goethes Werke. Band 10. Hamburger Ausgabe in 14 Bänden*, hrsg. v. Erich Trunz, München, 81.

47 Zum Begriff vgl. Stingelin, Martin (2004): „Schreiben“. Einleitung“, in: ders./Davide Giuriato/Sandro Zanetti (Hrsg.), *„Mir ekelt vor diesem tintenklecksenden Säkulum“. Schreibszenen im Zeitalter der Manuskripte*, München, 7-21.

48 Zit. n. Podach, Erich F. (1963): *Ein Blick in Notizbücher Nietzsches: Ewige Wiederkunft, Wille zur Macht, Ariadne; eine schaffensanalytische Studie*, Heidelberg, 194.

49 Gardiner, William (1841 [1832]): *The Music of Nature*, Boston, 13.

50 Scriba (1877): „Moderne Hilfsmittel der Kriegführung (2. Fortsetzung)“, 229.

schleunigte sich die Praxis der Entfernungsmessung auf die Geschwindigkeit von Schall. Den akustischen Telemetern ist damit die grundsätzliche sonische Verzeitlichung des (Kriegs-)Feldes epistemisch eingeschrieben.

Die akustischen Distanzmesser sind als modern zu betrachten. Sie erlaubten die echtzeitliche Produktion von Distanzdaten, ohne eine Bewegung des Subjekts zur körpertechnischen Quantisierung von Wegstrecken vorauszusetzen oder – wie im Falle der Beschreibung Schellendorffs – Entfernungsmessung auf subjektives ‚Augenmaß‘ zu stellen. Damit stehen die akustischen Distanzmesser paradigmatisch für eine Objektivierung von Entfernungsmessung auf akustischer Basis. Zwar basierten sie auf der menschlichen Wahrnehmung als kritischer Qualität, stellten Distanzdaten aber auf die sonische Basis der Verzögerung. D.h. sie fußten auf der Bewegung von Signalen statt Subjekten durch den Raum: Sie machten georäumliche Bestimmungen praktisch, handlich und sicher, bei einer potenziellen Demobilisierung des Subjekts. Wenn Julia Encke festhält, „[m]it der überlebensnotwendigen Einübung ins Hören kommt ein Interesse an der Schallwahrnehmung auf, das nach dem Krieg nicht plötzlich abbricht“⁵¹ und dies auf den Ersten Weltkrieg bezieht, zeigt sich anhand der akustischen Distanzmesser, dass militärisches Interesse am menschlichen Hören kein Novum des Ersten Weltkriegs war. Die Akzeptanz des menschlichen Gehörs als militärischer Aufklärungssinn, welche die Bedingung für die spätere Verwissenschaftlichung des menschlichen Hörens darstellte, war bereits wesentlich vor dem Ersten Weltkrieg gegeben. Ebenso datiert das Patent des s.g. Topophons des US-Amerikaners Alfred Mayer bereits auf das Jahr 1880; ein Gerät, welches späteren Richtungshörern ähnelte, obgleich es nicht verzögerungs-, sondern lautstärkekritisch funktionierte.

Welche Konsequenzen hatte die Praxis der akustischen Distanzmessung für das Hören? Ein Hören war es nach wie vor; eines jedoch, das nicht nach den hermeneutischen, also bewertenden oder interpretierenden Qualitäten des Menschen verlangte. Im Setting von akustischen Distanzmessern war das Hören zum bloßen Registrieren geworden, mithin ein operationalisiertes Hören und pure Wahrnehmungsphysiologie.⁵² Ähnlich unterschied Roland Barthes das physiologische Hören vom semantischen Zuhören.⁵³ Ebenso differenzierte der Elektrophysiologe,

51 Encke, Julia (2006): *Augenblicke der Gefahr. Der Krieg und die Sinne 1914-1934*, München, 151.

52 Damit vollzog das Hören im Feld eine ähnliche Entwicklung wie das Sehen, wie sich anhand historischer Beobachtungen kriegerischer Situationen von Ballons aus illustrieren lässt, vgl. Bender, Hendrik/Kanderske, Max (2022): „Co-Operative Aerial Images: A Geo-media History of the View from Above“, in: *New Media & Society* 24(11), 2468-2492.

53 Barthes, Roland (1990): „Zuhören“, in: ders.: *Der entgegenkommende und der stumpfe Sinn*, Frankfurt a.M., 249-263.

Physiker und Akustiker Hermann von Helmholtz das Hören in zwei Sphären: das „Empfinden“ und die „Vorstellung“, wobei das „Empfinden“ das wahrnehmungsphysiologische Hören benennt. „Empfinden“ sei das Empfangen von Schallwellen im Hörnerven, der dadurch in der Rhetorik von Helmholtz zum „Nervenapparat“ wurde. Die „Vorstellung“ sei dahingegen durch die „eigentümliche Tätigkeit der Seele“ gekennzeichnet, „um von der Empfindung der Nerven aus zu der Vorstellung desjenigen äusseren Objektes zu gelangen, welches die Empfindung erregt hat“.⁵⁴ Der mit dem akustischen Distanzmesser ausgestattete Soldat empfand im Sinne von *empfang*, hatte aber keine „Vorstellung“ zu haben, denn geistige Tätigkeit im Sinne hermeneutischer Bewertung des Gehörten war nicht notwendig. Genau hierin liegt die auditive Qualität des Schusses. Selbst wenn dieser von Menschen gehört wurde, war sein Subjekt kein Zuhörer, sondern vielmehr mechanisch prozessierender Empfänger und dadurch wahrnehmungsphysiologischer Apparat. So attestierte 1923 der u.a. Musikethnologe Erich Moritz von Hornbostel – auf dessen hörexperimentelle Forschung gleich noch weiter einzugehen sein wird – den menschlichen Sinnen und damit dem Hören, in erster Linie der räumlichen Wahrnehmung statt den wahrgenommenen Phänomenen zweckdienlich zu sein: „Die Sinne sind zunächst zur Orientierung in der Welt da, nicht zu phänomenologischen Beobachtungen.“⁵⁵ Diese buchstäblich richtungsweisende Definition des Hörens („Orientierung“) sollte mitnichten metaphorisch gelesen werden. Sie war wesentliches Resultat seiner experimentellen Erforschung des delaykonstitutiven Anteils am menschlichen Richtungshören.

Sensibilisierte Ohren I – im Feld

Interessant sind die akustischen Distanzmesser, da sie für eine ihrerzeit neue Sensibilisierung des Hörens zum räumlichen Erkenntnisgewinn und Aufwertung des Ohrs, mithin eine „Mobilisierung des Ohrs zu einem militärischen Erkenntnisorgan“⁵⁶ stehen. Zwar unterschied sich die militärische Situation in der zweiten Hälft-

54 von Helmholtz, Hermann (1904 [1857]): „Über die physiologischen Ursachen der musikalischen Harmonie“, in ders.: *Populäre Vorträge*, hrsg. v. Daniel Bussier, Boston et al., 65.

55 von Hornbostel, Erich Moritz (1923): „Beobachtungen über ein- und zweiohriges Hören“, in: *Psychologische Forschung: Zeitschrift für Psychologie und ihre Grenzwissenschaften* 4, 64-114, 114.

56 Volmar, Axel (2014): „In Stahlgewittern. Mediale Rekonstruktionen der Klanglandschaft des Ersten Weltkriegs in der Weimarer Republik“, in: Natalie Binczek/Cornelia Epping-Jäger (Hrsg.), *Das Hörbuch: Praktiken audioliteralen Schreibens und Verstehens*, Paderborn, 47-63, 48.

te des 19. Jahrhunderts vom Grabenkrieg des Ersten Weltkriegs, der – wie es Alfred von Schlieffen 1909 visionierte – von einer Unsichtbarkeit des Gegners und einem „Donner der Geschütze“ charakterisiert sei und entsprechend dem ‚Auge wenig bieten werde‘.⁵⁷ Dennoch wurde bereits um 1870 die irreduzible Klanglichkeit des Schlachtfeldes zu Zwecken militärischer Delaymessung operationalisiert. Damit wurde der Grundstein für weiteres wissenschaftliches Interesse an den Eigenschaften des menschlichen Hörens gelegt. War es bis dato eher fragwürdig, ob dem menschlichen Hören eine militärische Relevanz zukommen könnte, war dies nunmehr unumstritten und evozierte nachgelagerte Grundlagenarbeit, die bspw. im Berliner Psychologischen Institut durchgeführt wurde. Dort erforschten Erich von Hornbostel und Max Wertheimer im Kontext der Experimentalpsychologie das menschliche Richtungshören. Es war ihrerzeit unumstritten, dass der Mensch binaural bzw. diotisch – d.h. mit zwei Ohren – höre. Aber wie genau das Richtungshören geschehe – aufgrund von Lautstärke-, Phasen- oder Zeitunterschieden –, darüber herrschte akademische Uneinigkeit. Hornbostel und Wertheimer klärten dies in ersten Tests seit März 1915 und entwickelten die ‚Zeittheorie des räumlichen Hörens‘, nach welcher „der gleiche Subjektivwinkel [zu einer Schallquelle] stets dem gleichen Zeitunterschied“⁵⁸ entspricht. Experimentell stellten sie fest, dass das räumliche Hören primär durch Verzögerungen (das zeitlich minimal unterschiedliche Erreichen von Schall an den beiden Ohren) zustande komme. Dies klärten sie mit Horchrohren unterschiedlicher Länge, mit welchen sie die menschliche Hörbasis erweiterten, um die akustische Laufzeit zwischen den beiden Ohren künstlich zu verlängern. Damit war zudem geklärt, dass sich das menschliche Richtungshören nicht nur apparativ mittels s.g. Richtungshörer verbessern, sondern zudem simulieren ließ. Schien es vormals im Falle psychologischer Grundlagenforschung jenseits der Pädagogik, ‚Psychotechnik‘ oder Kriminologie „abwegig, eine technische Verwendbarkeit ihrer theoretischen Erkenntnisse zu vermuten“,⁵⁹ wurde das menschliche Richtungshören aus der erforderlichen akustischen Lokalisation feindlicher Geschossstellungen heraus erforscht. Delay erwies sich dabei als zumindest ein Akteur des räumlichen Hörens und erfuhr in den bereits ge-

57 von Schlieffen, Alfred Graf (1909): „Der Krieg in der Gegenwart“, in: *Gesammelte Schriften, Band I*, Berlin, 15, hier zit. n. Hoffmann, Christoph (1994): „Wissenschaft und Militär. Das Berliner Psychologische Institut und der I. Weltkrieg“, in: *Psychologie und Geschichte* 5, 261-285, 263.

58 von Hornbostel, Erich Moritz/Wertheimer, Max (1920): „Über die Wahrnehmung der Schallrichtung“, in: *Sitzungsberichte der Preussischen Akademie der Wissenschaften* 20, 388-396, 392.

59 Hoffmann (1994): „Wissenschaft und Militär“, 262.

nannten Richtungshörern eine direkte apparative Anwendung an der Front im Ersten und Zweiten Weltkrieg.

Über die Bedeutung des Hörens als Praktik des Weltzugangs und der Feldkartierung und -bewertung durch Soldaten im Ersten Weltkrieg, aber ebenso durch professionalisierte Horchposten, die eine Interpretationsleistung erforderte, mithin eine Lärmhermeneutik evozierte, ist bereits geschrieben worden.⁶⁰ Ebenso über den traumatischen Status und die Unübersetzbarkeit des Lärms bzw. des ‚Stahlgewitters‘ der Schlachten (im Sinne Ernst Jüngers), mithin das „Ohr als Einbruchsstelle des Traumas“.⁶¹ Dass mit dem ‚Knall an sich‘ auch ein akustisches Phänomen erzeugt wurde, welches sich mit einer bestimmten Verzögerung über das Schlachtfeld ausbreitete, die durch spätere s.g. Schallmesstrupps⁶² bestimmt wurde, wurde weitgehend vernachlässigt. Aufgrund der durch Schallgeschwindigkeit auf Schlachtfeldern evozierten Erforschung des menschlichen Richtungshörens verwischten allerdings spätestens in den 1910er Jahren nicht nur „die Grenzen zwischen Wissenschaft und Militär“.⁶³ Auch wurde die subjektive Grundlage der Stereophonie, mithin späterer akustischer Medien experimentell geklärt. Außerdem realisierte sich das Richtungshören in mediensystemischen Ausgestaltungen, die die menschliche Hörbasis elektrotechnisch – qua Mikrophon und Telefon – wesentlich weiter vergrößerten, als dies durch mechanische Richtungshörer geschehen konnte. Mit dem auf Leo Löwenstein zurückgehenden s.g. Schallmessverfahren⁶⁴ galt es, zwei Mikrophone im Abstand von mehreren Kilometern aufzustel-

60 Vgl. Volmar (2014): „In Stahlgewittern“.

61 Lethen, Helmuth (2015): „Der Lärm der Schlacht und die Stille des Archivs. Psychiater als Gegner der Kriegsliteratur“, in: Wilfried Barner et al. (Hrsg.), *Jahrbuch der deutschen Schiller-Gesellschaft* 58, Berlin et al., 610-623; oder ders. (2000): „‚Knall an sich‘: Das Ohr als Einbruchsstelle des Traumas“, in: Inka Mülder-Bach (Hrsg.), *Modernität und Trauma. Beiträge zum Zeitenbruch des Ersten Weltkriegs*, Wien, 192-210.

62 An dieser Stelle muss Erwähnung finden, dass die Geschichte der Schallmesstechnik in Deutschland eine immanent politische bzw. gar nationalsozialistische Dimension trug. Sabine Fischer hält fest, dass die Schallmesstechnik ebenso wie psychophysiologische Grundlagenforschungen „zur Grundlage für eine politische Instrumentalisierung des Lärms [wurde]. 1928 wurde ein Ausschuss zur Bekämpfung gewerblicher Lärmschwerhörigkeit und die Deutsche Gesellschaft für Gewerbehygiene gegründet, weiter 1929 eine Anti-Lärm-Liga (...). Aus der Parallelität dieser auf moderner Wissenschaft begründeten Lärmbekämpfung und dem Erstarken der nationalsozialistischen Bewegung in Deutschland ergaben sich Zusammenschlüsse mit politischen Konsequenzen. (...) Lärm-minderung am Arbeitsplatz genauso wie Schalldämmung von Wohnungen waren Themen der nationalsozialistischen Regierung.“ Fischer, Sabine (2013): *Hellhörige Häuser. Akustik als Funktion der Architektur, 1920-1970*, Dissertation, ETH Zürich, 231-232.

63 Hoffmann (1994): „Wissenschaft und Militär“, 262.

64 Löwenstein, Leo (1928): „Die Erfindung der Schallmessung“, in: *Die Schalltechnik* 1(2), 21-24. Ich danke Kiron Patka für den Hinweis auf diese Quelle.

len und telefonisch mit einem in ihrer Mitte befindlichen hörenden Subjekt zu verbinden. Mit dieser systemisch-akustischen „Apparatur zur Raumerforschung“⁶⁵ wurde der Schuss eines Geschützes dreimal hörbar: vermittelt durch zwei räumlich verteilte Mikrophone sowie unvermittelt am Ort des Hörenden. Bei Messung des Delays, d.h. der beiden Verzögerungen zwischen dem jeweiligen Hören, und anschließender trigonometrischer Berechnung, wurde die Position eines Geschützes bestimmbar.⁶⁶ Wenn auch mit dem menschlichen Faktor belastet, realisierte sich ein passives Ortungssystem, das Verzögerung zum produktiven wie kritischen Parameter erklärte – ebenso wie Verzögerung bei Jüllig bereits 1880 in den Status einer Strategie zur Erkenntnisproduktion nobilitiert wurde. Im Unterschied zu den buchstäblich handlichen Delayinstrumenten des 19. Jahrhunderts (Distanzmesser) zeigen Schallmesswesen und Richtungshörer programmatisch, dass die moderne Nutzung des Delays zum Erkenntnisgewinn (als Ortungsstrategie) grundlegend auf eine apparative Basis und mitunter räumlich verteilte Sensoren (Telefone) bzw. Sensoren (Ohren) angewiesen ist. Nur so konnten Zeitmessungen mit einer mindestnotwendigen Exaktheit realisiert werden, damit zeitkritisch erhobene Daten mit einer Position im Georaum korrespondierten. Diese Angewiesenheit auf die mediale Grundlage bescheinigte auch Kiron Patka dem Schallmesswesen und dem apparativen Richtungshören, denn

„Löwensteins Schallmessverfahren und der Richtungshörer von Hornbostel und Wertheimer, arbeiteten mit einer Apparatur, die sich als Medium zwischen den Schallraum und das menschliche Hören schaltete. In beiden Fällen nahmen Mikrofone bzw. Hörtrichter einen gezielt begrenzten Ausschnitt der akustischen Umgebung auf und leiteten ihn dem Abhörer kontrolliert zu. Der Abhörer erfasste also mit seinen Ohren nicht mehr die eigene akustische Umgebung, sondern ein kontrolliertes und planvoll gestaltetes Ensemble aus physikalischen Signalen.“⁶⁷

65 Patka, Kiron (2018): *Radio-Topologie. Zur Raumästhetik des Hörfunks*, Bielefeld, 34.

66 Für detailliertere Darstellungen siehe das (jedoch) kriegsverherrlichende Buch Bochow, Martin (1933): *Schallmesstrupp 51; vom Krieg der Stoppuhren gegen Mörser und Haubitzen*, Stuttgart/Berlin/Leipzig. Die dortigen Deskriptionen des apparativen und systemischen Richtungshörens kulminieren in einer Beschreibung des (Kriegs-)Feldes als Raum der Berechenbarkeit, in welchem Stoppuhren zum Zweck der Verzögerungsmessung zum „Kampfmittel“ stilisiert werden (24) und damit einen „mathematische[n] Krieg“ (29) begründen.

67 Patka (2018): *Radio-Topologie*, 36. Vertiefend zur historischen Forschung zum räumlichen Hören vgl. Brech, Martha (2015): „Grundlagenforschung und Erfindungen zum räumlichen Hören ab 1881“, in: dies.: *Der hörbare Raum. Entdeckung, Erforschung und musikalische Gestaltung mit analoger Technologie*, Bielefeld, 73-112. Ebenso zur Erforschung und militärischen Implementierung des Richtungshörens vgl. Patka (2018): „Psychologie und Physik. Radio und räumliches Hören“, in: ders.: *Radio-Topologie*, 29-66.

Akustische Distanzmesser übersetzten das für Soldaten mitunter existenzielle Problem exakter Entfernungsmessung in Handbewegungen; die Apparatur von Hornbostel und Wertheimer übersetzte die Komplikation mikrotemporaler Zeitdifferenzmessung in die einfache Aufgabe des technisierten Richtungshörens; das Schallmessverfahren von Löwenstein übersetzte die Produktion von Geodaten ‚unsichtbarer‘ feuernder Geschütze in eine zeitsensible Hörpraxis auf Basis einer räumlich verteilten Telefonanordnung. Insbesondere bei diesem dritten Verfahren wurde deutlich, dass hörende Subjekte zwar aufgrund ihrer hermeneutischen Qualitäten Vorteile bringen – bspw. durch die Möglichkeit der Klassifizierung von Geschützlärm –, sie aber für operative Zeitmessung aufgrund ihrer divergenten Reaktionszeiten ungeeignet seien. Ähnlich fasste es Hans Rupp, Mitarbeiter am bereits genannten Berliner Psychologischen Institut, zusammen: „Die Ungenauigkeiten entstehen dadurch, dass der Mensch, ein psychischer und physiologischer Apparat in die Zeit messende Apparatur eingeschaltet ist, was natürlich andererseits grosse Vorteile bringt“.⁶⁸ In der Feuerprobe der kriegerischen Praxis als einem Feldlabor der Experimentalpsychologie wurde das Subjekt als neurophysiologischer ‚Apparat‘ der Zeitmessung getestet – und disqualifiziert.

Für künftige Medien des Delays wurde offensichtlich, dass es geeigneter Schnittstellen und medialer Übersetzungen – bspw. technisierter Hörverfahren oder Bildschirmen – bedurfte, um Subjekte weitgehend aus der Zeitmessung selbst zu exkludieren, und sie lediglich an den Ergebnissen partizipieren zu lassen. Es zeichnete sich die Überzeugung ab, dass sich exakte Zeitmessung, die über biologische Sensorien lief, allein über mediale ‚Umwege‘ ausgestalten durfte: bspw. über Richtungshörer.

Heutzutage wird in Sensormedienumwelten allein in Ausnahmefällen durch menschliche Ohren gehört. Vielmehr werden Signale aus akustischen Umwelten extrahiert und durch digitale KI-Systeme des *machine listening* bewertet und kartiert – verwiesen sei exemplarisch auf das „Ocean of Things“-Projekt von DARPA.⁶⁹ Das heißt aber nicht, dass sich das technisierte Richtungshören auf Basis von Delays zu Zwecken der (Feind-)Detektion ab den 1920er Jahren erübrigte. Insbesondere das Sonar war in seiner passiven Implementierung zu erheblichem Teil eine genuin mediale Hörpraktik, wie das nächste Unterkapitel aufzeigen wird.

68 Zit. n. Hoffmann (1994): „Wissenschaft und Militär“, 265.

69 Waterston, John (o.J.): „Ocean of Things“, Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA): Our Research, <https://www.darpa.mil/program/ocean-of-things>, 01.11.2022.

Sensibilisierte Ohren II – im Wasser

Das „binaurale oder diotische Hören“, schrieb Franz Aigner 1922 in seiner *Unterwasserschalltechnik*, stellt ein „interessantes Spezialproblem“⁷⁰ in der nautischen Praxis dar. Anwendung konnte dieses für submarine Schalllokalisationen erfahren, verlangte aber nach technischen Verfahren, die der Ökologie des physikalischen Trägermediums Rechnung trugen. Unter Wasser können Menschen ohne technische Apparaturen keine Schallrichtungen identifizieren und brauchen, was John Shiga als „sensory prosthesis“⁷¹ begreift: Nur mit solchen sensorischen Prothesen sind Menschen fähig, in einer Umwelt, die vormals tendenziell das exklusive sensorische Terrain nicht-menschlicher Wesen war, wie in gewohnter Luftumgebung zu hören. Seit Hornbostels und Wertheimers experimentalspsychologischer Grundlagenforschung war bewiesen, dass das Richtungshören auf binauralen Delays basiert. Da jedoch die Schallleitgeschwindigkeit von Wasser ungleich höher ist als die der Luft, sind die binauralen Verzögerungen für das subnautische Richtungshören zu mikrotemporal. Die Apparatur des „Wasserschädels“ korrespondierte daher die als im Mittel mit 20 cm angenommene Entfernung zwischen den Ohren eines Menschen mit ihrem submarinen Äquivalent, gemessen an der reduzierten Verzögerungszeit unter Wasser, um, so Aigner,

„die Entfernung im Wasser so zu bemessen, daß die Zeitdifferenz für die Ueberbrückung der Ohrdistanz am menschlichen Kopfe für Luftschall im Wasser für Wasserschall gleich groß ausfällt. Man muß zu diesem Zwecke lediglich die Ohrdistanz am Kopfe des Menschen mit dem Verhältnis der Schallgeschwindigkeit im Wasser zu der in Luft multiplizieren, um die Empfängerentfernung im Wasser zu erhalten.“⁷²

Weiter technisieren ließ sich diese Methode des simulierten Richtungshörens – nach dem Vorbild der aeralen Richtungshörer – mit einer Apparatur, die das Kopfdrehen zur submarinen Schallquelle hin zu simulieren erlaubte, da „durch Einschalten von Verzögerungseinrichtungen die Zeitdifferenzen für die beiden Ohren“ ausgeglichen wurden.⁷³ Das Verfahren operierte mit akustischen Verzögerungsleitungen, um Laufzeitunterschiede auszugleichen, mithin einen detektierten

70 Aigner, Franz (1922): *Unterwasserschalltechnik. Grundlagen, Ziele und Grenzen*, Berlin, 244.

71 Vgl. Shiga, John (2017): „An Empire of Sound: Sentience, Sonar and Sensory Impudence“, in: Sheryl N. Hamilton et al. (Hrsg.), *Sensing Law*, Abingdon/New York, 238-256.

72 Aigner (1922): *Unterwasserschalltechnik*, 245.

73 Ebd., 246.

Klang binaural zu zentralisieren, d.h. diesen nicht mehr simuliert rechts- oder linksseitig, sondern zentral *im Kopf* eines Bedienenden erklingen zu lassen. Demgemäß waren Telefonempfänger nicht direkt an menschliche Ohren gekoppelt – wie in der Schematisierung des „Wasserschädels“ eines US-amerikanischen Patents (vgl. Abb. 12) –, sondern wurden zunächst unterschiedlich langen Rohrleitungen zugeführt – und erst an jenen wurde gelauscht (vgl. Abb. 13). Wurde die notwendige Länge der Verzögerungsleitungen zur Herstellung eines binaural zentralisierten Geräusches gemessen, korrespondierte ihre Länge gemäß Schallgeschwindigkeit mit dem tatsächlichen Seitenwinkel zur Schallquelle. Die wohl prominenteste solcher akustischer Abhörapparaturen war der s.g. Walser Apparat, entwickelt vom französischen Leutnant Georges Walser.⁷⁴ Auch dieser basierte auf Verzögerungsleitungen zur binauralen Zentrierung.

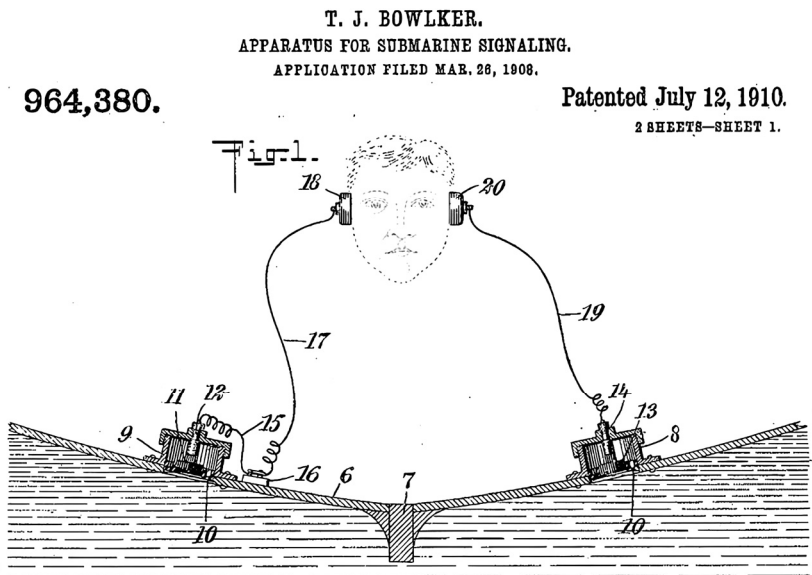


Abbildung 12: Eine Schematisierung des technisierten Richtungshörens unter Wasser; realisiert mit zwei inwendigen Mikrophonen in einem Schiffsbügel, die die menschliche Hörbasis verbreiterten. Zwei Telefone übersetzten die detektierten Geräusche je einem Ohr eines Hörenden wieder in Akustik.

⁷⁴ Vgl. Walser, George (1919): „Submarine Listening Apparatus“, United States Patent Office No. 1.391.654. Application filed April, 1919, Patented September 20, 1921.

Dass in diesen apparativen Settings gelauscht wurde, lag weniger in den hermeneutischen Qualitäten des hörenden Subjekts begründet. Es stellte vielmehr die einfachste psychologische Lösung der andernfalls unmöglichen Delaymessung dar. Denn „Zeitdifferenzmessung ist praktisch wenigstens auf Schiffen nicht durchführbar“, wie ihr Aigner 1922 attestierte.⁷⁵ Über die Vorteile des menschlichen Richtungshörens als Kompensation undurchführbarer Zeitmessung wurde im historischen Kontext mehrfach berichtet. So hieß es an anderer Stelle:

„Die Empfindlichkeit des Menschen für die Gleichzeitigkeit solcher Schalleindrücke ist außerordentlich groß, und zwar kommt sie in der Art zum Ausdruck, daß der Mensch der kleinen Zeitdifferenz entsprechend den Eindruck einer Richtung gewinnt, in der er eine einzige nach beiden Schalleindrücken gemutmaßte Schallquelle annimmt. Bei gleichzeitiger Schallankunft in beiden Ohren verlegt der Beobachter diese Schallquelle in die Mittenebene durch den eigenen Körper. (...) Während also der Mitteneindruck die Erkennbarkeit der richtigen Meßeinstellung liefert, ist die Meßgröße selbst die Länge einer einzuschaltenden Schallstrecke.“⁷⁶

In diesem Setting fungierte der Mensch aufgrund seines binauralen Sensoriums als akustischer Sensor. Die große Sensitivität bzw. „Empfindlichkeit“ des Menschen wurde als geradezu ideal erachtet, wodurch das ganze Verfahren im menschlichen Körper ihr entscheidendes physio-psychologisches Moment fand. Interessant sind die submarinen Richtungshörer, weil sie die andernfalls sensorisch undurchführbare Aufgabe der Richtungsbestimmung einerseits in eine Höroperation übersetzten; und damit zusammenhängend andererseits eine mikrotemporale Zeitdifferenzmessung auditiv realisierten, der sich Bedienende nicht bewusst sein brauchten. So bescheinigte der Hydroelektroakustiker Harold Fay dem Verfahren: „Without being aware of it, you are actually detecting the *difference* in the time interval in which the sound reaches one ear as compared with the other. (...) The operator (...) did not have to make actual measurements and computations.“⁷⁷ Die technisch kontrollierte Manipulation von Höreindrücken qua stereophonischem Effekt galt damit keiner auditiven Ästhetik. Sie war operative Praxis der akustischen Detektion auf Basis der apparativen, räumlich determinierten Verlängerung oder Verkürzung akustischer Delays durch Horchleitungen. Solche technischen Verfahren zur

75 Aigner (1922): *Unterwasserschalltechnik*, 246.

76 Maurer, Hans (1933): *Wissenschaftliche Ergebnisse der Deutschen Atlantischen Expedition auf dem Forschungs- und Vermessungsschiff „Meteor“ 1925 – 1927. Band II: Die Echolotungen des „Meteor“*, Berlin/Leipzig, 2.

77 Fay, Harold (1963): *Submarine Signal Log*, Portsmouth, Rhode Island, 23 u. 25.

Lokalisierung submariner Schallquellen auf Basis der technischen Simulation von Richtungshören wurden auf US-amerikanischer Seite ‚Compensators‘⁷⁸ genannt. Sie glichen Verzögerungen zwischen *einem* an *zwei* unterschiedlichen Orten empfangenen Schallsignal qua Verzögerungsketten aus, d.h. sie ‚kompensierten‘ diese, um die relative Richtung einer Schallquelle identifizierbar zu machen. Wurde dies später durch elektrotechnische Filterketten zur Laufzeiterhöhung realisiert, deutete sich hier eine analoge Prozessierung von Akustik durch die Zeit-Raum-Regime des Delays an, da intra-apparative Übertragungszeiten aufgrund von Kanalkompression und -dekompression maximiert oder minimiert wurden. John Shiga bescheinigt derartigen Verfahren mechanischer Signalmanipulation des Akustischen:

„Mechano-acoustical channels – and in particular the expandable and collapsible air columns contained in adjustable tubes or grooved plates – embodied a new disposition toward underwater sound as a signal to be decoded (rather than listened to ‚directly‘) through human sensing, in conjunction with mechanical compression and decompression of space in the channel.“⁷⁹

Im apparativen Rahmen des binauralen Hörens – und grundlegend für Verzögerungsleitungen als solche – fungierte der Kanal nicht allein als Signal-Übertragungssystem zwischen zwei entlegenen Orten, sondern situierte sich Kanalarbeit als akustische Signalmanipulation. Oder wieder mit Shiga kommentiert: „Channels become signal-processors: they split the sonic event into two transmissions and manipulate their arrival time and phase by compressing and decompressing the space across which these transmissions occur.“⁸⁰ Folgt man Christian Kassung, gäbe es im Sinne Friedrich Kittlers keine analoge Signalverarbeitung, da diese – so Kittler – ein „Zerhacken“⁸¹ voraussetze, welche – so Kassung – im Analogen schlichtweg nicht „wäre“.⁸² Durchaus aber entspricht das Separieren *eines* akustischen Signals in *zwei* Verzögerungskanäle einer Zer- bzw. Aufteilung von Akustik,

78 Hayes, Hammond V. (1920): *Submarine Signaling. Its Application in Peace and War*, Boston, 24.

79 Shiga, John (2015): „Sonar and the Channelization of the Ocean“, in: Paul Théberge/Kyle Devine/Tom Everett (Hrsg.), *Living Stereo: Histories and Cultures of Multichannel Sound*, New York, 85-106, 95.

80 Ebd.

81 Kittler, Friedrich A. (1990): „Real Time Analysis. Time Axis Manipulation“, in: Georg Christoph Tholen/Michael O. Scholl (Hrsg.), *Zeit-Zeichen. Aufschübe und Interferenzen zwischen Endzeit und Echtzeit*, Weinheim, 363-377, 369.

82 Kassung (2007): *Das Pendel*, 309.

um diese im kontrollierten Rahmen einer mechanischen Apparatur zu manipulieren und *ist* damit eine spezifisch analoge Form von Signalverarbeitung.

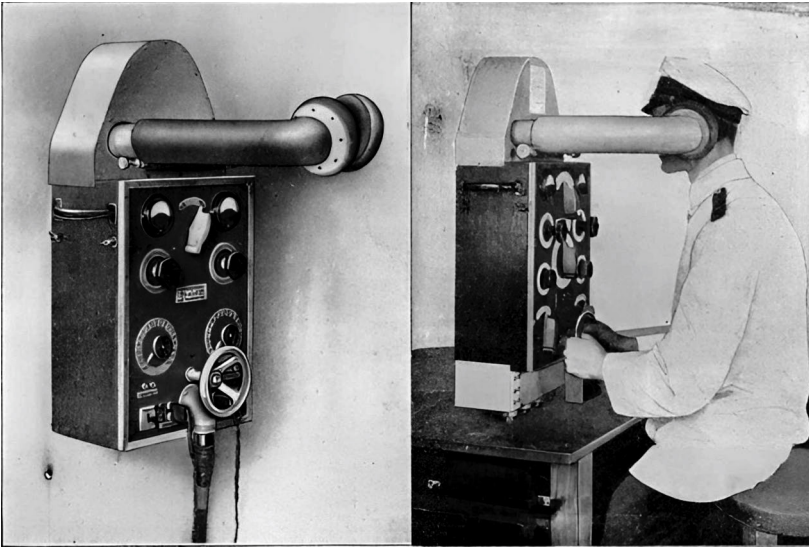


Abbildung 13: Analoge manuelle Signalprozessierung: Zeitgenössische Abbildung des simulierten Richtungshörens unter Wasser bei gleichzeitiger Manipulation der Richtung des Hörindrucks durch das Drehen eines Handrads, das in der Apparatur befindliche Verzögerungsleitungen verlängerte oder verkürzte.

Diese Form auditiver Detektion bildete sich in den folgenden zwei Jahrzehnten von einer stereophonischen Operation hin zu einer Arbeit an und in submarinen Klangräumen aus. Das Lokalisieren einer Schallquelle auf Basis von Verzögerungen initiierte nachgelagerte technisch-mediale Ketten akustischer Übersetzungen, Filterungen und Manipulationen. Da der submarine Raum bereits seit dem frühen 20. Jahrhundert eine Medienökologie akustischer Detektion durch menschliche Ohren ausprägte,⁸³ evozierte der fluide Raum ‚unter den Meeren‘ konsequenterweise seit den 1930er Jahren filigrane Techniken des kontrollierten, selektiven und sensibilisierten Hörens. Deshalb war es der Raum passiver Sonartechniken, der für künftige Medientechniken der Musikproduktion und spätere *multi-channel audios*, zu deutsch: Mehrkanal-Tonsysteme, maßgeblich werden sollte. Basierten konventionelle Richtungshörer auf mechanischer, quasi-natürlicher Verstärkung

83 Vgl. Borbach, Christoph (2022): ‚A Wall of Sound‘. Das Unterwasserschallsignalwesen als Hörregime und technoakustische Einkerbung des Ozeans“, in: Tomy Brautschek et al. (Hrsg.), *Acoustic Intelligence. Hören und Gehorchen*, Berlin/Boston, 133-154.

akustischer Eindrücke durch Hörtrichter, war aufgrund des medialen Environments des Sonars das Hören unter Wasser irreduzibel auf eine elektrische Assemblage von Kabeln, Hydrophonen, Telefonen und Transduktionsketten verwiesen.⁸⁴ Zwischen Empfängern und akustischen Interfaces wurde eine Reihe technischer Module geschaltet, welche zeigen, dass das menschliche Hören im Ozean grundlegend technischer Formatierung und Formalisierung bedarf, wenn es gilt, Höreindrücke derart herzustellen, dass sie denen über Wasser ähneln. Für diese lauschende Arbeit in Klangräumen liefern Bedienungsanleitungen von Sonargeräten der US Navy wie bspw. das *Submarine Sonar Operator's Manual* von 1944 oder das Buch *Naval Sonar* von 1953 oder die deutsche Bedienungsanleitung für ein s.g. *Gruppenhorchgerät* (GHG) von 1944 beredtes Zeugnis.⁸⁵

So wies das *Submarine Sonar Operator's Manual* darauf hin, dass sich die notwendigen Teile für das „Sonic Listening“ aus Hydrophonen, Drehvorrichtungen (für die Ausrichtung der Hydrophone), Verstärkern und schließlich Kopfhörern speisten.⁸⁶ Entsprach das Drehen der Hydrophone zur Zentrierung akustischer Eindrücke noch prinzipiell der Simulation der Kopfdrehung, wie sie Richtungshörer formalisierten, sind Filter- und Verstärkertechnik die neuen Module – und epistemischen Dinge – im hydrotechnischen Arsenal ihrerzeit. Sie erlaubten, über ein reines Verstärken von Schall hinaus, eine Manipulation des Klangs der abgelauchten Unterwasserwelt. Wie eine Schematisierung zeigt (vgl. Abb. 14), galt es zunächst, binnen zweier Etappen den von Hydrophonen in Stromspannungen übersetzten Schalleindruck zu verstärken. Dem war in einem dritten Schritt der technischen Transduktionskette eine selektive Manipulation nachgelagert. Durch einen Filter, der sämtliche Frequenzen über 1.500 Hertz (Hz) abschwächte, realisierte sich ein indirekter „Bass-boost filter“: „making the low frequencies seem stronger“; ebenso war das inverse Prinzip eines Höhenfilters anwählbar, welcher sämtliche Frequenzen unter 3.000 Hz abschwächte, „making the higher frequencies seem stronger.“⁸⁷ Alternative Möglichkeiten dieses detektorischen Sound De-

84 Zum Begriff der Transduktion bzw. Transduktionskette vgl. Helmreich, Stefan (2007): „An Anthropologist Underwater. Immersive Soundscapes, Submarine Cyborgs, and Transductive Ethnography“, in: *American Ethnologist* 34(4), 621-641; Kahn, Douglas (2013): *Earth Sound Earth Signal. Energies and Earth Magnitude in the Arts*, Oakland; Pinch, Trevor/Bijsterveld, Karin (2012): „New Keys to the World of Sound“, in: dies. (Hrsg.), *The Oxford Handbook of Sound Studies*, Oxford, 3-35.

85 Zweiteres wurde zwar nach 1950, d.h. dem Untersuchungszeitraum dieser Arbeit veröffentlicht, es ist aber davon auszugehen, dass es daher genau die medientechnische Sonarsituation zur Mitte des 20. Jahrhunderts abzubilden vermag.

86 Bureau of Naval Personnel, Standards and Curriculum Division, Training (1944): *Submarine Sonar Operator's Manual*, NAVPERS [Naval Personnel] 16167, Washington, D.C., 15.

87 Ebd., 17.

signs bestanden im Unterdrücken sämtlicher Frequenzen unter 500 Hz oder dem Abschwächen sämtlicher Schwingungen zwischen 500 und 2.500 Hz. Das sonische Ergebnis jener derart gefilterten Schwingungen wurde nachträglich wieder verstärkt.

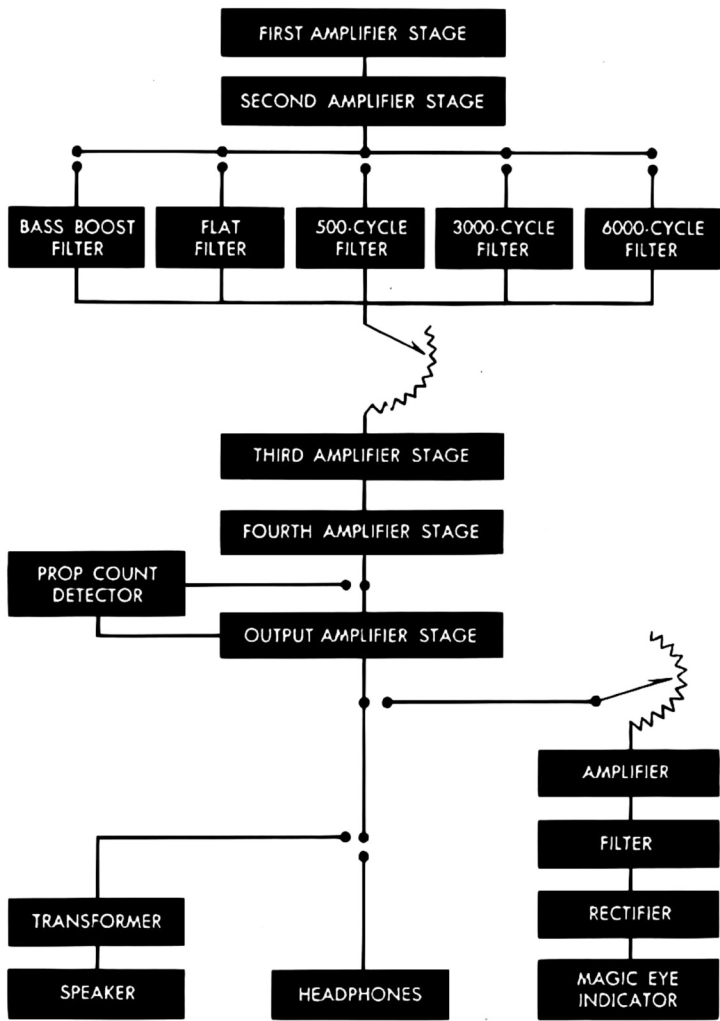


Abbildung 14: Kartierung möglicher Signalwege submarinen Schalls zur auditiven Manipulation aus einer Quelle von 1944.

Wichtig waren derartige Manipulationen empfangener akustischer Signale, um externe Propellergeräusche von Schiffsmotoren zu klassifizieren und zu identifizieren – sowie diese von biologischen submarinen Schallquellen wie Shrimps, Delfinen, Walen, Umberfischen und sonst jedwedem animalischen Quaken, Schnarren oder Rufen zu unterscheiden.⁸⁸ Melle Jan Kromhout versteht in *The Logic of Filtering* Rauschen nicht als unerwünschten Nebeneffekt, sondern als zentral für die medientechnische Konturierung des Sonischen.⁸⁹ Ebenso fanden die akustischen Übersetzungsketten des Filterns und Verstärkens in diesem passiven Sonarkontext im *noise* ihre Bedingung: Dieses verlangte nach medientechnischen Verfahren der Manipulation, um akustische Signaturen, mithin Signale, zu extrahieren.

Beim Passivsonar wurde also nicht schlicht Unterwasserakustik gelauscht, sondern fand eine Modellierung des Klangbildes statt. Anders als im Falle der akustischen Distanzmesser, bei denen Geschützfeuer als ‚Startsignal‘ der Zeitmessung und der Knall als deren Endpunkt fungierte, galt die hermeneutische Frage nun dem *Was?* des Gehörten. Ohne in der Schematisierung der Arbeit in auditiven Räumen (vgl. Abb. 14) mögliche Signalwege topologisch nachzuverfolgen, bleibt festzuhalten, dass das Schema Möglichkeiten der akustischen Manipulation kartierte, deren Nutznießende nicht zivile Audiorezipient:innen, sondern militärische Sonaroperateure waren. Deshalb war den derart manipulierten Geräuschen eine potenzielle Bedrohung oder Gefährlichkeit eingeschrieben. Schließlich handelte es sich um die auditiven Signaturen von (gegnerischen) Schiffen oder Ubooten.⁹⁰

Im Handbuch *Naval Sonar* des Bureau of Naval Personnel wurde die Bedeutung der menschlichen Hörenden zum entscheidenden Kriterium von Passivsonar stilisiert. Die Operabilität von Sonarsystemen war genuin an das Hören und interpretatorische Vermögen von Subjekten rückgebunden bzw. wurde das ganze Mediensystem für nutzlos erklärt, wenn kein physiologischer und psychischer Apparat in die medientechnische Apparatur integriert war: „The capabilities and limitations of the operator, whose task it is to interpret the sounds issuing from the lis-

88 Ebd., 21.

89 Kromhout, Melle Jan (2021): *The Logic of Filtering. How Noise Shapes the Sound of Recorded Music*, New York.

90 Zum Aspekt des Hör-Trainings für Sonaroperateure, um sich im Environment unter Wasser auditiv zu orientieren und Höreindrücke zu kategorisieren, siehe Camprubí, L./Hui, A.E. (2020): „Testing the Underwater Ear: Hearing, Standardizing, and Classifying Marine Sounds from World War I to the Cold War“, in Viktoria Tkaczyk/Mara Mills/A. Hui (Hrsg.), *Testing Hearing: The Making of Modern Aurality*, New York, 301-326. Zur Rolle submarinen Hörens im Kontext der auditiven Suche nach Ubooten im Ersten Weltkrieg siehe auch Bruton, Elizabeth/Coleman, Paul (2016) „Listening in the Dark: Audio Surveillance, Communication Technologies, and the Submarine Threat during the First World War“, in: *History and Technology* 32(3), 245-268.

tening gear, are important in determining the success or failure of its mission.”⁹¹ Grundsätzlich sei das menschliche Ohr als ein biologischer *receiver* seinem elektrotechnischen Äquivalent (zumindest im historischen Kontext) überlegen, da menschliche Hörende das Hintergrundrauschen (buchstäblich: Meeresrauschen) eher ausblenden und Signale zu extrahieren vermochten. Auch in diesem Handbuch wurde eine Filteranordnung expliziert, um den Signal-Rausch-Abstand – „signal-to-noise ratio“⁹² – künstlich zu erhöhen bzw. zu *erhören*. Bei der grundlegenden Annahme, dass Signale de facto keine Gegebenheiten darstellen, sondern sich Rauschen und Botschaft je nach medialem Setting als variant erweisen, wurde – nach dem impliziten Vorbild des Geschützknalls der terrestrischen Schlachtfelder – das vormals unbedeutende Lärmen von Propellern sowie Schiffs- und Ubootmotoren in den Status auditiver Signale erhoben und medientechnisch im akustischen Raum manipuliert. Entscheidend war nicht die Ästhetik des Akustischen, sondern die technische Simulation des Richtungshörens und die Implementierung von Filterketten als Bedingung der Soundarbeit.

Ebenso hieß es auf deutscher Seite in Handbüchern submariner Hörtechniken zur Schiffs- und Uboot-Detektion – wo sich der Begriff ‚Sonar‘ erst später etablierte und technische Hörpraktiken durch s.g. *Gruppenhorchgeräte* (GHG) vorgenommen wurden –, dass sowohl die Schallwellen als auch die qua Hydrophon transduzierten elektrischen Wechselspannungen jeweils „ein Gemisch der verschiedensten Frequenzen“⁹³ darstellten. Die elektronischen Frequenzen böten dabei den Vorteil der direkten *Filterung* zur Selektion von Frequenzbereichen zugunsten eines kontrollierten Hörens: „Beim Horchen werden im wesentlichen die Frequenzen von 300-800 Hz ausgenutzt.“⁹⁴ Dass die physikalische Grundlage der technischen Operabilität des synthetischen Richtungshörens unter Wasser im Delay seine Bedingung hat, expliziert die Bedienungsanleitung des GHGs, da „Schallwegunterschiede“ „Zeitunterschieden“ entsprächen, welche mit technischen „Verzögerungsketten“ stereophonisch binaural zentralisiert und mit „Filterketten“ manipuliert werden können.⁹⁵

Die Mobilisierung des Ohrs, über welche Jüllig eingangs schrieb, hatte Einzug in Handbücher des militärischen Dienstgebrauchs gefunden. Dabei musste mit der

91 Bureau of Naval Personnel (1953): *Naval Sonar. NAVPERS 10884*, Washington, D.C., 52.

92 Ebd., 74.

93 Oberkommando der Kriegsmarine (1944): *Beschreibung einer Gruppenhorch-Anlage, Baumuster AN 301 m, n mit 2x24 Kristallempfängern mit Rumpf- bzw. Balkon-Einbau, 2. Ausgabe*, o.A., 3.

94 Ebd.

95 Ebd., 4-5.

Unübersetzbarkeit des Akustischen in die symbolische Ordnung des Alphabets gerungen werden, wie es bereits die Kriegstagebücher der Frontsoldaten des Ersten Weltkriegs aufzeigten. Die folgende Beschreibung der praktischen Ausgestaltung der Tätigkeit am GHG mag dies belegen und darüber hinaus einen Einblick in die historische Arbeit in akustischen Räumen liefern:

„Mit aufgesetztem Kopfhörer dreht man das Handrad langsam und gleichmäßig über die Stelle, an der ein Geräusch gehört wird, hinweg. Das Geräusch ist innerhalb eines Bereiches von einigen Grad mit gleichmäßiger Lautstärke zu hören und nimmt nach beiden Seiten ziemlich schnell ab. Je schmaler dieses sog. Maximum ist, desto größer ist die Peilschärfe. Nur in der Mitte des Maximums sind die hohen und tiefen Töne, die das Geräusch enthält, gleichmäßig vorhanden. An der Seite verschwinden die hohen Töne schneller als die tiefen, wodurch der Klang dumpf und verwaschen wird. Demgegenüber klingt das Geräusch in der Mitte des Maximums markant und zischend. (...) Bei Benutzung der Filterstufen wird das Maximum schmaler und die Peilgenauigkeit größer, da das Frequenzgemisch durch Unterdrückung der tiefen Frequenzen beschnitten wird. (...) Es empfiehlt sich, beim Horchen gelegentlich die Filterstufen zu wechseln, um die jeweils bestgeeignete auszuwählen und die Peilung durch Hören ohne Filter kontrollieren zu können.“⁹⁶

Die durch mikrotemporale Delays evozierte Grundlagenforschung Hornbostels und Wertheimers, die zunächst die grundlegende Psychologie des menschlichen Richtungshörens zu klären hatte, mündete damit zwei Jahrzehnte später in elaborierten, technisierten Hörpraktiken. Diese basierten auf einer Arbeit an und in Klangräumen, die nicht etwa im Tonstudio stattfand, sondern in exklusiven, militärischen Umgebungen von Sonarhorchposten situiert war. War Hornbostels und Wertheimers „Theorie der räumlichen Wahrnehmung von Schallquellen nämlich nichts anderes als eine Theorie der Stereoakustik“, wie es Christoph Hoffmann formulierte,⁹⁷ wurde diese im Kontext des Zweiten Weltkriegs zur Grundlage der Entwicklung adäquater Audiotechniken, wie sie wiederum die technische Grundlage für spätere akustische Stereomedien darstellte. Mit dieser historischen Re-Lektüre von Sonar-Handbüchern für den militärischen Gebrauch erwiesen sich moderne Rockmusiken tatsächlich als „Missbrauch von Heeresgerät“⁹⁸ – nur fehlt es der in der Medienkulturwissenschaft wiederholt rezipierten These Friedrich Kittlers an argumentativem Mehrwert. Die spätere Arbeit in akustischen Räumen im Kontext

96 Ebd., 13.

97 Hoffmann (1994): „Wissenschaft und Militär“, 279.

98 Kittler, Friedrich A. (2002 [1988]): „Rockmusik – Ein Missbrauch von Heeresgerät“, in ders.: *Short Cuts* 6, hrsg. v. Peter Gente u. Martin Weinmann, Frankfurt a.M., 7-30.

der zivilen Audioproduktion vollzog sich in eben den dafür vorgesehenen Tonstudios – und d.h. in anderen Räumen, anderen Kontexten, durch andere menschliche Akteure und mitnichten generell mit denselben technischen Modulen und akustischen Interfaces, mit denen sich Sonaroperateure konfrontiert sahen. Deshalb sollte eine Mediengenealogie bspw. des „Bass Boost“ zwar seine Sonarverflechtung mitbenennen, aber im Sinne einer situierten Medienforschung auf die divergente Verwendung technischer Module statt allein auf ihren originären (Kriegs-)Einsatz fokussieren.⁹⁹ Ähnlich kommentiert es Jens Schröter:

„Die Feststellung, dass das Militär bestimmte technologische Entwicklungen beschleunigt oder angestoßen hat, ist leer, wenn man nicht zugleich annimmt, dass diese Technikgenese die Struktur der Technik und damit ihre Effekte auch über den unmittelbar militärischen Einsatz – oder einen ‚dual use‘ – hinaus determiniert: Es bleibt sonst undeutlich, wozu die militärische Herkunft überhaupt betont wird. (...) Gerade die Position des Users gegenüber der Technik scheint (...) nicht von militärischer Herkunft, sondern von der je gegebenen diskursiven Praxis diktiert zu werden.“¹⁰⁰

Medientheorie der Verzögerung 1880

Zurück zu Jüllig und seiner historischen Neubewertung des Hörens. Die Nobilitierung von Akustik zum adäquaten Mittel der temporalen Vermessung und Verdichtung des Raums – wie sie sich in den hier versammelten Handbüchern des Sonars zur submarinen Lokalisation fortschrieb – nebst ihrer Historisierung und Theoretisierung war bei Jüllig bereits explizit. Sein Vortrag war der historisch erste, der gebündelt über die seinerzeit neue instrumentelle Möglichkeit der akustischen Distanzmessung berichtete. Dabei deutete sich eine für die postmoderne Verhandlung der Medien des Delays konstitutive, prototypische Epistemologie der Übertragung an, die Wissen der physikalischen Akustik, Körpertechniken und Apparaturen synthetisierend miteinander in Beziehung setzte.

Das Rauschen und seine Verzögerung, das Jüllig 1880 zum raum- sowie zeitkritischen Signal im Setting notwendiger Distanzmessungen qualifizierte, erfuhr erst rund vier Jahrzehnte nach seinem Vortrag breite technische Implementierung

99 Für eine kritische Lesart der Missbrauchs-Figur vgl. Pias, Claus (2015): „Friedrich Kittler und der ‚Mißbrauch von Heeresgerät‘. Zur Situation eines Denkbildes 1964 – 1984 – 2014“, in: *Merkur. Deutsche Zeitschrift für europäisches Denken* 69(791), 31-44.

100 Schröter, Jens (2004): „Technik und Krieg. Fragen und Überlegungen zur militärischen Herkunft von Computertechnologien am Beispiel des Internets“, in: Harro Segeberg (Hrsg.), *Die Medien und ihre Technik. Theorien, Modelle, Geschichte*, Marburg, 356-370, 357-359.

im Feld, als es zur Initialphase von Echoloten kam. Die akustischen Telemeter, über welche er schrieb, erübrigten sich mit dem Aufkommen rauchschwachen Schießpulvers bereits zur Mitte der 1880er Jahre; zudem erschwerten in der militärischen Praxis zu viele Schallquellen die Distanzbestimmung aufgrund der Vagheit, welcher Mündungsknall einem Geschoss zuzuordnen war. Das schmälert aber nicht die medienepistemologische Brisanz des Vortrags. Grundlegend zeigte Jüllig, in moderner Paraphrasierung, dass (physikalische) Medien im Gebrauch nicht nur zur Unsichtbarkeit tendieren, sondern dass ihre vermeintliche Unmittelbarkeit in zweifacher Weise ein Phantasma ist: Eine räumlich unmittelbare Wahrnehmung gibt es ebenso wenig wie eine zeitlich instantane. Entscheidend war es, diese Mittelbarkeit akustischer Übertragungen in eine produktive Strategie zur Vermessung und Verdattung des Georaums zu wenden. Dies ist konstitutives Moment der Medien des Delays. Zudem – das erscheint mir besonders –, wurde das ‚Verschwinden‘ bzw. ‚Unsichtbarwerden der Medien‘ im Moment ihres funktionalen Vollzuges bis dato vornehmlich nicht mit einer temporalen Komponente versehen. So schreibt programmatisch Sybille Krämer:

„Wo immer wir gewöhnlich mit Medien umgehen, richten wir uns auf das, was Medien vermitteln und vorstellig machen (...). Medien werden ihrer Funktion umso besser gerecht, je mehr sie uns vergessen lassen, dass es Medien sind, durch die wir etwas zu sehen oder zu hören bekommen. Medien bleiben der blinde Fleck in unserem Wahrnehmen und Kommunizieren. Sie wirken gewöhnlich unterhalb der Schwelle unserer Wahrnehmung; im Gebrauch ‚entziehen‘ Medien sich durch eine Art ‚ästhetischer Neutralität‘.“¹⁰¹

Kritisch bei Jüllig wurde dahingegen der zeitliche Index medialer Übertragungen, schlicht, weil das Hören und Sehen, von dem Krämer schreibt, im bzw. durch den Raum und d.h. nicht instantan, sondern in der Zeit geschieht. Jüllig diskursivierte das Delay als physikalische Mediumsbotschaft des Raums: In der Übertragung akustischer Signale und Impulse wird der Georaum zeitkritisch. Anders als bei Bontemps und dem ersten apparativen Verfahren der Echoortung und seiner nahezu nüchternen Beschreibung (vgl. Kap. 3), kulminierte die Reflexion akustischer Distanzmessung bei Jüllig in einer prä-medienwissenschaftlichen Übertragungstheorie. Diese zielte auf die Zeitlichkeit von Signalsendungen ab, die sich als indexikalischer Effekt ihrer Übertragungsräume erwiesen. Diese Form des „sonic ma-

101 Krämer, Sybille (2003): „Erfüllen Medien eine Konstitutionsleistung? Thesen über die Rolle medientheoretischer Erwägungen beim Philosophieren“, in: Stefan Münker/Alexander Roesler/Mike Sandbothe (Hrsg.), *Medienphilosophie. Beiträge zur Klärung eines Begriffs*, Frankfurt a.M., 78-90, 81.

terialism“ im Sinne von Christoph Cox¹⁰² zeitigte eine materialistische, aber dennoch buchstäblich dynamische Medientheorie, die sich am Zeit-Raum-Regime des Akustischen ausrichtete und von den historischen Apparaturen, Hörpraktiken sowie Körpertechniken des Delays evoziert wurde. Erst diese Apparaturen materialisierten den „für Alle greifbaren Nutzen“¹⁰³ von vormals im besten Sinne unpraktischen Wissens: Ein Nutzen, der tatsächlich ‚greifbar‘ wurde – mitunter in Form akustischer Telemeter.

Epistemologisch zugespitzt ließe sich formulieren, dass Jüllig aufgrund der in der technischen Praxis seinerzeit anzutreffenden artefaktischen Spuren der Produktivwerdung von Delay eine Medientheorie der Verzögerung antizipierte. Deren Kern stellte die Medienfunktion der akustischen Übertragung in ihrer Zeitlichkeit dar. Obgleich dies im historischen Kontext noch genuin körpertechnische Ausgestaltung erfuhr, steht das Vortragsthema Jülligs programmatisch für eine – im Wortsinn Jacques Lacans – Übersetzung des Realen in Symbolisches ein, dessen Daten auf ein Vorbild im Georaum verwiesen und auf der Bewegung von Schall basierten. Die technische Bestimmung von Delay fiel mit der Messung von Distanzen im Georaum in eins: Akustische Verzögerungen wurden zu Daten des Raums deklariert oder in Anlehnung an Richard Wagners *Parsifal* ließe sich aussagen, *zum Raum wurde hier die Zeit*. Distanzmessung wurde als Praktik der Messung von Delay formalisiert. Verzögerungszeiten wurden in Geodaten übersetzt, was Positionsbestimmungen *auf Distanz* zu praktizieren erlaubte. Geodaten von Objekten konnten nunmehr auf Basis der Bewegung von Signalen statt menschlichen Körpern produziert werden.

Die Techniken, auf die Jüllig fokussierte, eint, dass sie passive Ortungen oder zumindest Lokalisierungen zuließen. Passiv waren diese, weil sie nicht auf der Aussendung eines Ortungsimpulses basierten, sondern das Delayverhalten externer – meist nicht dazu intendierter – Schallquellen zur Entfernungsbestimmung nutzten. Sie stehen nicht in einer mediengenealogischen Linie, die sich über das Aktivsonar, Echolot und Aktivradar fortschreibt. Sie waren apparative Körpertechniken, die durch das bloße Empfangen anderweitig ausgesendeter Schallergebnisse charakterisiert waren und darauf basierten, aus akustischen Umgebungen bestimmte Schallereignisse als Signale zu qualifizieren und einem hörenden Subjekt unter technisch kontrollierten Bedingungen zuzuleiten. Eine solche praxeologische Perspektivierung von Signalen, wie es dieses Kapitel vorschlug, kontextualisiert Signale derart, dass diese nicht *sind*, sondern berücksichtigt das kooperative

102 Cox, Christoph (2011): „Beyond Representation and Signification: Toward a Sonic Materialism“, in: *Journal of Visual Culture* 10(2), 145-161.

103 Jüllig (1881): „Ueber akustische Distanzmessung“, 57.

Environment, in welchen bestimmte Ereignisse zu Signalen *werden*. So kann auch ausgesagt werden, für *wen* etwas *wann* und *wo* ein Signal ist – und nicht etwa ein Rauschen oder Knallen.

Akustische Telemeter, Richtungshörer und die späteren elektronischen Hörpraktiken des Sonars – sie basierten darauf, dass lediglich empfangen wurde. Noch heute beruhen die modularisierten, in Smartphones integrierten Empfänger für globale Satellitennavigationssysteme (GNSS) – wie GPS oder Galileo – auf dem Prinzip der Verzögerungsmessung, auch, wenn diese nicht mehr körpertechnisch verfasst, sondern vollständig an Mikrochiparchitekturen delegiert worden ist. Demgegenüber gibt es aktive Ortungstechniken auf Basis von Delay, die eigens Impulse aussenden, um in medientechnischen Gefügen die Übertragungszeit jener Impulse zu bestimmen. Und einem ersten apparativen Verfahren der Echoortung im Wasser widmet sich das folgende Kapitel, das sich der Frühphase des Echolotens widmet.

5. Echoloten

Profilierung als Datenproblem

„Nun müssen wir uns dabei freilich über gewisse Besonderheiten der Echolotung klar bleiben. Sie mißt im Grunde ja eigentlich nicht eine Strecke wie die Drahtlotung, sondern eine Zeit, aus der erst durch Vervielfältigung mit der halben Schallgeschwindigkeit die gesuchte Strecke erhalten wird.“
– Hans Maurer, 1927¹

Aquatische Experimente

Im Jahr 1914 war monatelang kein Platz für Fische in einem Goldfischaquarium, dessen Inhalt dafür umso mehr von Interesse für Alexander Behm und seinen Mitarbeiter Walter Krentzien war. Statt biologischer Insassen beherbergte der gläserne Kasten in einem gepachteten Kleingarten in der Kieler Fichtestraße eine medientechnische Experimentalanordnung zur kontrollierten Erzeugung und Dokumentation von Erkenntnisfunken. Was zum photographischen Bild werden sollte, war die Reflexion von Schall unter Wasser. Hatten photographische Aufnahmen von flüchtigen Ereignissen in der Luft ihrerzeit bereits eine eigene Mediengeschichte,² wollte sich die Ausbreitung und -reflexion von Schall unter Wasser noch in kein wissenschaftliches Bild fügen, zumal kein photographisches.

Wiederholt erzeugten Behm und Krentzien im Aquarium Schallimpulse durch Funken, ein zweiter Funke außerhalb des Glaskastens diente als Blitzlicht für die

-
- 1 Maurer, Hans (1927): „Die Lotungen des Forschungsschiffs ‚Meteor‘ und die Nautik“, in: *Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin* 7/8, 371-377, 373.
 - 2 Vgl. zu Geschossfotographien und zur photographischen Dokumentation ihrer Schallgenerierung Hoffmann, Christoph/Berz, Peter (2001) (Hrsg.), *Über Schall. Ernst Machs und Peter Salchers Geschossfotografien*, Göttingen.

Fotographien.³ Den Strom lieferten zwei Leidener Flaschen – als studierte Physiker und Elektrotechniker waren die Experimentatoren mit derlei elektrischen Kondensatoren vertraut –, zudem konstruierten sie einen Doppelschalter, der beide Funken nacheinander, versetzt um eine fünfzehntausendstel Sekunde auslöste, was qua Handfeuerwaffe realisiert wurde. In dieser Zeit hatte eine im Wasser erzeugte Schallwelle eine Entfernung von 10 cm absolviert. Mit dieser funktionalen Experimentalanordnung konnten Behm und Krentzien die Reflexionseigenschaften von Unterwasserschall an den Oberflächen verschiedener im Aquarium deposierter Materialien eingehend prüfen. Das Ergebnis war eine Reihe von Schallfotographien im fluiden physikalischen Medium, die als zeitlich stillgestellte Dokumente analysiert werden konnten. Behm berichtete:

„Außerordentlich gute Reflexionen ergab die Wasseroberfläche, des weiteren die Gefäßwände (die aus Glas bestanden). Es zeigt sich weiter, daß Hartgummi in einer 10 mm starken Platte den Schall fast ungeschwächt hindurchtreten läßt und nur einen geringen Teil reflektiert, wogegen sich eine nur 2 mm starke Glasplatte genau umgekehrt verhält, indem sie fast die ganze Schallintensität reflektiert. Interessant war die Reflexion des Schalles im Wasser an einem allerdünnsten Löschblatt. Sie erklärt sich daraus, daß die Faser [sic] des Löschblattes Luft enthalten und daher den Schall fast total reflektieren.“⁴

Die von Behm und Krentzien experimentell erzeugten Dokumente stellen die historisch ersten Photographien von Schallwellen im Wasser dar. Bis dato fand keine wissenschaftliche Untersuchung der Reflexion von Unterwasserschall statt, weil die Frage nach der Reflexion von Schall in fluiden Umgebungen noch auf keine praktische Dringlichkeit verwies. Warum also dokumentierten Behm und Krentzien Unterwasserschall photographisch; was war der Kontext ihrer Experimentalpraxis; oder – in einer Paraphrase von Erhard Schüttpelz⁵ – wie lautete die Frage nach der Frage, auf welche das Experiment eine Antwort liefern sollte?

Behms Interesse galt der Entwicklung einer Frühwarnmethode zur akustischen Detektion entfernter Eisberge zu Zwecken der sicheren Navigation auf See, also einer ersten Form des *remote sensing* im Ozean. Das ambitionierte Vorhaben

3 Zur Medienkulturgeschichte von Funken in einer aktuellen Zeit, in welcher sie begrifflich zusehends aus dem Alltag schwinden – wurde doch der „Rundfunkstaatsvertrag“ 2020 vom s.g. Medienstaatsvertrag abgelöst – vgl. Knörr, Kai (2018): *Funken – Eine Medienkulturgeschichte*, Dissertation, Universität Potsdam.

4 Behm, Alexander (1921): „Das Behm-Echolot“, in: *Annalen der Hydrographie und maritimen Meteorologie* 49(8), 241-247, 242.

5 Schüttpelz, Erhard (2003): „Die Frage nach der Frage, auf die das Medium eine Antwort ist“, in: Albert Kümmel/Erhard Schüttpelz (Hrsg.), *Signale der Störung*, München, 15-30.

stand im Eindruck des Untergangs der *Titanic* im Jahr 1912, wie sie auch andere Pioniere hydroakustischer Forschung ihrerzeit beeinflusste. Immerhin sollte auch Reginald Fessenden seine ersten Echoortungen im Wasser mit Eisbergen als Reflektoren praktizieren (vgl. Kap. 6). Bereits im selben Jahr, 1912, begann Behm mit Experimenten, die insgesamt acht Jahre andauern sollten⁶ und verlagerte sein Erkenntnisinteresse frühzeitig von der horizontalen Ortung ins Vertikale: von der Eisbergdetektion hin zur Möglichkeit der akustischen Tiefenbestimmung des Meeres. Gewagt war dieses Vorhaben allemal. Weder war experimentell nachgewiesen, ob Meeresböden aufgrund von Sand oder Schlamm überhaupt ein hinreichend starkes Echo bewirken, noch, ob dieses zeitlich deutlich zu identifizieren sei. So hieß es noch 1907 in einem *Handbuch der Ozeanographie* über akustische Tiefenbestimmungen als *science fiction*: „Doch könnte, selbst wenn der meist weiche Meeresboden Schallwellen zurückwirft, was noch festzustellen ist, die Genauigkeit nicht groß sein, da der Schall im Wasser in der Sekunde 1400 m durchmißt.“⁷

Behms Vorhaben war nicht neu, zumindest als Hypothese. Vorige Experimente konnten allerdings anstelle von Echos von Meeresböden nur das eigene Scheitern dokumentieren. Davon zeugt bereits der vermutlich erste Versuch der Echoortung unter Wasser: Nachdem es Jean-Daniel Colladon und Charles-Francois Sturm gelungen war, die Schallgeschwindigkeit im Wasser 1826 annähernd exakt zu bestimmen, kam es zur versuchten praktischen Anwendung jenes Wissens. In der *American Philosophical Society* wurde 1838 ein Paper vor den anwesenden Mitgliedern verlesen, welches unter dem Titel „Notes of Experiments, made August 22d to 25th, 1838, with the view of determining the Depth of the Sea by the Echo“ von den Experimenten Charles Bonnycastles von der University of Virginia handelte. Das Paper beschäftigte sich mit der Grundidee, „that an audible echo might be returned from the bottom of the sea, and the depth be thus ascertained from the known velocity of sound in water.“⁸ Die Apparatur, die Bonnycastle dafür andachte, bestand erstens aus einem eisernen Hohlraum als Sender des akustischen Signals, in welchem Kanonenpulver zur Zündung gebracht werden konnte; zweitens aus einem dünnen acht Fuß langem Rohr mit Trompetenöffnung unter

6 Behm (1921): „Das Behm-Echolot“, 241.

7 Krümmel, Otto (1907): *Handbuch der Ozeanographie. Band 1: Die räumlichen, chemischen und physikalischen Verhältnisse des Meeres. Zweite völlig neu bearbeitete Auflage des im Jahre 1884 erschienenen Band I des Handbuchs der Ozeanographie von Prof. Dr. Georg v. Boguslawski*, Stuttgart, 81.

8 Bonnycastle, Charles (1840): „Notes of Experiments, made August 22d to 25th, 1838, with the View of Determining the Depth of the Sea by the Echo“, in: *Proceedings of the American Philosophical Society, Held at Philadelphia for Promoting Useful Knowledge* 1(4), 39-42, 39.

Wasser als Sender des Impulses; und drittens – was die Messung ins Zeitkritische überführte – einer Stoppuhr, welche es erlaubte, den 60sten Teil einer Sekunde zu bestimmen. Es galt, mit einem trichterförmigen Rohr zu hören und die Verzögerung zwischen Knall und seinem Echo subjektiv zu messen. Doch weil die Natur sich zu intensiv in die Experimentalanordnung einschrieb, versagte sie: „the noise of the waves greatly interfering (...) with the powers of hearing.“⁹ In Anbetracht der Störung durch die Medienökologie der Situation – Meeresrauschen – erwies sich der Signal-Rausch-Abstand als zu gering: Ein Echo des Knalls des Kanonenschusses konnte nicht gehört werden, und dies bei einer Wassertiefe von lediglich etwa einer Viertelmeile. Das vage Resümee der Experimente bestand in einem Forschungsauftrag zur Impulserzeugung: „The conclusion from these experiments is, either that an echo cannot be heard from the bottom of the sea, or that some more effectual means of producing it must be employed.“¹⁰

Dem US-Amerikaner Albert Franklin Eells wurde 1906 für eben jenen schon 1838 formulierten Gedanken unter dem Titel „Method of Sea Sounding“ ein Patent für eine Methode der Tiefenbestimmung von Ozeanen „without the use of line, wire, or other tangible means of connecting a ship with the bottom of the sea“ erteilt. In den Worten des Autors: „Briefly described, my present invention consists in determining the distance between a ships keel and the bottom of the sea either by utilizing the echo from a sound made on shipboard or by the return of an impulse due to the disturbance of the water at or near the surface of said water.“¹¹ Was die Patentschrift verschwieg, war nicht nur, wie Tiefenbestimmung als Zeitmessung technisch ausgestaltet werden sollte, sondern ebenso, ob Meeresböden überhaupt zur akustischen Reflexion fähig sind.¹²

Damit war zu Beginn des 20. Jahrhunderts ein Wissen um akustische Verzögerungen im Wasser vorhanden. Auch wurden die idealen Übertragungseigenschaften von Meereswasser seit etwa 1900 im Kontext des s.g. Unterwasserschallsignalwesens (*submarine signaling*) genutzt (vgl. Kap. 6). Nur die Reflexionscharakteristika von Meeresböden und Objekten im Wasser markierten einen blinden Fleck der sich konsolidierenden Hydroakustik. Um alle Zweifel an der grundsätzlichen Möglichkeit akustischer Tiefenbestimmung, mithin der Reflexion von Unter-

9 Ebd., 39-40.

10 Ebd., 41.

11 Eells, Albert F. (1904): „Method of Sea-Sounding“. United States Patent Office No. 837.551. Filed March 20, 1904, Patented December 12, 1906.

12 Mediengeschichten auf Basis von Patenten sollten daher kritisch gelesen werden, vgl. Kümmel-Schnur, Albert (2014): „Patente als Agenten von Mediengeschichte“, in: Albert Kümmel-Schnur/Christian Kassung (Hrsg.), *Bildtelegraphie: Eine Mediengeschichte in Patenten (1840-1930)*, Bielefeld, 15-38.

wasserschall zu beseitigen, musste Behm zum elektrotechnischen Experimentator avancieren und ein überzeugendes Dokument produzieren. Es galt, die physikalischen, räumlichen Eigenschaften von Unterwasserschall zu Papier zu bringen, d.h. die Bewegung von Schall in einem „immutable mobile“¹³ stillzustellen. Hierfür bot sich eine apparative „Kulturtechnik der Verflachung“¹⁴ an, so Behm: Es „blieb nichts anderes übrig, als die Schallwelle im Wasser selbst zu photographieren“.¹⁵ Behms Aquarium als adäquater Experimentalraum wurde nun wissenshistorisch und epistemologisch brisant. Die Fixierung von Schallwellen in der Luft auf photographischen Platten war zwar bekannt, nur musste Behm die hierfür erforderliche Anordnung auf die Bedingung des nunmehr fluiden Trägermediums hin anpassen, um dem Zeit-Raum-Regime von Unterwasserschall Rechnung zu tragen. Einerseits ist die Schallgeschwindigkeit im Wasser rund vier Mal höher als in der Luft (aufgerundet 1.500 m/s, d.h. 1.500.000 mm/s), andererseits verfügte das zum fluiden Labor avancierte Goldfischaquarium von Behm und Krentzien nur über eine begrenzte Kapazität (270 × 250 × 120 mm).

Die Frage, auf welche die Experimentalanordnung die Antwort lieferte, lautete mithin: Sind unterschiedliche unter Wasser befindliche Objekte zur Schallreflexion fähig? Und die Frage nach dieser Frage lautete wiederum: Können Meeresböden Echos generieren, sind also die physikalischen Bedingungen gegeben, um vom Echolot als Theorie zum Echoloten als Praxis zu gelangen? Bevor also Echolote Delays von Unterwasserschall zu bestimmen vermochten, die in Meerestiefen übersetzt werden konnten, galt es, eine Anordnung zu konzipieren, die wiederum mikrotemporal operierte. Es galt, unter Wasser einen Knall auszulösen und kurze Zeit später die erste Reflexion dieses Schallimpulses an den Innenwänden des Aquariums photographisch zu fixieren, um anschließend – mit ausreichend Zeit – das vormals unsichtbare Zeit-Raum-Regime von Schall unter Wasser studieren zu können. Mit den Photographien war Schallreflexion unter Wasser zum Dokument geworden. Als derart sichtbares Experimentalergebnis konnten aquatische Schallreflexionen nunmehr jene Theoretisierung erfahren, der sie sich vormals etymologisch entzogen, steht das altgriechische *theoría* doch für die ‚Anschauung‘ oder ‚Betrachtung‘ ein. Die besten Reflexionsdokumente erhielt Behm durch gewelltes Zinkblech auf dem Boden des Aquariums, welches von Schallwellen ebenso durchdrungen wurde, wie sich an seinen Spitzen Reflexionen zeigten (vgl. Abb. 15).

13 Vgl. Latour, Bruno (2006): „Drawing Things Together. Die Macht der unveränderlich mobilen Elemente“, in: Andréa Belliger/David J. Krieger (Hrsg.), *ANThology. Ein einführendes Handbuch zur Akteur-Netzwerk-Theorie*, Bielefeld, 259-307.

14 Krämer, Sybille (2016): *Figuration, Anschauung, Erkenntnis. Grundlinien einer Diagrammatologie*, Berlin, 15.

15 Behm (1921): „Das Behm-Echolot“, 242.

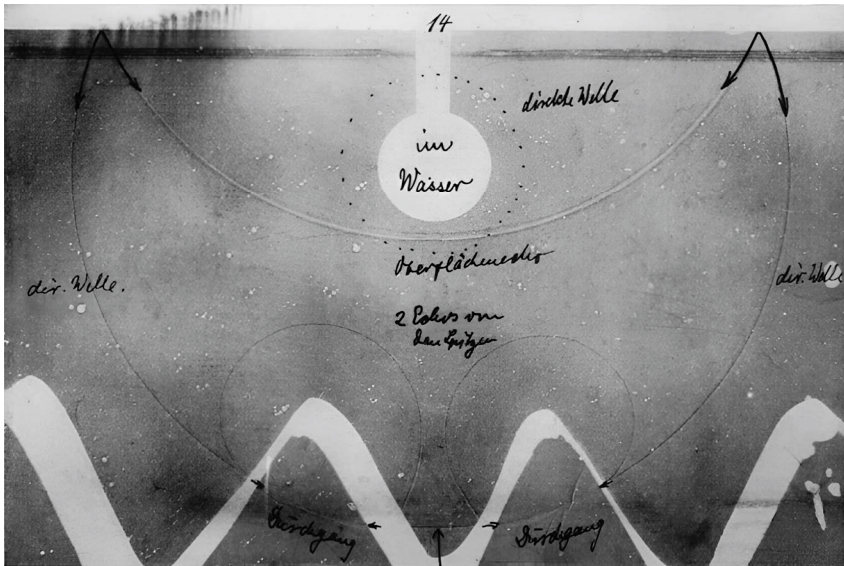


Abbildung 15: Eine erste Photographie von Schall unter Wasser. Gut zu sehen – und zum Dokument geworden – sind die Reflexionen am wellenförmig gebogenen Metallstreifen auf dem Grund des Aquariums.

Hinsichtlich des Delays ist die Genese der Funktionalität der Apparaturen, welche Behm zur Tiefenmessung konstruierte, relevant. Denn in diesen ist Zeit zunächst nicht der kritische Messparameter. Vielmehr galt es – wie im Falle der originären sonographischen Experimente der Gebrüder Dussik (vgl. Kap. 8) –, die *Absorption* von Schall durch den solchermäßen durchschwungenen Raum mit einem ‚Sonometer‘ zu detektieren. Diese Messung der Abschwächung eines Ortungsimpulses sollte vermeintliche Rückschlüsse auf die Wassertiefe zulassen.¹⁶ Allerdings steht die Stärke eines Unterwasserechos in Relation zu seinem Ortungsimpuls nicht in einem indexikalischen Verhältnis zur Länge des Übertragungsraums. Es ist vielmehr abhängig vom Meeresboden, der Schall *unterschiedlich stark* dämpft bzw. reflektiert. Vermeintliche Tiefen- als Absorptionsmessung ließe also vielmehr Aussagen über die Qualität des Meeresbodens zu, nicht aber über die Distanz zu diesem.

Bodenverhältnisse – gleich ob Fels, Sand, Schlamm oder Schlick – haben hingegen keine Auswirkung auf die Geschwindigkeit des Schalls. Um nun, in Begriffen

16 Das Verfahren hatte sich Behm bereits 1906 patentieren lassen und operierte auf Basis der photographischen Fixierung einer Stimmgabelschwingung auf fortlaufendem Papier. Behm, Alexander (1906): „Meß- und Registriervorrichtung für Amplituden schwingender Körper“, Kaiserliches Patentamt, Nr. 182126. Patentierte im Deutschen Reiche vom 11. April 1906 ab.

von Gilbert Simondon, von diesem metastabilen Zustand des technischen Objekts im Rahmen seiner Technogenese bzw. ‚Individuation‘ zum nächsten zu gelangen,¹⁷ musste das Prinzip der Absorptionsmessung ad acta gelegt werden. Es galt, einen anderen Parameter des Experimentalsystems als kritisch zu identifizieren. Nunmehr wurden die Zeit-Raum-Regime von Hydroakustik berücksichtigt: Tiefenlotung sollte zur Verzögerungsmessung avancieren – zur Messung des *round trip delay* eines Ortungsimpulses. Oder um das generelle Prinzip submariner Tiefenbestimmung mit den Worten des US-amerikanischen Unterwasserakustik-Pioniers und Leiter der Sound Division am Naval Research Laboratory in Washington, D.C., Harvey Hayes von 1924 zu definieren: „The general principle of the acoustic method consists in general of substituting for direct measurement of the depth itself an indirect evaluation thereof by means of the time taken by a sound wave to travel over this depth“.¹⁸ Echozeit sollte zur Repräsentantin für Wassertiefe werden, Delay mithin auf submarine Raumgrößen verweisen.

Die Problematik nun war eine zeitkritische, so Behm: „Bedenkt man, daß die Schallgeschwindigkeit im Wasser 1435 m beträgt, die Genauigkeit einer Lotung bei geringen Tiefen doch mindestens etwa 1/4 m betragen muß, so erkennt man leicht, daß die Frage nach der Exaktheit des Echos eine der wichtigsten war.“¹⁹ Ein exakter Zeitmesser musste her, der auch kurze Zeiträume messen, meint in den Worten von Behm ‚beherrschen‘ konnte.²⁰ Das zweite Verfahren, das zur echolotischen Tiefenmessung führen sollte, bediente sich daher unter anderem der Episteme der Elektrophysiologie, wo ‚Selbstschreibeapparaturen‘ spätestens seit 1850 etabliert waren (vgl. Kap. 2). Das Verfahren nutzte ‚Photogramme‘ und eine ‚zeit-schreibende Stimmgabel‘ und ist dahingehend von Interesse, weil es das technische Arsenal reanimierte, welches bereits bei den apparativen Echoortungen von Charles Bontemps Verwendung erfuhr (vgl. Kap. 3). Die Zeitmessung gestaltete sich als chronographische Schallfixierung des Direktschalls und des Echos auf fortlaufendem Papier aus, welche mit der Referenzschwingung einer zeitschreibenden

17 Simondon, Gilbert (2012 [1958]): *Die Existenzweise technischer Objekte*, Zürich, 145. Henning Schmidgen hielt diesbezüglich fest: „Im Sinne eines Dings manifestiert sich das technische Objekt erst entlang der sukzessiven Stufen seiner Entwicklung. Die technischen Objekte gehen ihrem Werden also nicht voraus (als Idee, als Theorie, als Apriori), sie folgen ihm auch nicht nach (als Endprodukt einer Entwicklung), sondern fallen mit ihrem Werden in einer stets aktualisierten Gegenwart zusammen.“ Schmidgen, Henning (2012): „Das Konzert der Maschinen. Simondons politisches Programm“, in: *Zeitschrift für Medien- und Kulturforschung* 3(2), 117-134, 124.

18 Hayes, Harvey (1924): „Echo Sounding“, in: *The Hydrographic Review* 2, 135-192, 135.

19 Behm (1921): „Das Behm-Echolot“, 241.

20 Ebd.

Stimmgabel „als Maßstab für die Zeit“²¹ verglichen wurde. Delay sollte mit diesem Verfahren durch Auszählen der Anzahl von Kurven der Referenzschwingung ermittelt werden, die zwischen Empfang von Direktschall und dem Echo vom Meeresboden auf einem Messgraphen lagen (vgl. Abb. 16, links unten).

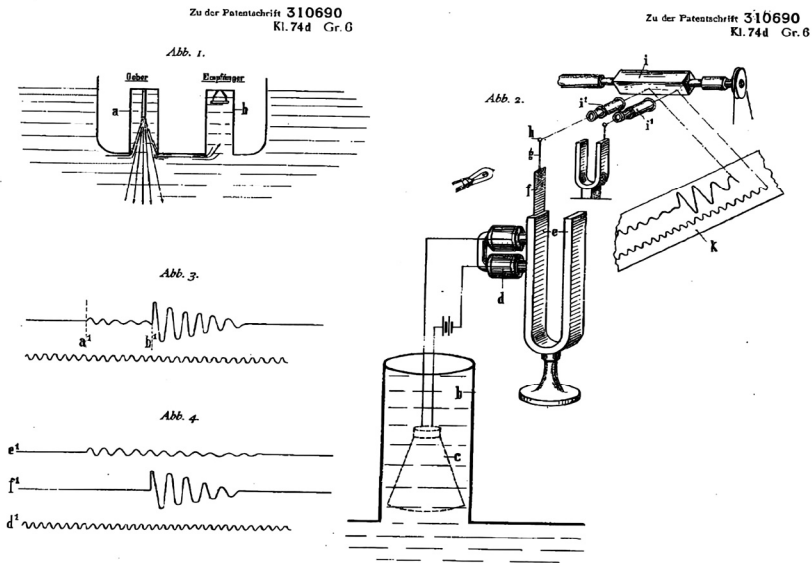


Abbildung 16: Behms zweites Echolotverfahren: Tiefenmessung auf Basis chronographischer Schalldokumentation.

Damit hatte sich ein zeitkritisches Übertragungswissen medientechnischer Sendungen in der Unterwasserakustik konsolidiert, das Verzögerung zum zentralen Akteur einer Apparatur deklarierte. In grundlegender Differenz zu gewöhnlichen Kommunikationsanordnungen wurde mit Behms zweitem Echolotverfahren ein singulärer Impuls statt einer Botschaft ausgesendet: Ein Impuls, der keine codierten Daten enthielt, sondern als flüchtige Materialität den Unterwasserraum durchquerte. Erst durch das Delay eben jener Übertragung wurden Daten produziert. Wichtigkeit erlangte dementsprechend nicht die Codierung von Botschaften, sondern die flüchtig-materielle Form der Aussendung des Impulses: Zur echolotischen Allgemeinbildung wurde es, dass der ausgesendete Ortungsimpuls eine hinrei-

21 Behm, Alexander (1916): „Anordnung zur Bestimmung von Meerestiefen und sonstigen Entfernungen unter Wasser“ (Basis Schallgeschwindigkeit), deutsches Patent Nr. 310, 690, eingereicht am 7.1.1916, veröffentlicht am 26.09.1921, 2.

chende Stärke benötigte, um im Ozean nicht komplett absorbiert zu werden; dass er zudem in einer Frequenz stattfinden musste, die sich vom Umgebungsrauschen des Ozeans hinreichend unterschied; und dass, drittens, der ausgesendete Impuls möglichst kurz sein musste.²²

In logischer Inversion der Praxis der „Schallstrahlen“ Carl Ferdinand Langhans', um etwaige Echos aufgrund von Laufzeitunterschieden auf dem Papier auszumessen (vgl. Kap. 1), war das Echo zum temporalen Parameter des submarinen Raums avanciert. So konnte man in zeitgenössischen Berichten lesen: „Ist die Schallgeschwindigkeit v bekannt, so mißt die Echozeit zugleich die Länge des Schallweges, aus der auf die [Meeres-]Tiefe geschlossen werden kann.“²³ Bzw. wurde hydroakustischen Verzögerungen bescheinigt: „Anstatt der Länge des Schallweges, aus der die Tiefe ermittelt werden soll, bestimmt das Echolot die Echozeit. Aus ihr kann der Schallweg und damit die Tiefe nur gefunden werden, wenn die Schallgeschwindigkeit bekannt ist.“²⁴ Das Delay, das sich nur schwerlich architektonisch formatieren lassen wollte und sich als widerspenstiger Akteur in Theaterräumen zu hören gab, war epistemisches Moment medientechnischer Apparaturen ozeanischer Tiefenmessung geworden. Brisant an den vorigen Zitaten ist diesbezüglich, dass sie rhetorisch gerade *nicht* brisant daherkommen. Anders als in der geradezu euphorischen Beschreibung akustischer Distanzmessung um 1880 durch Max Jüllig (vgl. Kap. 4), wurde ihr Prinzip bereits um 1920 in unterschiedlichen Ökologien medientechnisch entfaltet und damit tendenziell normalisiert: Ein Wissen der Akustik hatte sich in Techniken manifestiert und etabliert.

Mit dem chronographischen Verfahren von Behm ließ sich eine Tiefseelotung binnen einer halben Minute durchführen.²⁵ Aber die Übersetzung von Zeitdifferenzen in chronographische, fotografisch fixierte Raumdifferenzen, die nach anschließendem Auszählen von Referenzschwingungen verlangten, um die ermittelte Raumdifferenz auf dem Papier mit einer Raumdifferenz im Ozean rechnerisch zu korrelieren, war schlichtweg unpraktisch. Oder wie Behm selbst dem Verfahren retrospektiv attestierte: Mit dem chronographischen Echolotverfahren „war natür-

22 Vgl. von Recum, O.F. (1926): „Die akustischen Tiefseelote“, in: *Die Deutsche Atlantische Expedition auf dem Vermessungs- und Forschungsschiff „Meteor“, Sonderabdruck aus den Annalen der Hydrographie und Maritimen Meteorologie* 54(3), 19-24, 20.

23 Maurer, Hans (1933): *Wissenschaftliche Ergebnisse der Deutschen Atlantischen Expedition auf dem Forschungs- und Vermessungsschiff „Meteor“ 1925-1927. Band II: Die Echolotungen des „Meteor“*, Berlin/Leipzig, 3.

24 Ebd., 6.

25 Behm (1921): „Das Behm-Echolot“, 246.

lich der praktischen Schifffahrt noch nicht gedient.“²⁶ Als praktischer sollte sich ein Verfahren erweisen, das dieselben übertragungstheoretischen Episteme operationalisierte, aber das Ablesen von Meerestiefe auf einem Interface eines in sich abgeschlossenen technischen Dings ermöglichte – ein „direkt anzeigendes Instrument“²⁷ also. Dies wurde mit einer dritten Apparatur Behms realisiert, die – wie schon die vorigen beiden Verfahren – ein Patent erhielt.²⁸

Auf Basis dieses dritten Patents konstruierten Behm und sein Team den „mechanischen Kurzzeitmesser“, der schließlich als „Behmplot“ in verschiedenen Typen käuflich erhältlich war und in der Schifffahrt Verwendung erfuhr (vgl. Abb. 17). Tiefenbestimmung war mit diesen Echoloten an ein medientechnisches Gefüge des Sendens, Empfangens, Registrierens und Anzeigens delegiert worden. Dadurch wurde das „subjektive Moment des menschlichen Abhörens“, wie bspw. in s.g. Ohrlotmethoden, medientechnisch umgangen bzw. zugunsten vermeintlich objektiver Methoden ersetzt, wie bereits 1925 von Seiten der Deutschen Seewarte angemerkt wurde.²⁹ Meerestiefe materialisierte sich nunmehr numerisch auf geeichten Anzeigeskalen von Echoloten. Das durch den durchschwungenen Raum begründete Delay akustischer Impulse wurde zum optischen Repräsentanten von Meerestiefe auf Messskalen. Nach dem impliziten Vorbild akustischer Verfahren der Detektion von Störungen in Postrohren (vgl. Kap. 3) oder der Entfernungsmessung auf dem Schlachtfeld (vgl. Kap. 4), war Delay zum produktiven, nämlich ozeanographischen, datengenerierenden Akteur avanciert. Submarine Schalllaufzeiten verwiesen nunmehr auf Raumgrößen und nautische Übertragungen erfuhren als adäquates Mittel gründlicher bzw. auf Grund stoßender Messungen Akzeptanz seitens ihrer Praktiker:innen.³⁰

26 Behm, Alexander (1928), „Die Entstehung des Echolots“, in: *Die Naturwissenschaften* 16(45-47), 962-969, 965.

27 Behm (1921): „Das Behm-Echolot“, 243.

28 Behm, Alexander (1920): „Kurzzeitmesser“, deutsches Patent Nr. 367,202, eingereicht am 01.06.1920, veröffentlicht am 18.01.1923.

29 Vgl. Höhler, Sabine (2002): „Dichte Beschreibungen“. Die Profilierung ozeanischer Tiefe im Lotverfahren von 1850 bis 1930“, in: David Gugerli/Barbara Orland (Hrsg.), *Ganz normale Bilder. Historische Beiträge zur visuellen Herstellung von Selbstverständlichkeit* (Interferenzen 2), Zürich, 19-46, 32.

30 Vgl. Schott, G. (1925): „Messung der Meerestiefen durch Echolot, Vortrag vor dem 21. Deutschen Geographentag zu Breslau“, in: *Verhandlungen des Deutschen Geographentages* 11, Berlin.

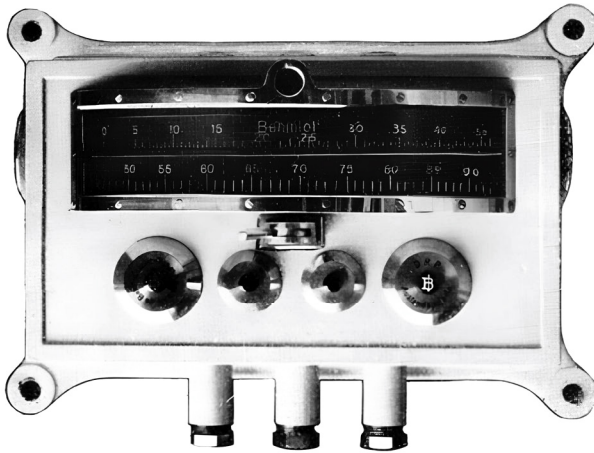


Abbildung 17: Das s.g. Behmlot Type I, Abbildung aus dem Jahr 1928.

Behm explizierte die praktische Ausgestaltung des Echolotens mit dem Kurzzeitmesser wie folgt:

„Will man nun eine Lotung vornehmen, so hat man den Druckknopf 1 am Anzeigeapparat niederzudrücken und ihn für die ganze Dauer der Lotung niedergedrückt zu halten. Durch Druck auf diesen Knopf 1 erscheint an einer beliebigen Stelle der Tiefenskala ein Lichtstrich. Sodann hat man für einen kurzen Augenblick den Knopf 2 niederzudrücken, so lange, bis dieser Lichtstrich auf den Nullpunkt der Skala zeigt. Darauf ist Knopf 2 loszulassen. Damit ist nun das Behm-Echolot in Lotbereitschaft gebracht und die Lotung kann jetzt jederzeit durch einen kurzen Druck auf den Knopf 3 erfolgen. Im gleichen Augenblicke, wo der Knopf niedergedrückt wird, zeigt ohne eine dem Auge wahrnehmbare Verzögerung der Apparat die gelotete Tiefe an. Damit ist die Lotung beendet und der Druckknopf 1 wieder loszulassen, wodurch die gesamte Anlage stromlos und außer Betrieb gesetzt wird.“³¹

Mit der Klanglichkeit der Lotung selbst brauchte sich das Subjekt nicht weiter beschäftigen. Tiefenbestimmung erfolgte auf Knopfdruck und Daten von Meerestiefen wurden direkt sichtbar. Ähnlich der akustischen Distanzmesser vier Jahrzehnte zuvor, die den Praxisvorteil der Entfernungsbestimmung ‚im Handumdrehen‘ materialisierten, war das Behm-Echolot als gestaltetes Ding damit durchweg praktisch. Die Praktikabilität des schlichten Knopfdrucks zur Tiefenbestimmung machte die Arbeit und die zuvor etablierten langwierigen Körpertechniken der *Drahtlotung* obsolet. Tiefenmessung war nicht länger an direkte Messungen per Lotdraht

31 Behm (1921): „Das Behm-Echolot“, 244-245.

gekoppelt, sondern durch eine medientechnische Apparatur der hydroakustischen Übertragung automatisiert worden.

Spärliche Daten der Drahtlotungen

Interessant wird die vorige, auf den ersten Blick wenig brisant anmutende, für die damalige Praxis aber typische Beschreibung des Echolotens, wenn man sie dem Vorgang des Lotens *ohne* Echolot kontrastiv gegenüberstellt. Die Handhabung von Echoloten war „eine derart einfache“,³² wie es mühsame und langwierige Drahtlotungen, vor allem in großen Tiefen, nie waren. Noch 1907 wurde im *Handbuch der Ozeanographie* Lotungen attestiert, zunächst eines zu sein: „eine zeitraubende und damit kostspielige Sache“.³³ Die Praxis der Lotung von der Antike bis zur beginnenden Moderne sah grundsätzlich eines vor: jede Menge Lotdraht oder zumindest eine Schnur und ein Sinkgewicht. Zudem waren Tiefenlotungen genuin an menschliche, körperliche Arbeit gekoppelt. Als Referenz für die Formatierung der hydrographischen Praxis zur Zeit kurz vor der experimentellen Erprobung von Echoloten, d.h. vor der Einführung von Delay als Akteur, gilt mir im Folgenden das Werk *The Depths of the Ocean* – ein Standardwerk der Meeresforschung, das gebündelt den Wissensstand der Zeit referierte.³⁴

Bereits einleitend wird in diesem explizit, dass Lotungen seit der Antike „by hand with a plummet, always in shallow water near land“ vorgenommen worden waren, „but attempts have not been wanting to sound the ocean without the aid of a line.“³⁵ Insgesamt erwies sich die Ozeanographie ihrerzeit als eine buchstäblich oberflächliche Wissenschaft. Wellen, Winde, Ströme, Tiden und die Oberflächentemperaturen der Meere waren seit Jahrhunderten gemessen sowie tabellarisiert worden und zählten zum empirischen Wissen von Navigierenden. Das Problem der Datenerhebung über die Tiefen der Weltmeere bestand hingegen in ihrer Unzugänglichkeit: Sie entzogen sich dem direkten Zugriff. Entsprechend schrieben die Autoren des Buchs, es galt gemeinhin als

„impossible to observe directly what is going on beneath the surface, and it is necessary to have a special set of apparatus that can be relied upon. The methods have developed with

32 Ebd.

33 Krümmel (1907): *Handbuch der Ozeanographie. Band 1*, 82.

34 Murray, John/Hjort, Johan (1912): *The Depths of the Ocean. A General Account of the Modern Science of Oceanography based largely on the Scientific Researches of the Norwegian Steamer Michael Sars*, London.

35 Ebd., 2.

phenomenal rapidity, but the observations are still few in proportion to the extent of the ocean, and consequently it is often difficult to obtain a complete and true image of the actual condition. Many of the results obtained are therefore merely preliminary, and further study may alter our views on various points (...).“³⁶

Seekarten, die Meerestiefen verzeichneten, waren dementsprechend auf eine spärliche Datengrundlage verwiesen. Dies zeigt programmatisch die Karte des US-amerikanischen Hydrographen Matthew Maury von 1854, die als erste bathymetrische Karte des Nordatlantiks gilt.³⁷ Konturlinien vermuteter ozeanischer Tiefen waren in dieser in Abstufungen von 1000, 2000, 3000 und 4000 Fathoms – zu deutsch: nautischen Faden – kartiert. Interessant ist die Karte weniger aufgrund der verzeichneten angenommenen Tiefenverhältnisse des Nordatlantiks, sondern aus Datenperspektive, da die wenigen ihrerzeit durchgeführten Tiefenlotungen ebenso kartographisch dargestellt wurden: Es waren derart wenige, dass sie numerisch in eine den gesamten Bereich des Nordatlantiks umfassende Karte eingetragen werden konnten. Diese Tiefendaten wurden ihrerzeit mit einer *Brooke Sounding Machine* erhoben, die das Tiefenloten erleichterte, insofern sich das (schwere und teure) Lotgewicht automatisch von der Lotleine entkoppelte, sobald auf Grund gestoßen war. Das Gewicht konnte damit zwar für zukünftige Lotungen nicht mehr gebraucht werden, brauchte aber nach der Lotung nicht wieder langwierig zur Wasseroberfläche gezogen werden.

Systematische Untersuchungen der tieferen und entlegenen Regionen der Weltmeere begannen mit der britischen Expedition auf dem Forschungsschiff *Challenger* zwischen 1872 und 1876, um die vornehmlich mit Imaginationen aufgeladene Tiefsee wissenschaftlich zu ergründen. Während der dreieinhalbjährigen Forschungsreise wurden Tiefseelotungen durchgeführt: rund 400 Einzellotungen, was in Anbetracht der georäumlichen Ausmaße des derart singularär ausgeloteten Bereichs verschwindend gering erscheint. Die verwendete mehrere kilometerlange Lotleine erwies sich in der Lotpraxis selbst als kritischer und datenverfälschender Faktor. Strömungen beugten diese oder es entkoppelte sich das Lotgewicht aufgrund der Schwere der Leine nicht automatisch, weshalb sich Lotdraht weiter abrollte. Mit ihren 3000 Fathoms Länge (ca. fünfeinhalb Kilometer) hatte die Leine im Wasser ein Gewicht von über 100 kg, mit Lotgewichten von bis zu 200 kg.

Zudem produzierten die einzelnen mit mehreren Stunden Zeitaufwand betriebenen Tiefsee-Drahtlotungen keine geographischen Wahrheiten, da sich Ozeanböden wissenschaftlich noch nicht konsolidiert hatten. In der Tiefsee als *terra*

36 Ebd., 210.

37 Ebd., 8.

incognita existierten keine Referenzmessungen, die erhobene Daten entweder bestätigten oder entkräfteten. Ob eine Lotung erfolgreich war, ließ sich nicht mit Gewissheit sagen und ein sehr unwahrscheinlicher geloteter Tiefenwert konnte nur zwei Extreme bedeuten. Was Friedrich Kittler zum nachrichtentechnischen Signal-Rausch-Abstand nach Claude Shannon schrieb, lässt sich auf die Situation der Drahtlotung beziehen: „Daß das Maximum an Information nichts anderes besagt als höchste Unwahrscheinlichkeit, macht es aber vom Maximum an Störung kaum mehr unterscheidbar.“³⁸ In der Praxis der Drahtlotung bedeutete dies, dass ein unwahrscheinlicher Lotwert entweder fehlerhaft war oder, im Gegenteil, hoch informativ, da er einen Tiefenwert darstellte, der nicht erwartet wurde. Diese technische Situation der ozeanographischen Praxis mit ihren ökologisch induzierten Mittelbarkeits- und spezifischen Unsichtbarkeitsproblemen fassten die Autoren von *The Depth of the Ocean* treffend zusammen:

„It has often been said that studying the depths of the sea is like hovering in a balloon high above an unknown land which is hidden by clouds, for it is a peculiarity of oceanic research that direct observations of the abyss are impracticable. Instead of the complete picture which vision gives, we have to rely upon a patiently put together mosaic representation of the discoveries made from time to time by sinking instruments and appliances into the deep, and bringing to the surface material for examination and study. Our difficulties are greatly increased by the fact that it is impossible to watch our apparatus at work.“³⁹

Aufgrund der praktischen Probleme betrug die Zahl sämtlicher international ‚from time to time‘ akquirierter Tiefseelotungen (Tiefen über 1000 Fathoms) zum Zeitpunkt der Publikation des Buchs 5969: 2500 davon im Atlantik, 2466 im Pazifik und 1003 im Indischen Ozean. Von den 5969 Tiefenlotungen fanden 2516 in Tiefen zwischen 1000 und 2000 Fathoms statt, 2962 in Tiefen zwischen 2000 und 3000 Fathoms, 491 in Tiefen über 3000 Fathoms, davon 46 in Tiefen über 4000 Fathoms und lediglich 4 über 5000 Fathoms – die tiefste davon mit 5269 Fathoms, d.h. 9636 Metern.⁴⁰ Eine bildliche Repräsentation ozeanischer Tiefe auf Basis dieser spärlichen Daten – eine im Zitat genannte ‚mosaic representation‘ – durfte dementsprechend allenfalls als Inszenierung von Vermutungen gelten. Zum einen wurden die einzelnen Tiefenlotungen in Profilzeichnungen schlicht direkt miteinander verbunden und Meeresböden damit künstlich ‚auf Linie‘ gebracht. Zudem

38 Kittler, Friedrich A. (1988): „Signal-Rausch-Abstand“, in: Hans Ulrich Gumbrecht/Karl Ludwig Pfeiffer (Hrsg.), *Materialität der Kommunikation*, Frankfurt a.M., 342-359, 344.

39 Murray/Hjort (1912): *The Depths of the Ocean*, 22.

40 Ebd., 131.

wurden die Bilder konsequent manipuliert, damit überhaupt etwas gesehen werden konnte, wie in *The Depth of the Ocean* betont und dem diagrammatischen Regime der Tiefenbilder eine notwendige Überhöhung der Daten bescheinigt wurde:

„When several series of observations have been taken in a certain region, they are usually represented for diagrammatic purposes in horizontal plans and vertical sections. It is necessary, in order to be able to see anything in the sections, to exaggerate the scale of depth in comparison with the scale of horizontal distance.“⁴¹

Die Autoren Murray und Hjort illustrierten dies an einer Abbildung der Tiefe des Atlantiks zwischen Portugal und den USA entlang der Azoren. Da die Tiefen des Atlantiks im Vergleich zu seiner horizontalen Größe relativ gering seien, war die Illustration 500-fach überhöht worden. Diese Form der systematischen Verfälschung von Geodaten durch ihre diagrammatische Bildpraxis bringe den Meeresgrund für Betrachtende erst hervor: „Drawing the depth on a larger scale brings out the details of the relief of the ocean-bed“,⁴²

Die derart entstandenen Profilbilder konnten aufgrund ihrer spärlichen Datengrundlage nicht mit dem Anspruch auftreten, georäumliche Gegebenheiten authentisch zu reproduzieren. Die daraus resultierende Vagheit um die Beschaffenheit von Tiefseeböden aufgrund der singulären Draht- und Bleilotungen war bereits an anderer Stelle kritisch geworden. An medienkultureller Relevanz gewann erdkundliches Wissen um die Tiefenstrukturen von Ozeanböden zum Anfang des hier untersuchten Zeitrahmens: in den 50er Jahren des 19. Jahrhunderts. Im Sommer des Jahres 1858 wurde das erste transatlantische Telegrafenkabel verlegt, das sich nach wenigen Wochen im Betrieb als dysfunktional erwies. Als großes – und gescheitertes – Infrastrukturprojekt machte die Verlegung des Kabels, aber auch seine spätere Kontroverse deutlich, dass Wissen um etwaige submarine Klippen und Schluchten für eine transatlantische Kabelverlegung zwar essenziell, aber nicht vorhanden war. Nachhaltig erfolgreich war das erste Transatlantikkabel daher nicht als Leiter elektrischer Ströme, sondern aufgrund seines Scheiterns: als Initiator mit „Experimentalcharakter für die Klärung offener Fragen“,⁴³ welcher die Entstehung der Ozeanographie maßgeblich beschleunigte. Denn hydrographisches Wissen fußte auf divergierenden oder falschen Annahmen. Die zum damaligen Zeitpunkt bestehende Ungewissheit um ozeanimmanente Tiefenstrukturen

41 Ebd., 212-213.

42 Ebd., 213.

43 Holtorf, Christian (2013): *Der erste Draht zur neuen Welt. Die Verlegung des transatlantischen Telegrafenkabels*, Göttingen, 13.

lässt sich am s.g. Telegraphischen Plateau belegen: Ein Plateau, das es nicht gibt. Vermutet wurde es zwischen Neufundland und Irland u.a. vom bereits erwähnten Matthew Maury in einem Brief an die US Navy im Februar 1854, was für die spätere Kabelverlegung maßgeblich – und fatal – werden sollte:

„[T]he bottom of the sea between the two places is a plateau, which seems to have been placed there especially for the purpose of holding the wires of a submarine telegraph (...). It is neither too deep nor too shallow; yet it is so deep that the wires, but once laid, will remain forever beyond the reach of vessels' anchors, icebergs, and drifts of any kind; and so shallow that the wires may be readily lodged upon the bottom. The depth of this plateau is quite regular, gradually increasing from the shores of Newfoundland to the depth of from 1500 to 2000 fathoms, as you approach the other side.“⁴⁴

Maury war Autor des umfassenden Buchs *The Physical Geography of the Sea*,⁴⁵ das seinerzeit als maßgebliche Referenz zum Thema und als *das* Grundlagenwerk der sich jüngst konsolidierenden Hydrographie galt. In mehreren Auflagen des Buchs berichtete Maury vom vermeintlichen Plateau, weshalb das kontrafaktische Wissen breit zirkulierte und als wahr rezipiert worden war. So hieß es im Buch: „There is at the bottom of this sea, between Cape Race in Newfoundland and Cape Clear in Ireland, a remarkable steppe, which is already known as the telegraphic plateau.“⁴⁶ Ganz gleich, was die Gründe für die Behauptung des Plateaus waren: Der Mythos der Tiefseesteppe war initiiert und steht weniger für den Ozeanboden selbst, als emblematisch für das mangelnde Wissen um diesen um circa 1850.

Im Gegensatz zu den material- und zeitintensiven sowie mitunter kostspieligen Draht- und Bleilotungen verkürzte das Echolot die Dauer einer Tiefseelotung erheblich. Es brachte das Loten auf die Geschwindigkeit von Unterwasserschall. Dauerte eine Tiefsee-Drahtlotung vormals bis zu drei oder vier Stunden, brachte ungenaue oder keine Daten an die Oberfläche und ging meist mit dem Verlust eines Lotgewichts einher, waren die Vorteile der Zeitökonomie des Echolots offensichtlich. Es erleichterte die Praxis des Lotens maßgeblich. Während einer Lotung musste vormals die Position des Schiffes fortwährend bestimmt und diese Positionsdaten mussten in Logbücher eingetragen werden, um Gewissheit darüber zu haben, *wo* eine gewisse Tiefe gelotet wurde. Das potenzierte Komplikationen bei

44 Matthew Maury zit. n. Turnbull, L. (1854): „Observations on a Telegraph Line between Europe and America“, in: *Journal of the Franklin Institute of the State of Pennsylvania, Third Series* 28, 58-62, 58.

45 Maury, Matthew (1855): *The Physical Geography of the Sea. Second Edition, Enlarged and Improved*, New York.

46 Ebd., 210.

mitunter stundenlangen Drahtlotungen. Dahingegen war pro Echolotung nur eine singuläre Positionsbestimmung notwendig.

Das Echolot verkürzte zudem nicht nur die Lotzeit, sondern reduzierte körperliche Arbeit. So hieß es in zeitgenössischer Berichterstattung über die Bedienung des Echolots schlicht: „Man drückt auf zwei Knöpfe, und der Zeiger gibt sofort die unter dem Schiffskiel befindliche Wassertiefe genau an“.⁴⁷ Dieser Aspekt des Echolots hatte einen weiteren und zunächst unscheinbaren Vorteil, wie Behm darlegte: „In der Bedienung erfordert das Behm-Echolot keinerlei körperliche Arbeit und braucht sich der Lotende nicht dem Einfluß der Witterung auszusetzen.“⁴⁸ Rezentere Medientechnologien der Entfernungsmessungen und Selbstverortungen sind dadurch gekennzeichnet, dass sie selten nach körperlicher Arbeit, sondern spezifischen Medienkompetenzen verlangen. Bereits in der Praxis des Echolots deutet sich eine Entwicklung an, die von einer Loslösung der Messenden von körperlicher Arbeit gekennzeichnet war und – noch entscheidender – Messende tendenziell ebenso von der Umwelt entkoppelte, die es zu bestimmen galt. Schließlich brauchte man sich nicht mehr dem ‚Einfluß der Witterung‘ auszusetzen, wie Behm es formulierte. Die auf Delays basierenden akustischen Entfernungsmessungen fanden im zu vermessenden Environment statt, die daraus resultierenden Daten wurden an anderer Stelle rezipiert, so Behm: „Die Aufstellung dieses Registrierapparates kann an beliebiger Stelle [auf einem Schiff] erfolgen.“⁴⁹

Die Echolottypen auf Basis des dritten Patents von Alexander Behm hatten sich ganz nach den Bedürfnissen ihres Feldes gerichtet. Sie waren leicht bedienbare technische Apparaturen, die vom Schiffspersonal ohne Vorkenntnisse genutzt werden konnten „und nicht etwa an sich schon ein kleines wissenschaftliches Laboratorium darstellte[n] mit dem zugehörigen wissenschaftlich geschulten Personal.“⁵⁰ Ebenso realisierten sie sensitive Empfangsanlagen, welche selbst schwache Echos als solche zu identifizieren erlaubten. Zudem generierten sie Daten auch in etwaigen Krisensituation der maritimen Praxis valide – wie schwerer Seegang –, was insbesondere in eben jenen Krisen essenziell war, „weil bei stürmischer See häufig die Existenz des Schiffes und das Leben der Besatzung von Lotungen abhängig werden können.“⁵¹ Als handliche, leicht bedienbare, robuste und grundlegend praktische Konstruktionen konnten Echolote schließlich kontrollierte Um-

47 Brennecke, W. (1921): „Ausblicke für die Verwendung des Behm Echolots“, in: *Annalen der Hydrographie und maritimen Meteorologie* 49(8), 363-364, 363.

48 Behm (1921): „Das Behm-Echolot“, 246.

49 Ebd., 247.

50 Behm (1928), „Die Entstehung des Echolots“, 962.

51 Ebd.

felder verlassen und auf Reisen zur Vermessung der Welt beitragen. Bzw. wäre es im Sinne der Akteur-Netzwerk-Theorie möglich, es genau anders herum zu sehen: Weil man sich aufgrund des eingangs geschilderten Experiments sicher sein konnte, dass sich Unterwasserschall in jedem Ozean so verhielt wie in Behms Goldfisch-aquarium, brauchten Echolote nicht kontrollierte Umgebungen verlassen. Vielmehr konnte sich das Labor auf die Meere der Welt ausdehnen.⁵²

Echolote auf Reisen: die *Meteor*-Expedition

Echolote erwiesen sich in der Praxis der 1920er Jahre als preiswerter als Drahtlotungen; sie produzierten Messwerte zeitökonomischer; sie waren leicht zu bedienen; und sie erprobten sich als weniger stör anfällig durch meteorologische Bedingungen. Echolote hatten ihren Mehrwert bewiesen. Meerestiefe als Funktion akustischer Delays zu bestimmen, war ein Verfahren, dessen praktische Vorteile sich deutlich konturierten: mitunter in den Tiefseekarten und transatlantischen Profildarstellungen, die in Folge der *Deutschen Atlantischen Expedition* erstellt wurden. Als renommiertes Großprojekt angelegt, war bereits vor der Expedition klar, dass Echolote als die neuesten Prestigeobjekte der maritimen Praxis mitgeführt werden sollten, um nicht als „rückständig“⁵³ zu gelten. Daher lohnt im Folgenden ein Exkurs zur Echolotungs- und Datenpraxis auf dem Forschungsschiff *Meteor* und seiner akustischen Vermessung von Unterwasserumgebungen, die bis dato etablierte Weltbilder aufgrund einer Qualität und Quantität echolotisch erzeugter Daten zu supplementieren oder gar zu revidieren erlaubte.

Die Fahrt des Forschungs- und Vermessungsschiffs *Meteor* während der *Deutschen Atlantischen Expedition* fand an 525 See- und 264 Hafentagen auf einer Strecke von 67.500 Seemeilen zwischen 1925 und 1927 hauptsächlich im Südatlantik statt. In deren Nachgang wurden u.a. 14 Tiefenprofile des Atlantischen Ozeans auf Basis der rund 67.400 durchgeführten Lotungen erstellt. Das zentrale Ziel der Expedition – die Erstellung jener Tiefenprofile – war dabei in mehrfacher Weise grundlegend. Strategisch war die Vermessung des südatlantischen Tiefseebodens gründlich gewählt und auf einen Mehrwert jenseits rein zoologischer oder biologisch-hydrographischer Forschung angelegt. Die Öffentlichkeit konnte von der Forschungsreise buchstäblich ins Bild gesetzt werden, um so die Expedition nicht nur forschungspolitisch, sondern auch gesellschaftlich zu legitimieren. Damit war die Voraussetzung gegeben, jenseits elitärer Zirkel die Allgemeinheit am Zweck der Reise partizipieren zu lassen. Die Tiefenvermessung der Ozeane – im

52 Ich danke Max Kanderske für diesen Gedanken.

53 von Recum (1926): „Die akustischen Tiefseelote“, 19.

Gegensatz zur Entnahme von Bodenproben etc. – erlaubte es, Bilder zu produzieren, die in wissenschaftlichen, aber auch populären Zeitschriften abgedruckt werden konnten. Vorigen ozeanographischen Expeditionen wie bspw. der Planktonexpedition unter Victor Hensen im Jahr 1889, die erstmals die Verteilung von Plankton im Atlantik qualitativ und quantitativ bestimmte, war die Möglichkeit der übersichtlichen und populären Inszenierung meist verwehrt. Bereits dem ersten auf Basis echolotischer Daten in den USA entstandenen Atlantikprofil aus dem Jahr 1922 wurde dahingegen in zeitgenössischen Publikationen große Aufmerksamkeit zuteil⁵⁴ – dabei stellten allein 210 Echolotungen die Datengrundlage des circa 3.050 Seemeilen abbildenden Profilbildes zwischen Newport und Gibraltar dar. Wie es einer der Lotbeauftragten der *Meteor*-Expedition, Theodor Stocks, formulierte: „In der Tat ist ein derart graphisch verarbeitetes umfangreiches Zahlenmaterial sehr dazu geeignet, auf den ersten Blick die Großformen des durchfahrenen Meeresraums erkennen zu lassen.“⁵⁵ Zudem versprach die Kartierung vormals unbekannter Gebiete, den Atlantikgrund zu konturieren und zu konsolidieren sowie seine Vertikalgliederung zu sondieren: gemäß hydrographischer Tiefendaten, aber auch im populären Imaginären über Profilbilder, die die internen Grenzen der ‚Blue Box‘ Südatlantik zeigten. Und nicht zuletzt wohnte jener Kartierung ein nicht zu unterschätzendes Maß an politischer Brisanz inne, schließlich sollte die *Meteor*-Expedition in historiographischer Perspektive als hegemoniales und imperiales Großprojekt interpretiert werden.

Glichen Lotungen auf vorigen hydrographischen Forschungsreisen „stichprobenartige[n] Untersuchungen“,⁵⁶ machte es sich die Expedition dezidiert zur Aufgabe, mit Echoloten als den neuesten technischen Medien der Hydrographie eine vormals ungeahnte Datenquantität zu erreichen. Im Gegensatz zu vorigen Expeditionen fehlte es der *Meteor*-Expedition damit an „sensationellen Ereignissen“ und „interessanten Tiefseefängen“, denn es handelte sich vornehmlich um „andauerndes, nüchternes Sammeln“ von „Zahlenmaterial“.⁵⁷ Der Begriff ‚andauernd‘ sollte hier buchstäblich verstanden werden. Anstatt singulär und sporadisch zu loten,

54 Vgl. Anonym (1923): „Sound Waves Probe the Blackest Ocean Depths 5000 Fathoms Under the Sea. How U.S. Destroyers Chart Atlantic Floor“, in: *Popular Science Monthly* 102(5), vom 4. Mai, 64-65.

55 Stocks, Theodor (1933): „Erläuterungen zu den morphologischen Profilen“, in: Maurer: *Wissenschaftliche Ergebnisse Band II: Die Echolotungen*, 301.

56 Spieß, Fritz (1932): *Wissenschaftliche Ergebnisse der deutschen Atlantischen Expedition auf dem Forschungs- und Vermessungsschiff „Meteor“ 1925-1927, Band I, Das Forschungsschiff und seine Reise*, Berlin/Leipzig, 5.

57 Spieß, Fritz (1927): „Bericht über die Expedition“, in: *Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin* 7/8, 344-358, 349.

wurde während der Fahrt der *Meteor* im Vergleich zu vorigen Expeditionen quasi-kontinuierlich die Tiefe sondiert. Dies zeigen kartographische Repräsentationen numerischer Lotwerte, hier am Fallbeispiel der *Meteor*-Route in der Nähe der süd-atlantischen Bouvetinsel (vgl. Abb. 18).

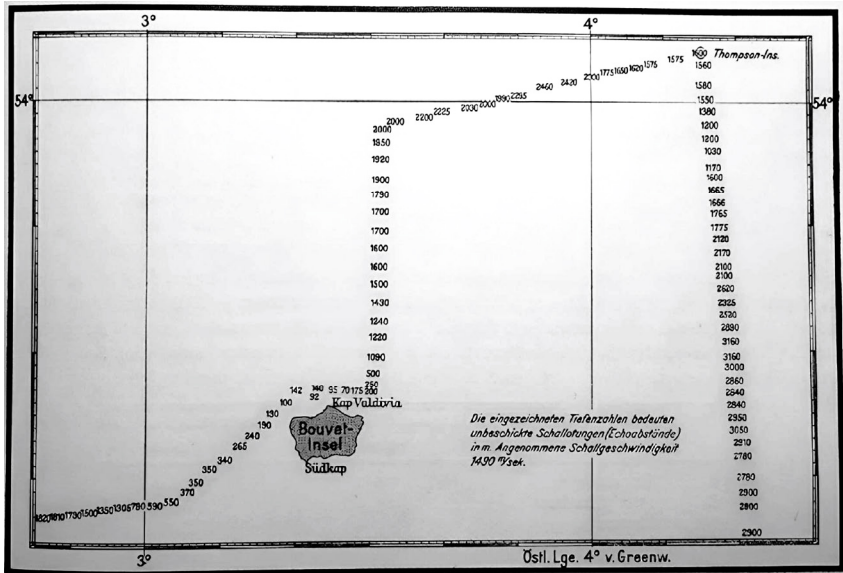


Abbildung 18: Eintragung echolotischer Tiefendaten entlang der Fahrtroute des Forschungsschiffes *Meteor* am Beispiel des Gebiets um die südatlantische Bouvetinsel.

Diese ‚Datenpfade‘, die dem Schiffskurs entsprachen, bewahrheiteten, was dem Echolot bereits 1921 als Vision entgegengebracht worden war:

„Die mühevollen Auslotung der Küstengewässer längs bestimmter Linien durch einzelne Würfe mittels des Handlotes kann fast ganz in Fortfall kommen. Das Vermessungsschiff dampft in Zukunft diese Linien unter stetiger Benutzung des Behm-Echolots ab, die einzelnen Lotungen unmittelbar in die Arbeitskarte eintragend.“⁵⁸

In den Worten des Lotbeauftragten Theodor Stocks begründeten Echolotungen einen neuen Abschnitt in der Erforschung der Meeresböden, der sich durch eine

58 Brennecke (1921): „Ausblicke für die Verwendung des Behm Echolots“, 363. Allerdings wurden die Tiefenlotungen während der *Meteor*-Fahrt vornehmlich mit anderen Echoloten vorgenommen als dem Behm-LOT: Dem Atlas- und Signallot, benannt nach den sie fabrizierenden Kieler Firmen „Atlas-Werke“ und „Signal-Gesellschaft“.

neue Datenquantität auszeichnete. Entlang von Fahrtrouten konnte nunmehr tendenziell kontinuierlich tiefengelotet werden. Gemäß der Bewegung eines mit Echoloten ausgestatteten Schiffs erzeugte bzw. hinterließ dieses ‚Datenspuren‘ auf Papier. Es ergaben sich symmetrisch zu Fahrtrouten Datenrouten, aus welchen im Nachgang Tiefenkarten erstellt werden konnten. Waren Profile des Atlantiks bis dato auf singuläre Lotungen verwiesen und wurden diese Lotwerte in ihrer historischen Bildpraxis diagrammatisch geradlinig miteinander verbunden – unter Ausblendung etwaiger Steigungen oder Gefällen –, hatten echolotisch erzeugte Profilbilder den Anspruch einer dokumentarischen Repräsentation von Natur. Diese zeigte die „viel stärkere Unruhe des Bodenreliefs“,⁵⁹ als die künstlich ‚auf Linie‘ gebrachten Profilkarten zuvor, bedingt durch die „gewaltige Zeitersparnis“⁶⁰ der Echolotungen im Vergleich zu Draht- und Bleilotungen. Wenn für Bruno Latour Speicherpraktiken auf Papier aufgrund der Möglichkeit ihrer Zirkulation mündlichen Überlieferungen überlegen und zentrales Charakteristikum von „immutable mobiles“ sind, wird hier die „Mobilität der Spuren“⁶¹ kartographisch ebenso offensichtlich wie die ‚Datenspuren der Mobilität‘ im prädigitalen Zeitalter.

Dass Echolotungen nicht allein numerische Werte produzierten, sondern diese Daten im historischen Verständnis bereits Gegebenheiten repräsentierten – wie es die Etymologie des Datenbegriffs verspricht –, war ein Novum in der ozeanographischen Praxis. Bis dato war die Validität vermeintlicher Tiefenwerte auf eine Zukunft verwiesen. Lotungen brachten keine Fakten hervor, sondern machten prospektiv weitere Lotungen erforderlich, um aufgrund ihres vagen Status vorige Messungen zu validieren oder zu revidieren. Numerische Werte materieller Lotungen fügten sich erst durch nachgelagerte kooperative Datenpraktiken zu Informationen: Die sich in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts etablierende Praxis der Isobathenkarte verlangte es von Meeresforschenden, ihre auf den Meeren gesammelten Messwerte an Land kollaborativ zu vergleichen und zu komplementieren, nämlich neugewonnene Lotwerte von Tiefseeexpeditionen in Isobathenkarten einzutragen. Kooperatives Ziel war nicht allein, die ‚Datentiefe‘ der Karten zu erhöhen, sondern zuvorderst, bereits existierende Werte als wahrscheinlich oder abwegig zu evaluieren. Der naturdokumentarische Anspruch der immer im provisorischen Status befindlichen Karten trat hinter die Dokumentation ihrer zugrunde-

59 Stocks, Theodor (1936): „Die Fortschritte in der Erforschung des Atlantischen Ozeans 1854-1934“, in: *Geographische Zeitschrift* 42(5), 161-181, 169.

60 Maurer (1933): *Wissenschaftliche Ergebnisse Band II: Die Echolotungen*, 1.

61 Latour, Bruno (2006): „Drawing Things Together. Die Macht der unveränderlich mobilen Elemente“, in: Andréa Belliger/David J. Krieger (Hrsg.), *Anthology. Ein einführendes Handbuch zur Akteur-Netzwerk-Theorie*, Bielefeld, 259-307, 275.

liegenden Datenpraxis – die Generierung, Kompilierung, Validierung oder Revidierung von Messwerten – zurück.

Unter den Bedingungen von Echoloten galt als hinreichendes Kriterium für Datenvalidität das Funktionieren technischer Apparate. Zum Vermerk gültiger Tiefendatenerhebung wurde in den „Lotungsberichten“ der *Meteor*-Expedition die Bescheinigung der Funktionstüchtigkeit der mitgeführten technischen Objekte: „Signal- und Atlaslot haben wieder gut gearbeitet.“⁶² In damaliger Rhetorik verrichtete also an Bord nicht allein die menschliche Besatzung Arbeit. Zudem taten dies hydroakustische Medien, deren semi-automatisierten Messungen grundsätzlich geglaubt wurde. Musste Drahtlotungen attestiert werden, ob es sich bei ihnen tatsächlich um eine Grundberührung, mithin eine erfolgreiche Messung handelte, galt das Tiefendatum des Echolots als unhintergebar und war entsprechend akzeptiert als symbolischer Wert der Meerestiefe. Sabine Höhler geht davon aus, dass die auf dieser Grundlage konstruierten Tiefenbilder gerade durch ihre Datendichte an „Glaubwürdigkeit“⁶³ gewannen, da Visualisierungen nun mit dem Anspruch auftreten konnten, tatsächliches Dokument des Tiefseebodens statt vage Vermutung aufgrund singulärer Drahtlotungen zu sein. Die vehemente Vermessung der Tiefen der Meere während der *Deutschen Atlantischen Expedition* nennt Höhler in Anlehnung an das gleichnamige Konzept des Anthropologen Clifford Geertz eine „Dichte Beschreibung“.⁶⁴ In diesem Sinne kann die Konsolidierung des Meeresbodens als Datenproblem gedeutet werden. In Anlehnung an den Begriff des *data double* ließe sich sagen, der Meeresboden wurde von der vagen Hypothese zum validen Konstrukt, seitdem er eine echolotisch produzierte, hinreichende Datenquantität besaß, die einen qualitativen Wechsel evozierte. Damit änderte sich das Verhältnis von Karte und Territorium. Verstanden sich vorige Karten von Meerestiefen eher als Kartierungen singulärer Lotwerte, verfolgten die kartenproduzierenden Akteure nunmehr ein Ideal des ‚die Karte *ist* das Territorium‘,⁶⁵ denn sie brachten den Tiefenraum durch das Bild hervor.

Die *Meteor*- oder die erwähnte britische *Challenger*-Expedition in den 1870er Jahren fanden nicht im luftleeren Raum des rein ozeanographischen Interesses statt. Sie hatten dezidiert politische oder gar nationalistische Intentionen. Den sie

62 Notgemeinschaft der Deutschen Wissenschaft (1926) (Hrsg.): „Aus den Lotungsberichten des Kommandos“, in: *Die Deutsche Atlantische Expedition auf dem Vermessungs- und Forschungsschiff „Meteor“ Band II*, Berlin (Sonderabdruck aus *Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin* 5/6), 273-274, 273.

63 Höhler (2002): „Dichte Beschreibungen“, 21.

64 Ebd.

65 Vgl. hierzu Siegert, Bernhard (2011): „The Map is the Territory“, in: *Radical Philosophy* 169(5), 13-16.

finanzierenden Nationen galten sie als eine Geste des Nach- und Beweises der eigenen Fortschrittlichkeit, als Demonstration der vermeintlich technischen Überlegenheit und Insignien einer globalen Machtstellung. In diesem Sinne galt die *Meteor*-Expedition als Projekt der „Notgemeinschaft der Deutschen Wissenschaften“, insbesondere nach dem von Deutschland verlorenen Ersten Weltkrieg, als renommiertes staatliches Prestigeprojekt. Diese Rhetorik der „Not“ verwies auf eine als ungerechtfertigt empfundene politische und kollektiv prekäre Situation. Die *Meteor*-Expedition sollte dem gekränkten Nationalstolz mit einem ideologisch aufgeladenen Prestigeprojekt begegnen: Das Vorhaben sollte der deutschen Wissenschaft wieder zu internationaler Sichtbarkeit verhelfen (buchstäblich, man denke an die anzufertigenden Karten), waren deutsche Wissenschaftler:innen doch aus internationalen wissenschaftlichen Gemeinschaften bis in die Mitte der 1920er Jahre ausgeschlossen gewesen. Diese staatspolitische Agenda der Forschungsreise wurde offen kommuniziert: „Die politischen Absichten, welche die Admiralität mit der Forschungsreise verknüpfte, bezweckten, in möglichst vielen Häfen des Auslandes die Flagge wieder zu zeigen. Dies geschah am zweckmäßigsten auf einer Forschungsreise um die ganze Welt.“⁶⁶ Als ehemaliges, zum Forschungs- und Vermessungsschiff umgebautes Kriegsschiff durfte die *Meteor* auf den Weltmeeren sichtbar verkehren, wie es den Booten der Flotte der deutschen Marine verboten war. Ebenso attestierte Sabine Höhler der Expedition, dass sie „den deutschen Beitrag zur Meeres- und Tiefseeforschung als Teil der Geschichte imperialer Expansion seit der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts aktualisieren“⁶⁷ sollte. Die „Notgemeinschaft der Deutschen Wissenschaft“ als eine von zwei Vorgängerorganisationen der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) verfügte über ausreichende finanzielle Mittel von Staat und Industrie,⁶⁸ ein solch prestigeträchtig angelegtes Großprojekt zu realisieren.

Die Datenakquise mit den neuesten epistemischen Dingen der ozeanographischen Praxis war also technikideologisch gehaltvoll. Galt das Echolot aufgrund von Alexander Behms Grundlagenforschung ohnehin als eine ‚deutsche Erfindung‘ – zumindest in Deutschland –, schien es naheliegend, mit Echoloten die Vermessung der Welt im Rahmen eines deutschen Prestigeprojekts voranzutreiben; wenn auch nur bedingt mit Behmloten, da diese nur für geringere Wassertiefen bis etwa 750

66 Spieß (1932): *Wissenschaftliche Ergebnisse Band I*, 5.

67 Höhler, Sabine (2002): „Profilgewinn. Karten der Atlantischen Expedition (1925-1927) der Notgemeinschaft der Deutschen Wissenschaft“, in: *NTM Zeitschrift für Geschichte der Wissenschaften, Technik und Medizin* 10(4), 234-246, 239.

68 Vgl. Nipperdey, Thomas/Schmugge, Ludwig (1970): *50 Jahre Forschungsförderung in Deutschland: Ein Abriß der Geschichte der Deutschen Forschungsgemeinschaft, 1920-1970*, Berlin/Bonn.

m geeignet waren, sondern mit s.g. Atlasloten, Freiloten und Signalloten. Der Profilgewinn war dadurch ein zweifacher: Durch die transatlantischen Profile traten nicht nur überhöhte Querschnitte des Atlantiks bildlich hervor, sondern profilierte – und überhöhte – sich Deutschland als Wissenschaftsnation.⁶⁹ Es ließe sich mithin sagen, Echolote wurden bereits mit ihrer Marktreife in den Dienst staatlicher Belange gestellt. Den vermeintlich politikfernen Medien wurde in einem Raum, der frei von staatlichen Grenzen ist (Weltmeere), eine dezidiert politische Dringlichkeit zuteil.

Während der Expedition wurden an rund 30.000 Orten, mit einer durchschnittlichen Entfernung von 3 bis 4 km zueinander, etwa 67.400 Tiefseelotungen durchgeführt. Damit hatte sich der von der *Meteor* überfahrene Tiefenraum submarin konsolidiert: Statt auf vage Daten verwiesen zu sein, ergab sich ein Bild des Unterwasserraums, für dessen Authentizität das Echolot als solides und ‚objektives‘ Messmedium bürgte. Blei- und Drahtlotungen brachten zuvor Messdaten an die Oberfläche, die kollaborativ ein erstes Bild ergaben und den submarinen Boden inszenierten, dessen tatsächlicher Kongruenz zum Georaum man sich aber nicht gewiss sein durfte. Galt es vormals, die Validität von Repräsentationen des Tiefseebodens auszuloten, waren die qua Echolot erhobenen Tiefendaten bereits als Dokumente seitens der *scientific community* akzeptiert. Die Vermessung von Unterwasserwelten qua Delay kam als maritime Wahrheitsprozedur der Produktion von Fakten gleich, die nicht weiter validiert werden brauchten – so zumindest in den öffentlichen Präsentationen der Ozean-Expedition.

Diese Form der echolotisch induzierten und kartographisch repräsentierten ‚Bodenreform‘ stellte das Weltbild des Südatlantiks um 1930 dar. Die Echolotungen ergaben ein verfeinertes, aber auch ein revidierendes Bild des Südatlantiks im Vergleich zu vorigen Profilbildern. So verglich Fritz Spieß, seit August 1925 Gesamtleiter der Expedition, eines auf Basis von 2.485 Echo- und 16 Drahtlotungen erstelltes transatlantisches Profil der *Meteor* mit dem vermeintlichen Profil derselben Fahrtroute, wie es sich auf Basis der bis dato lediglich 15 existierenden Drahtlotungen als auch punktiert nach vorhandener Isobathenkarten darstellte (vgl. Abb. 19). „Wir bemerken“, so fügte Spieß an, „einen gewaltigen Unterschied in der topographischen Darstellung und ein sehr viel komplizierteres Bodenrelief, als bisher angenommen wurde.“⁷⁰ Insbesondere kennzeichne das neue Profil seine topographische Revision früherer Profilbilder bspw. hinsichtlich der „Rhine Bank“, die – so Spieß – „nicht gefunden wurde und wahrscheinlich nicht existiert“.⁷¹ Über

69 Vgl. Höhler (2002): „Profilgewinn“, 241.

70 Spieß (1927): „Bericht über die Expedition“, 351.

71 Ebd., 352.

die wahrscheinliche Existenz geologischer Strukturen entschied nun eine echolotische Datenpraxis.

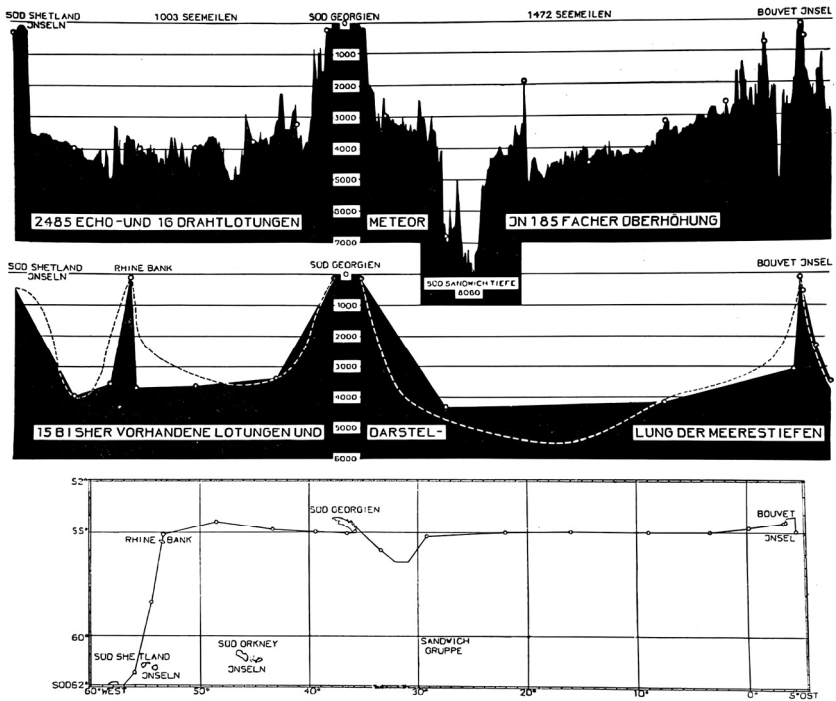


Abbildung 19: Die qua Echolot induzierte Revision voriger Weltbilder am Beispiel eines Profilsbilds des Südatlantiks. Oben: auf Basis der Daten der *Meteor*-Expedition; darunter: auf Basis der lediglich 15 vorhandenen Lotungen derselben Route zuvor; unten: die koordinatengereue Darstellung der Route.

Echolotische Datenpraktiken

An dieser Stelle muss eine datenpraxeologische Perspektive ein Veto in Bezug auf die pauschalisierende Narrativierung von Echoloten als Beschleunigerinnen der Tiefenmessung einlegen. Mitnichten maßen Echolote die Tiefe des Meeres, sondern – worauf das Eingangszitat dieses Kapitels bereits verwies – ein spezifisches Delay. Diese Zeit- konnte mathematisch nicht schlicht in eine Raumdifferenz übersetzt werden. Die vertikale Verdattung des Ozeans qua Echolot während der Expedition darf mithin nicht als automatisierte Zeitmessung simplifiziert werden. Vielmehr galt es, die ökologische und thermische Bedingung und Situiertheit der Messpraxis zu berücksichtigen. Eine datenpraxeologische Sicht muss die divergenten

Schallgeschwindigkeiten buchstäblich in Rechnung stellen. Diese erforderten nach der Ablösung körperlicher Arbeit bei Drahtlotungen nunmehr echolotische Praktiken rechnerischer Arbeit, die erst durch eine historisch-praxeologisch inspirierte Nachverfolgung sichtbar wird. Dabei wird sich zeigen, dass das Tiefenloten an hydroakustische Medien delegiert worden war, dies aber nicht den Wegfall von Lotarbeit für menschliche Akteure bedeutete. Vielmehr prägten sich Formen echolot-spezifischer Praxis aus.

Die Selbstdokumentation der Besatzung der *Meteor* während der Expedition gibt Einblick in diese mathematischen Datenpraktiken. Die Expedition generierte eine Masse an Daten und Repräsentationen des ozeanischen Raums: Neben den durchgeführten Tiefseelotungen wurden Bodenproben entnommen, Temperaturen und Strömungsverläufe von Wind und Wasser sowie der Salz- und Sauerstoffgehalt verschiedener Tiefenschichten untersucht. Dabei wurde nicht allein der Atlantik, sondern auch die Expedition selbst akribisch aus der Intention heraus dokumentiert, die eigene wissenschaftliche Exaktheit zu repräsentieren. In insgesamt 16 umfassenden, von der Notgemeinschaft der Deutschen Wissenschaft herausgegebenen Bänden wurde umfangreich über die Expedition berichtet.

Wie bereits mehrfach dargelegt, ist die Verzögerung in der Übertragung eines akustischen Impulses zwischen einem Sender auf einem Schiff, dem Meeresboden und einem Empfänger auf demselben Schiff durch den Raum selbst begründet. Das Delay ist Index des solcherart akustisch durchschwungenen Raums. Allerdings ist die Geschwindigkeit submarinen Schalls keine Konstante, sondern eine von der Umwelt abhängige Variable. In der Lotpraxis auf dem Forschungsschiff *Meteor* wurden daher kleinere Meerestiefen (unter 1.000 m) in 50- bzw. 100 m-Schichten, größere Meerestiefen in Schichten zu 200 Faden (366 m) unterteilt und für jede Schicht Temperatur und Salzgehalt aus entnommenen Proben gemittelt, um die „Raumgeschwindigkeit“ des Schalls auf Basis aller „Schichtgeschwindigkeiten“⁷² gemäß existierender Tabellen zu bestimmen. Anders als beim späteren Radar, erforderte es die medienökologische Bedingung von Sonar und Echolot, zunächst Daten des Environments zu akkumulieren. Es galt, die Schallgeschwindigkeiten und mithin Zeit-Raum-Regime von Hydroakustik zu berechnen, bevor das Messen von Delay als Parameter des durchschwungenen Raums gelten durfte. Damit schrieb sich Natur prospektiv in nachgelagerte Messungen ein: Es ergab sich die Situation, Natur zunächst noch genauer verdaten zu müssen, als dies zuvor praktiziert wurde, um auf dieser Datenbasis Meerestiefen sonisch zu bestimmen. Um-

72 Maurer (1933): *Wissenschaftliche Ergebnisse Band II: Die Echolotungen*, 26.

welten mussten in diesem Sinne also zunächst geomedial konditioniert werden,⁷³ bevor ihre weitere Verdattung nunmehr echolotisch erfolgen konnte.

Datenpraktiken fanden mithin in vorgelagerten Datenpraktiken ihre Bedingung, womit ein rekursives Prinzip animiert wird, wie es für Operationsketten als solche gelten darf.⁷⁴ Der tatsächliche praktische Nutzen von Daten der ozeanographischen Praxis beruhte folglich nicht auf singulären Messungen, sondern verlangte nach Datenassemblagen, um weitere Daten mit diesen zu korrelieren. Daten traten als mindestnotwendige Kollektive auf: Erst eine Datenquantität – eine bereits existierende Datenbank – erlaubte in der hydrographischen Praxis eine Datenqualität. Oder anders formuliert galt es, bevor Meeresböden als Profile bildlich werden konnten, das Meer in ein hinreichend exaktes Datenmeer zu übersetzen. Dies deckt sich mit dem für die Mediengeographie bedeutenden Befund von Christian Holtorf im selben ökologischen Raum, dass das erste transatlantische Kabel Zeit und Raum nicht überwand, sondern, im Gegenteil, problematisierte.⁷⁵ Ganz in diesem Sinne ließe sich aussagen, dass Echolote den Unterwasserraum nicht überwand, sondern kritisch werden ließen, da es zunächst galt, das physikalische Trägermedium von Unterwasserschall akribisch zu verdateten. Oder in den Worten von Hans Maurer, einem Zuständigen für die Echolotungen während der *Meteor*-Expedition:

„[Es] ist ersichtlich, daß man für die ozeanographische Auswertung von Echolotungen nicht eine einheitliche Tiefentabelle der Schallgeschwindigkeit in der Art benutzen kann, daß man für jede Ausgangsschallgeschwindigkeit der obersten Schicht eine bestimmte Tiefentabelle vorsieht. Vielmehr muß eine geographische Einteilung Platz greifen.“⁷⁶

Mit dem Begriff der ‚geographischen Einteilung‘ stellte Maurer die situierte Heterogenität der Eigenschaften von Meerwasser in Rechnung. Diese Übertragungscharakteristika zu verdateten, stellte die Bedingung für die Verdattung von Ozeantiefen dar. Echolotische Tiefenbestimmungen wurden damit erst auf Basis *voriger*

73 Vgl. Thielmann, Tristan (2022): „Environmental Conditioning: Mobile Geomedia and their Lines of Becoming in the Air, on Land, and on Water“, in: *New Media & Society* 24(11), 2438-2467.

74 Vgl. Schüttpelz, Erhard (2006): „Die medienanthropologische Kehre der Kulturtechniken“, in: *Archiv für Mediengeschichte* 6, 87-110. Als kritischer Kommentar hierzu vgl. Heilmann, Till A. (2016): „Zur Vorgängigkeit der Operationskette in der Medienwissenschaft und bei Leroi-Gourhan“, in: *Internationales Jahrbuch für Medienphilosophie* 2(1), 7-30.

75 Holtorf (2013): *Der erste Draht zur neuen Welt*, insb. 145.

76 Maurer (1933): *Wissenschaftliche Ergebnisse Band II: Die Echolotungen*, 42.

Messungen sinnfällig, um Meerestiefen, wenn zwar nicht „mit Genauigkeit im absoluten Wert“⁷⁷ zu repräsentieren, so doch zumindest im wahrscheinlichen. Hinsichtlich dieser vorgelagerten Verdattung von Umwelten konnte sich die Expedition zur Ermittlung von ‚Raumgeschwindigkeiten‘ des Schalls auf bereits existierende Tabellarisierungen stützen: bspw. die „Tables of the Velocity of Sound in Pure Water and Sea Water for Use in Echo-Sounding and Sound Ranging“ des Hydrographic Department der britischen Admiralität von 1927 oder andere ihrerzeit einschlägige Werke,⁷⁸ die bei der Anfertigung der Profilbilder im Nachgang der Expedition veröffentlicht wurden. Bei diesen Tabellarisierungen von Delays handelte es sich in diesem Sinne um kooperativ verfertigte Kooperationsbedingungen der *Meteor*-Expedition.

Vor diesem Hintergrund sind im Kontext der *Meteor*-Expedition Visualisierungen von Interesse, die gerade nicht bereinigte und für die öffentliche Berichterstattung vorzeigbare Ergebnisse zeigten – die transatlantischen Profile –, sondern die Tabellarisierungen von Natur, die im zweiten Band der Forschungsdokumentation der Expedition zu finden sind. Interessant ist in diesem Zusammenhang die dortige, nach dem Vorbild von Isobathenkarten erstellte kartographische Darstellung der südatlantischen Delayverhältnisse, die als Grundlage der Echoortungen diente. Auch diese Karte stellte allerdings das Produkt einer Vielzahl von Messreihen dar, welche zuvor tabellarisch festgehalten worden waren.⁷⁹

Interessant aus datenpraxeologischer Perspektive ist zudem, dass sich die vermeintlichen Tiefenmessungen nicht als tatsächliche Meerestiefen verstanden. Nicht der Ozeanboden als für Menschen unbetretbares Terrain galt als entscheidende Referenz für die Korrektheit der Messungen, sondern die *Validität der Daten*. Wie es Maurer formulierte: „Da die wahren Tiefen nicht bekannt sind, ist es schwierig, ein Urteil über die Genauigkeit der Lotungen zu fällen.“⁸⁰ Wissenschaftliche Untersuchungen gelten gemeinhin als ‚valide‘, wenn sie messen, was sie zu messen vorgeben. Ob eine echolotische Tiefenmessung im historischen Kontext als gesichert galt, d.h. valide Daten lieferte, war entsprechend der Mittelbarkeit von Messungen Ergebnis eines Aushandlungsprozesses. Zunächst war es Anliegen der Expedition, die mitgeführten Messmedien selbst im Praxistest zu vermessen. Dazu wurde eine bereits bekannte Tiefe erneut materiell ausgelotet und anschließend

77 Ebd., 32.

78 Bspw. Service, Jerry H. (1928): „The Transmission of Sound through Sea Water“, in: *Journal of the Franklin Institute* 206(6), 779-807.

79 Maurer (1933): *Wissenschaftliche Ergebnisse Band II: Die Echolotungen*, Beilage II: „Karte der Linien gleicher Ortsschallgeschwindigkeit“.

80 Ebd., 50.

mit den verschiedenen mitgeführten Echoloten vermessen. Dadurch wurde die Messabweichung zwischen den Echoloten untereinander bekannt und auf eine Formel gebracht. Reduziert wurde die Vagheit um die Validität produzierter Daten allein an Positionen, wo mit *unterschiedlichen* zur Verfügung stehenden Lotverfahren die vermeintlich *selbe* Tiefe gemessen wurde – nämlich mit Echo- und Drahtloten sowie mit den mitgeführten Tiefsee-Thermometern. So konnte die Wahrscheinlichkeit eines gemittelten Näherungswertes der Meerestiefe erhöht und die relativen Fehler jeder einzelnen Lotmethode gegeneinander aufgerechnet werden. Dadurch wurde – in der Formulierung Maurers – eine „[e]ndgültige Verbesserung der Tiefen“⁸¹ vorgenommen. Damit war nicht die tatsächliche *Tiefe des Meeres*, sondern die Qualität der produzierten *Tiefendaten* gemeint. Derart wurden die Ungewissheiten der Messtechnik auf prozentual-numerische Werte gebracht, um den inhärenten Ungewissheitsspielraum der erhobenen Daten zu konkretisieren. Es ergab sich als „Unsicherheit einer Echolotung“ $\pm 0,72\%$ der Tiefe.⁸² Gilt medientechnisch funktionale Kommunikation seit Claude Shannon als erfolgreiche Arbeit an der Störung, so war Kennzeichen erfolgreicher Tiefenmessung die mathematische Formalisierung des Ungewissheitsspielraums der Datenvalidität.

Erst eine präzise Tabellarisierung von Natur – nämlich die Angabe der Salz-, Druck- und Temperatureigenschaften bestimmter Tiefenschichten – stellte die Datenbasis für nachgelagerte Echolotungen dar. Das Echolot prägte demgemäß spezifische Formen mathematischer Arbeit aus, weshalb die Annahme einer Delegation der Tiefen- als Zeitmessung an technische Objekte verkürzend wäre. Damit ging zudem eine zeitliche Verschiebung lotender Arbeit einher. Die Echolotungen der *Meteor*-Expedition mögen im Unterschied zu den mitunter stundenlangen Tiefenlotungen per Draht in Sekundenschnelle durchgeführt worden sein. Dafür machten sie langwierige nachträgliche Berechnungen zur Fehlerminimierung sowie Referenzierungen notwendig, um aus den in Tabellen notierten Zahlenreihen zu hinreichend validen Datenmengen zu gelangen. Diese Rechenarbeit konnte nur bedingt mit der Schnelligkeit der Echolotungen mithalten, auch, wenn diese während der Fahrt ‚nur‘ alle 20 Minuten durchgeführt worden waren. Bereits bei der Ankunft der Besatzung der *Meteor*-Expedition in Berlin 1927 wurde das notwendige prospektive Prozessierungsfenster für die erhobenen Messwerte konkretisiert: „Das Beobachtungsmaterial wird eine Bearbeitungsdauer beanspruchen, die sich auf mindestens fünf Jahre berechnen lässt.“⁸³ Die avisierte Verarbeitung sämtlicher

81 Ebd., 59.

82 Ebd., 62.

83 Defant, A. (1927): „Über die wissenschaftlichen Aufgaben und Ergebnisse der Expedition“, in: *Die Deutsche Atlantische Expedition auf dem Vermessungs- und Forschungsschiff*

akquirierter Daten umfasste also etwa den doppelten Zeitraum der Expedition selbst. Die Produktion submariner Weltbilder war dementsprechend keine Angelegenheit der Datenprozessierung in Echtzeit.

Interessant ist die Akribie in der Tiefsee-Datenakquise und nachträglichen Datenverarbeitung, da die um etwa 1850 einsetzenden Tiefseelotungen – abgesehen vom genannten Fall submariner Kabelverlegungen – auf kein kulturelles, soziales, gesellschaftliches usw. Problem antworteten. Ebenso verschob Matthew Maury die Frage nach ihrem Zweck – „What is to be the use of these deep-sea soundings?“ is a question that often occurs“ – auf einen ihrerzeit ungewissen, womöglich zukünftigen Nutzen: „we do not know what practical bearings they may have“.⁸⁴ Legitimiert wurden die Tiefseelotungen, neben politischen Verwertungen, durch ihre Praxis. Diese Form der Verdattung von Umwelten ist modern, da Daten zunächst um ihrer selbst Willen produziert, gespeichert, archiviert, verglichen, validiert und revidiert wurden, um Fragen zu formulieren, die ohne diese Daten selbst gar nicht hätten gestellt werden können. Die Auseinandersetzung um die Frage nach dem vermeintlichen Telegraphischen Plateau mag dies fallbeispielhaft illustrieren.

Die Wirklichkeit von Meerestiefen bemaß sich nicht am Meeresboden, da sich die „Wahrheit der technischen Welt“⁸⁵ an der Validität von Daten bemisst. In diesem Sinne war für Tiefseedaten ihre messtechnischen Validierung oder Revision kritisch – und d.h. weitere Datenpraktiken. Die erhobenen Daten und ihre Visualisierungen verwiesen nicht auf ein Vorbild im Georaum, sondern brachten diesen erst als Bild bzw. gar als Imagination hervor, und referenzierten wiederum andere Daten. Daten und ihre Praktiken forderten die konsequente Wiederholung und Fortführung immer feinerer Skalierungen geradezu heraus, denn erst die „Akku-mulation von Messungen liess das ozeanische Volumen dicht werden“:⁸⁶ Als(o) eine Dichte Beschreibung.

Die in diesem Kapitel vorgenommene Fokussierung auf die Akquise von Tiefseedaten mit ersten hydroakustischen Sensormedien darf nicht darüber hinweg-täuschen, dass es für Echolote diesseits der Bestimmung weiter Distanzen eine buchstäblich unmittelbare Verwendung in der Praxis gab. Namentlich waren dies die praktischen Zwecke der sicheren Navigation zur Vermeidung von Strandun-

„Meteor“, Festsitzung zur Begrüssung der Expedition am 24. Juni 1927, Sonderabdruck aus der Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin (7/8), 359-369, 369.

84 Maury (1855): *The Physical Geography of the Sea*, 209.

85 Kittler, Friedrich (2013): *Die Wahrheit der technischen Welt: Essays zur Genealogie der Gegenwart*, hrsg. v. Hans Ulrich Gumbrecht, Berlin.

86 Höhler (2002): „Dichte Beschreibungen“, 40.

gen. Behm selbst äußerte bereits, dass mit der „Vermessung der Weltmeere (...) der praktischen Schifffahrt noch nicht gedient“⁸⁷ war. Auch an anderer Stelle wurde der Praxiswert atlantischer Bodenprofile grundlegend bezweifelt, war es in der navigatorischen Praxis ‚dem Seemann‘ doch „gleichgültig, ob er über 5000 m oder 500 m Wassertiefe dahinfuhr.“⁸⁸ So sei, wie der Autor weiter ausführte, ein transatlantisches Profilbild zweifelsohne von großem Interesse für Erdbebenforschende, Geolog:innen und Ozeanograph:innen. Für Navigierende erwiesen sich die mitunter historisch divergenten Profilierungen ozeanischer Tiefe hingegen als buchstäblich gleich-gültig: Denn für Zwecke der Navigation hatten sie keine Relevanz inne.⁸⁹ Praxiswichtig für die Personen- und Güterlogistik wurden Meerestiefen allenfalls in Ufernähe, wo ein Mangel an Distanz zwischen Schiff und Meeresgrund mitunter existenzielle Folgen nach sich ziehen konnte.

Dies unterschied die ozeanographischen, mithin wissenschaftlich intendierten Tiefenbestimmungen von den Lotungen, die für praktische Belange ausreichend waren. Der praktische Nutzen von Echoloten geringer Tiefen, wie es das Behm lot war, war offensichtlich, da Schiffe immer wieder im Nebel oder aufgrund von starkem Regen oder anderweitig schlechten Sichtverhältnissen strandeten. Durch die Gewissheit der Wassertiefe unterhalb des Kiels konnte dies vermieden werden. Deshalb begannen sich akustische „Soundings as an Aid to Navigation“⁹⁰ mit dem Aufkommen von käuflich erhältlichen Echoloten seit der zweiten Hälfte der 1920er Jahre in der zivilen (Handels-)Schifffahrt zu etablieren, um Navigation im Nebel nicht zum Stillstand kommen zu lassen. Der Vorteil bei Lotungen in geringen Tiefen war zudem, dass keine langwierigen nachträglichen Berechnungen zur Berücksichtigung unterschiedlicher Schallgeschwindigkeiten angestellt werden mussten, sondern eine für die praktischen Belange der Navigation zumindest ausreichend akkurate Tiefenbestimmung erfolgte. Daran erinnerte die Submarine Signal Company (SSC) in Boston in einer Werbebroschüre für ihr Echolot: „The rate of travel of sound through water is, for all practical purposes, constant and the timing of its passage is a definite measure of the length of its path.“⁹¹ Auf den Echoloten, wie sie um 1930 käuflich erhältlich waren, konnte die gemessene Tiefe direkt abgelesen werden, wie bspw. auf der Skala des „Fathometers“, das in Deutsch-

87 Behm (1928), „Die Entstehung des Echolots“, 967.

88 Schubart, L. (1924): „Die Verwendung der Tiefseelotungen für die Navigation mit Hilfe des Echolots“, in: *Annalen der Hydrographie und maritimen Meteorologie* 52(4), 73-75, 73.

89 Ebd., 74.

90 Submarine Signal Company (1930): *The Submarine Signal Fathometer for Visual Echo Soundings*, Boston, MA., 8.

91 Ebd., 9.

land als „Atlaslot“ von der Firma Atlaswerke vermarktet wurde. Die Praxis entschied über die Güte des Mediums: Verlangten Echolote bei Tiefenmessungen nach Berücksichtigung der Wägbarkeiten ihrer ökologischen Situation, galt in der navigatorischen Praxis eine Konstanz der Unterwasserschallgeschwindigkeit.

Das Fathometer befreite die Praxis der Navigation von ihrer Angewiesenheit auf gute meteorologische Bedingungen, wie der Kapitän des Kabelschiffes *Cyrus Field* im Mai 1925 darlegte, als das Fathometer jüngst auf dem Schiff installiert wurde: „The distance covered in dense fog was 630 miles and the time taken was 62 hours. This was due entirely to the added confidence that the Fathometer gave me and never before have I proceeded in fog with such little anxiety.“⁹² Zudem bestand ein Vorteil des Fathometers darin, dass es Teil des Schiffs selbst war, ohne auf eine räumlich verteilte Infrastruktur angewiesen und in diese eingebettet zu sein: „The apparatus is a part of the ship and not dependent upon signals from other vessels or stations. So far as humanly possible the device is said to remove any probability of a vessel's stranding.“⁹³ Warum die mit dem Gerät gewonnene Autonomie in der Navigation und insbesondere die Praktikabilität bei Nebel betont wurde, erschließt sich aus der medienhistorischen Retrospektive heraus nur bedingt. Hierfür ist eine Klärung der nautischen Situation im historischen Kontext des Berichts notwendig, wie sie im folgenden Kapitel gegeben wird und die Konstruktion des ersten prototypischen Sonargeräts evozierte.

92 Ebd., 28.

93 Ebd., 23.

6. Sonar

Reginald Fessenden und das Meeres-Rauschen

„Signaling and detecting submarine sounds is a much more complicated matter than signaling and listening in air.“
– Reginald Fessenden, 1914¹

Unterwasserschallsignale

Reginald Fessendens langjährige, produktive und lukrative Verbindung zur Submarine Signal Company (SSC) mit Sitz in Boston ergab sich durch einen Zufall, wie sich seine Frau Helen erinnerte.² Im April des Jahres 1912 traf Harold Fay, ein Leiter der SSC, in der Bostoner South Station zufällig auf Fessenden. Aufgrund einer vorigen Begegnung kannten sie sich bereits flüchtig: Sieben Jahre zuvor, 1905, hatten sie sich in den Bell Laboratories, wiederum zufällig, getroffen, als Fessenden dort auf der Suche nach einem geeigneten Sender für seine ersten radiophonen Versuche war. Beim Warten auf ihre Züge fragte Fay Fessenden, ob er nicht Interesse habe, das Firmengelände der SSC zu besichtigen, „to see what we [the SSC] were doing.“³ Für Fessenden war dies mehr als eine Floskel und bereits am nächsten Morgen erschien er im Firmengebäude. „We all enjoyed his visit“, berichtete Fay vom Besuch im firmeninternen Magazin *Soundings*, „and instinctively felt his interest and enjoyment in delving into the new line of work presented by our submarine problem.“⁴

Bei einem reinen Höflichkeitsbesuch sollte es nicht bleiben. Im gleichen Monat, April 1912, wurde das von Fay erwähnte ‚submarine problem‘ virulent, als die

1 Zit. n. Fessenden, Helen (1940): *Fessenden. Builder of Tomorrows*, New York, 215-216.

2 Ebd., 214.

3 Zit. n. ebd.

4 Zit. n. ebd.

Titanic mit einem Eisberg unter Wasser kollidierte. Daraufhin beschäftigte sich Fessenden mit der Frage, ob es nicht eine Methode gäbe, derlei Schiffsunglücke in Zukunft zu vermeiden, Eisberge zu orten und die Schifffahrt sicherer zu gestalten. Die zufällige Einladung durch die SSC kam ihm gelegen, war diese doch *der* institutionelle Ort der Erforschung akustischer Unterwassermédien ihrerzeit: sie war die erste Firma, die sich systematisch auf die Entwicklung und Implementierung elektroakustischer Sender und Empfänger für die Bedingungen des fluiden Environments unter den Meeren spezialisiert hatte. Deshalb fanden dort die wesentlichen Pionierarbeiten statt, die experimentell klärten, wie Kommunikation medientechnisch zu formalisieren ist, wenn diese in flüssigen Umwelten stattfinden soll.

Bis um das Jahr 1900 war dies ein Novum, denn Kommunikation unter Wasser war medientechnisches Neuland. Dementsprechend beschäftigte sich die SSC mit Techniken zur medienökologischen Ausprägung eines Raums, der sich von den Räumen, in welchen Fessendens Forschungs- und Rundfunkarbeit bis dato stattfand, maßgeblich unterschied. Fessenden besaß – im Gegensatz zur SSC – zu diesem Zeitpunkt noch keinerlei hydroakustische Expertise. Diese war jedoch notwendig, um seine Überlegungen zur medientechnischen Sicherung des maritimen Transports zu vertiefen. Seitens der SSC wiederum schätzte man Fessendens elektrotechnisches Wissen: Als Pionier drahtloser Übertragungstechniken, die auch für die SSC zentral waren, hatte sich Fessenden bereits einen Namen gemacht. Die SSC verfügte zudem über die finanziellen und technischen Mittel, das Interesse Fessendens an der Elektrotechnisierung submariner Räume zu bedienen. Damit waren die idealen Voraussetzungen für eine Kooperation gegeben.

Das Problem, mit welchem sich die SSC konfrontiert sah, bestand in einer naturinduzierten Störung in der funktionalen Umgebung ihrer Kommunikationstechnik: Meeresrauschen. Mit diesem stetig vorhandenen Hintergrundrauschen erwies sich erfolgreiche Kommunikation unter Wasser ohne hinreichende Frequenzmanipulation und -filterung als defizitär. So verlangte – in Anlehnung an Claude Shannon – submarine „Communication in the Presence of Noise“⁵ nach adäquater Technik, die sich als medienökologisch konsequente Arbeit an der Störung verstanden wissen wollte. Kurz nach dem Besuch in ihrem Firmengebäude beauftragte die SSC Fessenden mit der Entwicklung technischen Equipments, das der Unterdrückung oder zumindest Reduzierung von Wassergeräuschen in hydroakustischen Sender-Empfänger-Anordnungen dienen sollte.

Wenig später präsentierte Fessenden der SSC sein neu konstruiertes, epistemisches Ding der maritimen Praxis: Ein Gerät, das später als „Fessenden-Oszilla-

5 Shannon, Claude E. (1949): „Communication in the Presence of Noise“, in: *Proceedings of the IRE* 37(1), 10-21.

tor“ Bekanntheit erlangte. Dieses sollte sich sowohl für Fessenden und die SSC als überaus lukrativ erweisen und die hydroakustische Kommunikation, wie sie die SSC global institutionalisierte, maßgeblich mitbestimmen. Allerdings durfte das Gerät nicht nur einen neuen Standard der hydroakustischen *Kommunikation* darstellen, sondern – und das ist für eine Mediengeschichte des Delays relevant – ihm war die potenzielle Möglichkeit der akustischen *Lokalisation* ebenso eingeschrieben. Nur wurde es zu diesem Zweck seitens der SSC zunächst weder vermarktet noch erprobt. Um zu verstehen, warum gerade das vermeintlich schlichte Anliegen der elektroakustischen Rauschunterdrückung einen technikepistemischen Kern der SSC ausmachte, ist ein Einbezug des fluiden Kontexts notwendig, in welchem die SSC praktisch und ökonomisch agierte. Die Bostoner SSC fungierte ihrerzeit als Initiatorin des historisch ersten submarinen Infrastrukturprojekts der Navigation, in dessen Praxis Rauschunterdrückung notwendig wurde. Daher wird im Folgenden ein produktiver Umweg beschritten, der den Fessenden-Oszillator als prototypisches Sonar (ein Akronym für *sound navigation and ranging*) nicht als Ausgangspunkt begreift, sondern zunächst die historischen Hintergründe der hydroakustischen Praxis skizziert.

Maritime Navigation fand in der Moderne ihre Limitierung in einem zunächst recht unscheinbaren atmosphärischen Phänomen: Nebel. Am 29. Mai 1914 kollidierte das schottische Transatlantik-Linienschiff *Empress of Ireland* nahe der Mündung des kanadischen St. Lawrence Rivers mit dem norwegischen Kohlschiff *Storstad*. Das Schiff sank binnen 14 Minuten und der Unfall kostete über 1.000 Menschen ihr Leben. Damit gilt das Unglück als schlimmste Schiffskatastrophe der kanadischen Geschichte. Der Grund für die Kollision war Nebel: Aufgrund schlechter Sichtverhältnisse war es den Kapitänen beider Schiffe nicht möglich, einander auszuweichen. Als ähnlich dramatisch und zahlenmäßig desaströser erwies sich das Stranden von Schiffen in Fällen von Nebel. Am 8. September 1923 bspw. fuhren neun Zerstörer der US Navy bei Honda Point vor der Küste des Santa Barbara County direkt in Felsen. Damit stellt das „Honda Point Disaster“ den größten Verlust an Schiffen der US Navy in Friedenszeiten dar. Die Flotte steuerte den Santa Barbara Channel an und bestimmte aufgrund eines starken Nebels die eigene Position qua Koppelnavigation. Fatalerweise erwies sich die Positionsbestimmung als fehlerhaft: Die errechnete Position des Konvois korrespondierte nicht mit seiner tatsächlichen Position im Georaum – ein Rechenfehler, der sich in der Kollision zu wissen gab. Ein drittes Beispiel aus dem geographischen Kontext derselben Küste: Rund 500km nördlich von Honda Point ankerte das US-amerikanische Passagierschiff *City of Rio de Janeiro* am 22. Februar 1901 vor dem Golden Gate. Ein Nebel war derart stark, dass die Einfahrt in die Bucht ohne optische Orientierung als zu gefährlich erachtet wurde. Über einen Monat zuvor hatte das Schiff den Hafen von

Hong Kong verlassen und war bereits drei Tage hinter dem avisierten Zeitplan. Nur fünf Meilen vom Zielort entfernt musste nun zusätzliche Verspätung erduldet werden, weshalb ein gewisses Risiko als akzeptabel galt. Als sich der Nebel lichte, wurde die Einfahrt in die Bucht gestartet – allerdings verstärkte sich der Nebel kurz darauf wieder. Das Schiff kollidierte vor Fort Point mit einem unterseeischen Felsen, kenterte und sank. Der Nebel war zu jenem Zeitpunkt derart stark, dass Passagiere, die schwimmen konnten, trotz der Nähe zum Ufer nicht wussten, wohin sie schwimmen sollten und ertranken. Die Diensthabenden auf der unweit entfernten Fort Point-Rettungsstation bemerkten aufgrund des Nebels von der Katastrophe nichts. Ohne Todesfolgen blieb dahingegen das Stranden des Dampfschiffs *Princess May* am 05. August 1910. Das Schiff lief im alaskischen Favorite Channel nahe Sentinel Island in einem dichten Nebel auf Felsen. Da das Schiff bei Niedrigwasser nahezu vollständig aus dem Wasser ragte, ging die *Princess May* ‚on the rocks‘ in der damaligen Tagespresse viral (vgl. Abb. 20).



Abbildung 20: Die *Princess May* nach ihrer Strandung bei gelichtetem Nebel.

Diese vier Beispiele mögen beliebig ausgewählt sein. Sie stehen aber programmatisch für Schiffs-katastrophen in Fällen der Destabilisierung optischer Wegfindung aufgrund von Nebel. Und sie eint, dass sie theoretisch vermeidbar gewesen wären – durch ein Ankern statt einer Weiterfahrt –, aber praktische Belange der Seefahrt

eine möglichst kontinuierliche Aufrechterhaltung von Fortbewegung erfordern. Und dies galt auch dann, wenn diese im Nebelfall mitunter existenzielle Risiken barg. Lloyd's Register of Shipping listete, dass allein während des Jahres 1926 schätzungsweise 25.000.000\$ Schaden aufgrund von Schiffsstrandungen entstanden; das United States Shipping Board Bureau of Research berichtete, dass 1927 insgesamt 1799 Schiffe gestrandet seien, 1928 noch 621; Statistiken der Liverpool Underwriters Association listeten für 1927 insgesamt 1805, für 1928 insgesamt 1663 und für 1929 insgesamt 1813 Schiffsstrandungen – die meisten davon aufgrund von Nebel.⁶ Als Gefahr der maritimen Navigation virulent wurde Nebel nicht erst Anfang des 20., sondern bereits im 19. Jahrhundert, als durch Fortschritte im Schiffsbau Schiffe größere Ausmaße annahmen und zudem schnellere Fahrtgeschwindigkeiten erreichten. So kam es bereits zwischen 1893 und 1902 aufgrund von Nebel international zur Strandung von annähernd 1.000 Schiffen mit einem Schaden von insgesamt über 57.000.000\$ und 530 Menschenleben.⁷

Auf den Weltmeeren navigiert wurde bereits in der Antike; etymologisch verdankt sich der Navigationsbegriff ohnehin dem ‚Führen eines Schiffes‘. Dabei wurde Schiffsnavigation per Sicht und die Markierung wichtiger Orte mit Befeuerungsanlagen, Leuchtschiffen oder Leuchtbojen ebenso seit der Antike praktiziert. Nebel stellte für diese eine inakzeptable Störung dar, da er etablierte navigatorische Praktiken unmöglich machte. Daher durfte die „Schiffsführung bei Nebel“ als eine der „schwierigsten Aufgaben der Schifffahrt“⁸ gelten und verlangte nach technischen Lösungen. Verstärkt im 19. Jahrhundert, evoziert durch die Expansion des Schiffsbaus, wurden akustische Signalgeber an kritischen Passagepunkten und Küsten installiert: Nebelglocken und später, ab der Mitte des 19. Jahrhunderts, Nebelhörner und -sirenen. Positioniert wurden sie meist an bestehenden Leuchttürmen, um maritime Wegfindung durch die zusätzliche Ausnutzung des auditiven Kanals für den Fall von schlechter Sicht sensorisch zu stabilisieren.⁹ Jedoch war es ausgerechnet wieder Nebel, der die Effektivität von Nebelglocken und -hörnern limitierte: Nebel beeinflusst die Ausbreitung von Schall, da er Klang reflektiert,

-
- 6 Vgl. Submarine Signal Company (1930): *The Submarine Signal Fathometer for Visual Echo Soundings*, Boston, MA., 7.
 - 7 Sawyer, F. L. (1914): „Submarine Signaling and a Proposed Method of Safe Navigation in Fog“, in: *Transactions of the Society of Naval Architects and Marine Engineers* 22, 115-128, 115.
 - 8 Lichte, Hugo (1920): „Entwicklung und heutiger Stand des Unterwasserschall-Signalwesens“, in: *Zentralblatt der Bauverwaltung mit Nachrichten der Reichs- und Staatsbehörden* 40(29), 249-253, 249.
 - 9 Zur Geschichte der Nebelsignalgebung in der Luft mit u.a. Nebelhörnern vgl. Allan, Jennifer Lucy (2021): *The Foghorn's Lament: The Disappearing Music of the Coast*, London.

beugt oder bricht, wodurch es unmöglich ist, den exakten Ort der Schallaussendung anzupeilen.

In England untersuchte prominent John Tyndall als wissenschaftlicher Berater der britischen Leuchtfeuerverwaltung Trinity House Formen akustischer Nebelsignale in den 1860er bis 1880er Jahren.¹⁰ In den USA war die Erforschung akustischer Signalgebung in der Luft bei Nebel eng an den Physiker Joseph Henry gebunden, der erste Sekretär der Smithsonian Institution und späterer Präsident der National Academy of Sciences sowie ab 1871 Vorsitzender des Lighthouse Board der USA.¹¹ Beide kamen übereinstimmend zum Schluss, dass sich Nebelsignalgebung in der Luft ausgerechnet in Fällen von Nebel als dysfunktional erwies. In der Praxis erzeugte Nebel kontraintuitive Höreindrücke, die wiederum fatale Folgen nach sich ziehen konnten, da zynischerweise Nebelsignale Strandungen provozierten. So berichtete bspw. der Kapitän des Schiffs *California*, dass am 28. Juni 1914 ein lediglich eine halbe Meile entferntes Nebelhorn nicht hörbar gewesen sei – und das Schiff daraufhin auf Tory Island in dichtem Nebel strandete. „There are many instances where ships have gone on the rocks within hearing distance of ordinary bell buoys and sirens, because of inability to hear the warning signal or to judge of the direction whence it came“,¹² konstatierte der Begründer des Boston Symphony Orchestra Henry L. Higginson. Für die navigatorische Praxis in Fällen von Nebel galt daher für akustische Nebelsignale in der Luft Folgendes:

„The Mariner should not assume:

- (a) That because he fails to hear the sound he is out of hearing distance.
- (b) That, because he hears a fog-signal faintly, he is at a great distance from it.
- (c) That because he hears the sound plainly he is near it.
- (d) That, because he does not hear it, even when in close proximity, the fog-signal has ceased sounding.
- (e) That the distance from and the intensity of the sound on any one occasion, are a guide to him for any future occasion.“¹³

10 Tyndall, John (1878): „Recent Experiments on Fog-Signals“, in: *Proceedings of the Royal Society of London* 27, 245-258; oder Tyndall, John (1874): „On the Atmosphere as a Vehicle of Sound“, in: *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* 164, 183-244.

11 Henry, Joseph (1886): *Researches in Sound, in Relation to Fog-Signalling. Scientific Writings of Joseph Henry Vol. 1*, hrsg. v. Smithsonian Institution, Washington D.C., 370-510; oder Henry, Joseph (1879): *A Summery of Researches in Sound: Conducted in the Service of the United States Light-House Board During the Years 1865 to 1877*, Washington, D.C.

12 Higginson, Henry L. (1914): „The Art and Practice of Submarine Signaling“, in: *The North American Review* 200(706), 418-421, 420.

13 Joly, John (1918): „Scientific Signalling and Safety at Sea“, in: *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science Series* 6(36), 1-36, 2.

Akustische Nebelsignale in der Luft wurden also ausgerechnet durch eben jene „atmosphärische[n] Störungen“¹⁴ negativ beeinflusst, denen sie Abhilfe schaffen sollten: Sie „versagen häufig gerade dann, wenn sie am notwendigsten gebraucht werden.“¹⁵ Nebel erwies sich für die Seefahrt als eine letzte natürliche Gefahr, die schwerlich technisch überwunden werden konnte, wie ihr zum Anfang des 20. Jahrhunderts bescheinigt wurde:

„Bit by bit the dangers which beset the early navigators have been overcome. The chart told him the best course to take from one point to another. The mariner's compass enabled him to maintain his course when the stars were blotted out by clouds. With sextant and chronometer he located his position, with log and soundings he guarded himself when a sight could not be obtained. More recently wireless telegraphy has enabled him to call assistance in time of danger. But with all this, many dangers remain. The more important of these are due to fog.“¹⁶

Die Unzuverlässigkeit von Luft als Übertragungsmedium von Nebelwarnsignalen verschob das Erkenntnisinteresse zum Ende des 19. Jahrhunderts auf einen bis dato vernachlässigten Signalkanal maritimer Navigation – das buchstäbliche Trägermedium der Seefahrt: Wasser. Auch auf deutscher Seite kam man 1895 nach experimentellen Studien zu dem Ergebnis, dass „die absolute Unzulänglichkeit und Unzuverlässigkeit jeder Art der Signalisierung mittels Schalles in der Luft im weitesten Umfange bestätigt“ sei und durch die Restriktionen der Schallübertragung in der Luft man sich „auf das Wasser als ein weit geeigneteres schallvermittelndes Medium“¹⁷ zu spezialisieren habe. Seit den Messungen der Schallgeschwindigkeit in Wasser von Jean-Daniel Colladon und Charles Sturm am Genfersee 1826 war die gute Leitfähigkeit von Wasser für auditive Signale bekannt. Damit präsentierte sich Wasser als ideale Instanz bzw. ‚agency‘ akustischer Übertragungen, wie man 1910 attestierte: „Water is a less mobile medium than air, less responsive to marked variations of density arising through changes in temperature and pressure, and, therefore less subject to variations of homogeneity and more reliable as

14 Hahnemann, W. (1920). „Die Unterwasserschalltechnik“, in: *Jahrbuch der Schiffbautechnischen Gesellschaft*, Berlin/Heidelberg, 281-317, 281.

15 BArch R/4701/8934.

16 Blake, R. F. (1916): „Submarine Signaling – The Protection of Shipping by a Wall of Sound and Other Uses of the Submarine Telegraph Oscillator“, in: *Annual Report of the Board of Regents of the Smithsonian Institution 1915*, 203-213, 203.

17 Peck, F. (1907): „Unterwasser-Schallsignale, ihre historische Entwicklung, ihre Fortschritte und ihr gegenwärtiger Stand“, in: *Annalen der Hydrographie und Maritimen Meteorologie* 35, 9-17, 9.

an agency of the transmission of sound waves.“¹⁸ Oder in den Worten der eingangs erwähnten SSC: „Water is (...) a far better medium for transmitting sounds than is air.“¹⁹ Damit war seit den Experimenten von Sturm und Colladon ein Wissen um die gute Leifähigkeit von Schall im Wasser angelegt, dessen technische Operationalisierung zunächst ausblieb. Es existierte mithin ein theoretisches Wissen der Physik, das zunächst seiner praktischen Verwendung harrrte, wie es bereits im historischen Kontext, 1920, expliziert wurde: „Die Eigenschaft des Wassers, den Schall gut fortzuleiten, ist erst am Anfang unseres Jahrhunderts für praktische Zwecke, und zwar für die Schifffahrt, nutzbar gemacht worden.“²⁰ Wasser geriet als Übertragungsmedium akustischer Signale Ende des 19. Jahrhunderts in den epistemischen Fokus von Ingenieur:innen – zuvorderst bei der SSC.

Für den Ozean als um 1900 neu entdeckten Signalraum galt es den Akteuren der SSC, zunächst geeignete Sender und Empfänger zu entwickeln, bevor es zur „navigatorischen Ausbildung dieses Signalmittels“,²¹ gemeint war Unterwasserschall, kommen konnte. Als Sender für „Unterwasserschallsignale“ – wie sie im historischen Kontext genannt wurden – erwiesen sich Unterwasserglocken als geeignet. Allerdings sind Navigierende selten unter Wasser und selbst wenn, funktioniert unter Wasser das binaurale Hören nicht, wodurch navigatorische Unterwasserschallsignale ihr entscheidendes Moment verlieren. Schließlich galt es mit Unterwasserschall die Orte seiner Aussendung – die Positionen von Unterwasserglocken – akustisch zu detektieren, um auf akustischer Basis Wegfindung zu praktizieren. Was es zu implementieren galt, war, in einer Paraphrase von Frieder Nake, ein technisches „Interface“, das „Subface“ – der fluide Raum des Meeres, in welchem akustische Signale zirkulierten – und „Surface“ – die Meeresoberfläche, auf welchem ein *human operator* navigierte – verschaltete.²² Elisha Gray entwickelte hierzu mit dem Unterwasserakustiker Arthur Mundy ein Format auditorischer Schiffsnavigation, für das sie 1899 das Patent „Transmission of Sound“ erhielten. Dieses nobilitierte das Wasser der Ozeane – und nicht etwa Kabel – zum nunmehr fluiden Kanal, den es zu durchschwingen galt (vgl. Abb. 21).

18 Hopkins, Albert A. (1910) (Hrsg.), *The Scientific American Handbook of Travel*, New York, 210.

19 Submarine Signal Company (1930): *The Submarine Signal Fathometer*, 9.

20 Lübcke, E. (1920): „Über das Hören unter Wasser“, in: *Die Naturwissenschaften* 6, v. 6. Februar, 117-118, 117.

21 Peck (1907): „Unterwasser-Schallsignale“, 10.

22 Nake, Frieder (2008): „Surface, Interface, Subface. Three Cases of Interaction and One Concept“, in: Uwe Seifert/Jin Hyun Kim/Anthony Moore (Hrsg.), *Paradoxes of Interactivity. Perspectives for Media Theory, Human-Computer Interaction, and Artistic Investigations*, Bielefeld, 92-109.

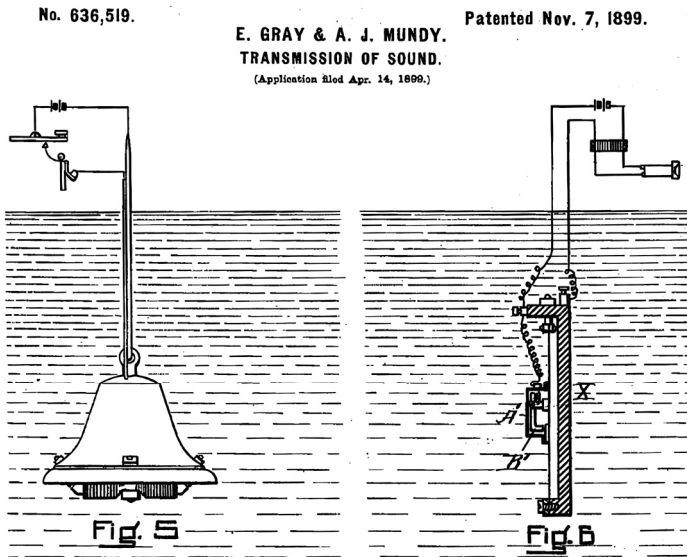


Abbildung 21: Die erste techno-akustische Durchdringung des Meeres als Schema: Neukonzipierte Unterwasserglocken senden Schall aus, der von Unterwasserempfängern zu Zwecken der Schall-Navigation verwendet wird.

1901 gründeten Mundy, Joshua Millet und Edward Wood die in Boston ansässige SSC als erstes Unternehmen, welches Unterwasserakustik institutionalisierte, infrastrukturierte und kapitalisierte. Dazu erwarben sie die Patentrechte von Elisha Grays „Hydrophon“ – obgleich die Patentschrift diesen Begriff noch nicht nutzte – und erprobten die Funktionalität der konzipierten Unterwasserglocken zu Zwecken der auditiven Signalsendung im Hafen von Boston. Denn zunächst war es keineswegs gewiss, ob Unterwasserglocken tatsächlich Unterwasserschall zu produzieren vermögen und ob dieser Schall über gewisse Entfernungen hinweg gehört werden konnte. In zeitgenössischer Berichterstattung wurde über die gelungenen und erfolgreichen Klangexperimente wie folgt berichtet:

„It is announced that a discovery which will stir scientists the world over into new activity was made in Boston harbor recently when representatives of the Submarine Signal Co. of Boston found that the blows on their submarine bell, striking in the upper harbor, caused vibrations in every vessel in port, and furthermore, that the sound could be heard distinctly by simply placing the ear against wharf piles. According to the story of one who helped in the experiment an attempt was made at the time to learn of the sound from a bell could travel

from one side of the harbor to another, successfully pass all obstructions, and pierce the thick skin of an ocean liner.“²³

Damit hatte sich die potenzielle Produktivität von Signalisierung via Wasserschall im Praxistest erwiesen. Noch im selben Jahr, 1901, erhielt die SSC von der US-amerikanischen Regierung die Rechte, bei Egg Rock, nahe des Bostoner Hafens, ein Unterwassersignalsystem zu installieren. Dieses sollte den Navigatoren einfahrender Schiffe erlauben, „[to] determine their position when ten miles or so from the shore, thus escaping the danger of approaching too near dangerous shoals and ledges in the entrance to the harbor.“²⁴

Bei der singulären Implementierung einer Unterwasserglocke sollte es nicht bleiben. Der infrastrukturelle Plan der SSC sah vor, wichtige Häfen und kritische Passagestellen in globaler Perspektive mit Unterwasserglocken auszustatten, um im Nebelfall den Schiffsverkehr akustisch zu stabilisieren. Nachdem die US-Regierung das 1901 infrastrukturell noch provisorische „Unterwasserschallsignalwesen“ bzw. das „Submarine Signaling“ testete – unter diesem Begriff wurde die Unterwasserschallnavigation in anglophonen Ländern vermarktet –, bekam die SSC die Erlaubnis, Unterwasserglocken in der Nähe von Leuchttürmen, Feuerschiffen und Leuchtbojen in den USA zu installieren. Die britische Admiralität prüfte das Prinzip im Jahr 1906 und berichtete anschließend:

„[The] submarine bell increases the range at which the fog signal can be heard by a vessel, until it approximates to the range of a light-vessel’s light in clear weather, and moreover its bearing can be determined with quite sufficient accuracy for safe navigation in fog, from distances far beyond the range of aerial fog signals if the vessel is equipped with receivers.“²⁵

Von der SSC konnte Empfangstechnik gemietet werden, um an der expandierenden Infrastruktur des Submarine Signaling zu partizipieren. Diese basierte darauf, die Signale von Unterwasserglockenstationen durch zwei Apparate zu empfangen und so die relative Lage eines Schiffes als auditive Differenz wahrnehmbar zu machen: Um mit dem Unterwasserschallsignalwesen zu navigieren, mussten im Schiff auf jeder Seite – Back- und Steuerbord – nah am Bug und unter der Wasserlinie je ein Hydrophon in einem gusseisernen, mit Wasser gefüllten Tank platziert wer-

23 Anonym (1902): „Successful Test of a Submarine Bell“, in: *Marine Review* 25(4), v. 23. Januar, 24.

24 Anonym (1901): „Submarine Signaling: To Be Given a Practical Test Off Boston Harbor“, in: *The St. Paul Globe* v. 6. August 1901, 8.

25 Zit. n. Joly (1918): „Scientific Signalling and Safety at Sea“, 10.

den.²⁶ Die Hydrophone transduzierten das akustische Unterwasserschallsignal in elektrische Impulse. Die Mikrophone waren mit einer „indicator box“ verbunden, die sich meist auf der Schiffsbrücke befand. Diese Box bestand aus einem konventionellen Telefonempfänger, der aus den elektrischen Signalen wieder akustische transduzierte, wobei – das ist entscheidend – ausgewählt werden konnte, ob die Signale des einen *oder* des anderen Empfängers abgehört werden sollten. War ein Glockensignal lauter, wenn es backbordseitig empfangen wurde, war auch die Unterwasserglocke backbordseitig und *vice versa*. Die Unterwasserglocke war gerade voraus, wenn das Glockensignal in beiden Empfängern gleich laut klang. Telefone dienten in diesem Setting demnach nicht als akustische Medien einer wechselseitigen Kommunikation, sondern als infrastrukturelle Sensoren der akustischen Anzeige georäumlicher Relative.

In dieser Formatierung konnte schließlich in Fällen von Nebel an Orten, in deren Nähe Unterwasserglocken platziert worden waren, lauschend navigiert werden (vgl. Abb. 22). Damit wurde im Kontext der SSC Unterwasserschall das historisch erste Mal zu praktischen Zwecken implementiert; es wurde systematisch submarinen Schallsignalsignalen gelauscht; und es wurde das notwendige Equipment hierfür entwickelt. So wurde in diesem Kontext der Begriff ‚Hydrophon‘ von Gray für Unterwassermikrophone eingeführt. Bis dato bezeichnete man mit diesem Wort in der diagnostischen Praxis mit Wasser gefüllte Beutel, die an Stethoskope angebracht wurden, um den Klang des Herzschlags aufgrund der Leiteigenschaften des Wassers zu verstärken.

Das Unterwasserschallsignalwesen kann als Form symbolischer Rationalisierung des Raums auf auditiver Basis durch infrastrukturelle Medien angesehen werden. Ebenso kann es als erste systematische Ausgestaltung von *Acoustic Intelligence* avant la lettre gelten.²⁷ Meereswasser wurde als dreidimensionaler Kanal operationalisiert, womit etymologisch der originäre Kontext des Kanalbegriffs reaktualisiert wurde, schließlich haben sowohl der *Channel* und *Canal* explizit fluide

26 Diese Tanks gewährleisteten, dass die Hydrophone innerhalb des Schiffes installiert werden konnten. Zudem schirmten diese aufgrund ihrer Flüssigkeitsfüllung Eigenlärm des Schiffes weitgehend ab. Dieses „Tankprinzip“ wurde in Deutschland als D.R.P. Nr. 162.600, vom 18. Juni 1902, unter dem sperrigen Titel „Vorrichtung zur Aufnahme und Übertragung von durch Wasser übermittelten Schallwellen für unterseeische Signalisierung, dadurch gekennzeichnet, daß ein unter Wasser befindliches wasserdichtes Gehäuse, welches den Schallempfänger und -überträger enthält, mit einer Flüssigkeit gefüllt ist, welche den Signalgeber oder -empfänger vom äußeren Wasser isoliert und die erzeugten Schallwellen aufzunehmen und fortzupflanzen bestimmt ist“ patentiert. Vgl. Peck (1907): „Unterwasser-Schallsignale“, 11.

27 Mit *Acoustic Intelligence* (ACINT) werden Verfahren des medientechnischen Empfangens und Auswertens hydroakustischer Phänomene bezeichnet.

Herkünfte und schlossen erst im Laufe des 19. Jahrhunderts Kommunikationsanordnungen mit ein.²⁸ Zudem stellte das Submarine Signaling eine erste Form von Sonar dar, nämlich Passivsonar, da systematisch nach akustischen Phänomenen im Raum unter den Meeren gelauscht wurde.

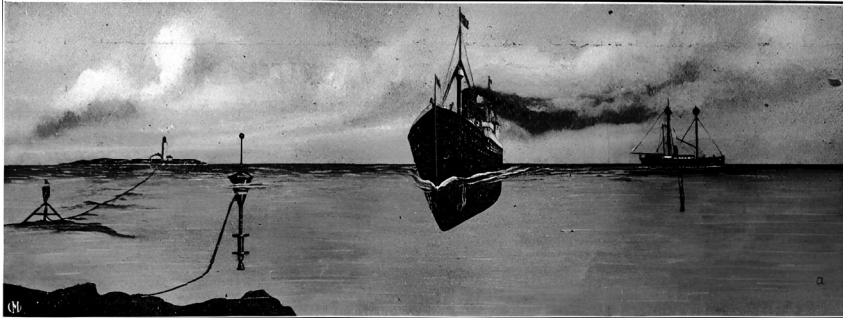


Abbildung 22: Historische Werbedarstellung der SSC für das Submarine Signaling. Zu sehen sind die drei Formen von Unterwasserglocken – installiert unter Feuerschiffen, unter Bojen und auf dem Meeresgrund an Dreibeinen – sowie schematisch ein Schiff mit inwendiger Empfangsanlage an Back- und Steuerbord.

Diese Formatierung maritimer Navigation adressierte das navigierende Subjekt als Hörendes und etablierte mit seinem akustischen Interface eine Infrastruktur, die in den ersten Jahrzehnten des 20. Jahrhunderts massive Relevanz entfaltete. Im September 1912 waren bereits 949 Schiffe mit dem Unterwasserschallsignalwesen kompatibel, d.h. mit Empfängern für Unterwasserschallsignale ausgestattet; selbst die bekannte *Titanic*, die noch im selben Jahr mit einem Eisberg kollidierte, verfügte über Empfänger für das System. Zu dieser Zeit waren 53 Unterwasserglockenstationen in den USA, 27 in Großbritannien, 16 in Deutschland, und 12 in Kanada aktiv; weitere Stationen befanden sich in Frankreich, Belgien, den Niederlanden, Dänemark, Russland, Uruguay, Chile, Brasilien und China – insgesamt 135 Sta-

28 Shiga, John (2015): „Sonar and the Channelization of the Ocean“, in: Paul Théberge/Kyle Devine/Tom Everett (Hrsg.), *Living Stereo: Histories and Cultures of Multichannel Sound*, New York, 85-106, 87. Hinzuzufügen ist, dass auch der Kommunikationsbegriff im 19. Jahrhundert nicht auf den Austausch von Nachrichten oder Signalen beschränkt war, sondern den Austausch von Gütern und Personen mit einschloss, mithin *communication* eher als *transportation* – von Dingen, Personen und Nachrichten – verstanden wurde. Kanäle waren in diesem Sinne die künstliche Bedingungen von maritimer ‚Kommunikation‘, verstanden als ‚Transportation‘, wie sie sinnbildlich auch Informationsaustausch ermöglichen, weshalb der Kanalbegriff auch jenseits von Navigation und Transportwesen zirkulieren und für medientechnische Kommunikation Verwendung finden konnte.

tionen weltweit.²⁹ Insbesondere entlang der britischen Südküste, der deutschen Nordseeküste und der US-amerikanischen Ostküste errichteten die Glockenstationen einen kohärenten hydroakustischen Raum, in welchem Seefahrende in Fällen von Nebel ihren Weg vollständig erhören konnten. Zu diesem Zweck sendeten die Glockenstationen ihre Signale codiert aus, sodass die relative Position erhörter Glocken mit entsprechenden Karten georeferenziert werden konnte. Das System erwies sich als derart funktional, dass 1920 bereits 3.500 Schiffe mit Empfängern ausgestattet waren. Nebelnavigation erfuhr damit eine auditorische Standardisierung, womit das Submarine Signaling in den Worten eines Zeitzeugen eine „völlige Umwälzung auf dem Gebiete des Schiffs-Signalwesens“³⁰ evozierte, die der bis dato visuell-dominierten Sphäre der Navigation eine auditive Dimension beifügte. In einer Veröffentlichung der SSC aus dem Jahr 1920 wird ersichtlich, wie engmaschig das Netz an Unterwasserglockenstationen insbesondere im Englischen Kanal war (vgl. Abb. 23). Die strategische Vision der SSC war es dabei, die Küsten sämtlicher Seefahrtsnationen mit Unterwasserglocken zu bestücken, um „walls of sound“³¹ zu errichten: ‚Klangmauern‘, die der Aufrechterhaltung navigatorischer Praxis bei destabilisierter Sicht dienen sollten.

Neben dieser infrastrukturierten Unterwasserbeschallung zur Navigation erweiterte die SSC ihre Produktpalette um Unterwasserglocken für Schiffe zur akustischen Signalisierung etwaiger Notsituationen. Dadurch sollte bspw. ein im starken Nebel gekentertes oder sonst in Not geratenes Schiff auf Basis von Schall angesteuert und im besten Fall via Unterwasserschall wechselseitig kommuniziert werden. Virulent war dies bereits u.a. 1909 geworden. Als Anfang des Jahres die Schiffe *Republic* und *Florida* kollidierten, benötigte das zu Hilfe kommende Schiff *Baltic* in dichtem Nebel 12 Stunden, um die genaue Stelle der Kollision aufzufinden. Dabei fuhr es circa 200 Meilen im Zickzackkurs durch ein Gebiet von 10 Quadratmeilen Größe – ein in Anbetracht bereits existierender hydroakustischer Techniken ihrerzeit vermeidbares Unterfangen, wie es in der Berichterstattung hieß: „Der ganze zwölfstündige Zeitverlust hätte vermieden werden können, wenn die ‚Republic‘ eine Not-Unterwasserglocke gehabt hätte, nach deren Signalen sie von der ‚Baltic‘ hätte angesteuert werden können.“³²

29 Lübcke, E. (1920): *Unterwasserschall-Signale als Hilfsmittel für die Navigation und Signalgebung auf See*, Berlin, 12.

30 BArch R 4701 (Reichspostministerium)/8934.

31 Vgl. Blake (1916): „Submarine Signaling“, 203-213.

32 BArch R 4701 (Reichspostministerium)/8934.

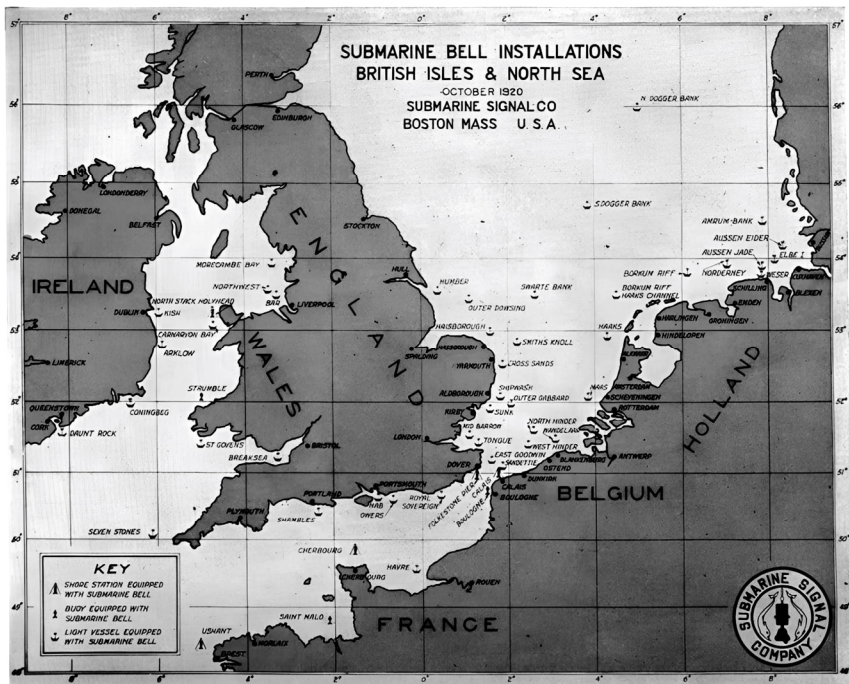


Abbildung 23: Das engmaschige Netz an Unterwasserglockenstationen im Englischen Kanal im Jahr 1920. Vom *acoustic space* einer Unterwasserglocke konnte in den Schallbereich der nächsten navigiert werden, sodass eine rein akustische Wegfindung realisiert wurde.

Es war eine naturinduzierte Störung, die potenzielle Kommunikation per Unterwasserschall zunächst verhinderte: Meeresrauschen.³³ Die SSC hatte bis 1913 noch keinen nennenswerten Gewinn verzeichnen können, auch machte die sich konsolidierende Funktelegraphie dem navigatorischen Unterwasserschall medientechnische Konkurrenz. Um das Submarine Signaling nachhaltig als funktionale

33 Der Vollständigkeit halber sei angemerkt, dass Meeresrauschen noch für das Sonar der frühen 1940er Jahre ein Problem darstellte, wie es in Testberichten des Harvard Underwater Sound Laboratory hieß: „Trouble has been experienced with signal-to-noise ratio in the microphone system used at present. In order to eliminate this difficulty it will be necessary to either increase the output power and directivity of the transmitter or increase the directivity and possibly the sensitivity of the microphones. Several ways of overcoming these difficulties have been investigated; using a reflector in back of the transmitter and of the microphone; increasing the size of the transmitter and of the microphone; using a large parabolic reflector constructed in a manner similar to that of the plane reflector already illustrated.“ Harvard Underwater Sound Laboratory (HUSL), UA V 859.295.2, 15. November 1941.

Infrastruktur und Unterwasserglocken als veritable Indikatoren von Notsituationen in der Praxis zu verankern, musste der Signal-Rausch-Abstand der Unterwasserkommunikation erhöht werden. Dies war allein durch Frequenzselektion zu erreichen. Zwar nutzte man für die Glockentöne aus medienökologischen Gründen eine hohe Frequenz, da diese „das Rauschen des Bugwassers, Wellenschlag und die sonstigen Bordgeräusche (...) am besten durchdringt.“³⁴ Allerdings standen dem empfängerseits keine selektiven Hydrophone zur Verfügung, die lediglich jene Signalfrequenzen statt zudem das sie umgebende Meeresrauschen empfangen. So berichtete man 1913 von Seiten SSC unter der Überschrift „What Remains to be Done“ über das bereits erwähnte ‚submarine problem‘:

„What remains to complete the solution of the whole problem is the development of an apparatus that will send out powerful signals from a moving ship and of a selective receiving apparatus which will make it possible for the ships of a fleet to signal to each other without interference and for signals from danger points close together to be sent without risk of confusion.“³⁵

Diesbezüglich kam der SSC der Besuch Fessendens im April 1912 überaus gelegen. Hatte sich beim Unterwasserschallsignalwesen das Meeresrauschen in der Praxis als problematisch erwiesen, beabsichtigte die SSC, die Defizite der Übertragungsanordnung mit verbesserten Hydrophonen zu beheben. Fessenden schlug dahingegen vor, das Problem von der anderen Seite des fluiden Kanals anzugehen: Statt die Hydrophone zu verbessern, fokussierte er auf die Sender der hydroakustischen Kommunikation. Er empfahl, die von der SSC verwendeten, aufgrund ihrer Mechanik fast archaisch anmutenden Sender von Unterwasserschall – Unterwasserglocken – durch ein elaboriertes hydro-elektro-akustisches Verfahren zu ersetzen, das einen Transducer als Klangerzeuger verwendete. Dieser könnte aufgrund seiner Technizität nicht allein singuläre Schläge ertönen lassen, wie es Unterwasserglocken vermochten, sondern ebenso in ihrer Frequenz eindeutig festlegbare kontinuierliche Töne. Dies war essenzielle Notwendigkeit, um ‚sound signals for communication‘ in den Unterwasserraum zu verlegen. Denn die anvisierte Unterwasserkommunikation sollte sich via Morsecode ausgestalten und dieser basiert schließlich auf Punkten und Strichen bzw. auditiv gewendet: aus Impulsen und Tönen. Die SSC lehnte diesen Vorschlag Fessendens ab, da die firmeneigenen Ingenieure diesbezüglich vermeintlich über fundiertere Expertise verfügten. Sie beauf-

34 Peck (1907): „Unterwasser-Schallsignale“, 12.

35 Submarine Signal Company (1913): „What Remains to be Done“, in: *Submarine Signal Bulletin* 42, 3.

tragte ihn jedoch mit der Konstruktion eines Hydrophons, das den bis dato etablierten überlegen sein sollte, insofern es selektiv empfangen, d.h. für die erfolgreiche Unterwasserkommunikation unerwünschte Frequenzen filtern sollte, wie es Gary Frost resümiert:

„Fay described to Fessenden a longstanding weak link in the SSC system. A ship-mounted hydrophone picked up background noise – splashing water, fish, machinery – that masked the bells. Often only coming to a dead stop helped. Fay asked his visitor if he could redesign SSC’s hydrophones to filter out such noise.“³⁶

Prima facie mochte dies einem vollständig anderen Konstruktionsauftrag gleichgekommen sein, als es Fessendens originärer Vorschlag war, sollte sich das Interesse des Elektrotechnikers doch auf die Verbesserung von Empfangstechnik beschränken. Allerdings – und das ist elektrotechnisch entscheidend sowie für das später konstruierte Objekt von epistemischer Tragweite – entsprach dies nur *scheinbar* einer Fokusverschiebung. Fessenden als Radiopionier – also eines Mediums, das genealogisch zunächst „als Wechselsprechanlage“³⁷ einer bidirektionalen Kommunikation diente und erst später zum Unterhaltungsmedium des reinen Empfangens degradiert wurde³⁸ – praktizierte bis dato im elektromagnetischen Wellenspektrum derart, dass Senden *und* Empfangen durch *dasselbe* technische Objekt realisiert wurde. In dieser retrograden Lesart des Konstruktionsauftrags der SSC an Fessenden erwies es sich allein als eine begriffliche Frage, ob Fessenden selektive Hydrophone als hydroakustische Schwingungsempfänger oder Tongeneratoren als elektroakustische, frequenzkontrollierbare Schwingungssender konstruieren sollte. Ganz im Sinne von Fessendens originärem Vorschlag funktionieren Transducer schließlich als bidirektionale Schnittstellen, da sie Frequenzen transduzieren: elektrische in akustische *et vice versa*. Fessenden konnte daher seinen originären Konstruktionsvorschlag realisieren, auch wenn sein Auftrag *de facto* anders lautete. Noch im Sommer 1912 wurde der Auftrag erteilt und Fessenden als „consulting engineer“³⁹ bei der SSC angestellt.

36 Frost, Gary L. (2001): „Inventing Schemes and Strategies: The Making and Selling of the Fessenden Oscillator“, in: *Technology and Culture* 42(3), 462-488, 467.

37 Siegert, Bernhard (1994): „Eskalation eines Mediums. Die Lichtung des Radiohörens im Hochfrequenzkrieg“, in: TRANSIT (Hrsg.), *On the Air. Kunst im öffentlichen Datenraum*, Innsbruck, 13-39, 18.

38 Vgl. Borbach, Christoph (2017): „Experimentelle Praktiken. Apparative Radioexperimente in der Weimarer Republik“, in: *Navigationen: Zeitschrift für Medien- und Kulturwissenschaften* 17(1), 129-149.

39 Frost (2001): „Inventing Schemes and Strategies“, 468.

Bereits im Juli 1912 stellte Fessenden Fay gegenüber in Aussicht, dass er mehr als ein selektives Hydrophon zu konstruieren gedachte, nämlich ebenso ein Gerät zur Lokalisierung entfernter Eisberge. Ein Prototyp des Geräts präsentierte er im Januar 1913. Bevor das Medium später als „Fessenden-Oszillator“ bekannt werden sollte (vgl. Abb. 24), verwies sein ursprünglicher Name „Vibrator“ auf den Status des Objekts, der historisch erste elektroakustische – nämlich magnetostriktive – Transducer zu sein. D.h., dass er elektrische und akustische Schwingungen qua Vibration ineinander zu übersetzen vermochte, was gegenüber dem originären Konstruktionsauftrag einen wesentlichen Vorteil darstellte, wie auch Gary Frost dem apparativen Verfahren bescheinigt:

„The company had obtained in the oscillator the superior underwater receiver that Fay and [vice president of the SSC] Perkins had requested, but Fessenden overstepped his assignment and ingeniously contrived a device that doubled as the very continuous-tone sound transmitter that Fay had explicitly ruled out.“⁴⁰

Als Transducer verdoppelte bis verdreifachte der Oszillator den möglichen Radius der Übertragung von Unterwasserschall. Diese von der SSC originär nicht bestellte Funktion des Mediums zu Zwecken der Kommunikation wurde euphorisch begrüßt. In den Worten von Fay:

„[The oscillator] revolutionized the art of Submarine Signaling, doubling and trebling the range at which it was possible to send sound signals through water. The ease and speed at which sound signals in the form of dots and dashes could be sent through the water with the Oscillator marked a tremendous advance over the older slow method of submarine signaling by means of dots with a bell.“⁴¹

Möglich war dies nur, da Fessenden seine elektrotechnische Expertise nicht auf die Verbesserung bestehender Empfängertechnik beschränkt hatte, sondern ein epismetisches Ding der Schwingungsforschung – den Transducer – in den Kontext submariner Elektronik transferierte. Die SSC hatte auftragsgemäß ihren selektiven Empfänger erhalten, aber aufgrund der möglichen praktischen Diversität des technischen Objekts mehr bekommen: Erstens einen elektroakustischen Soundgenerator, der unterwassertelegraphische Sendungen erlaubte; zweitens konnte das Gerät aufgrund seiner Eigenschaft, als Sender und Empfänger gleichermaßen zu funktionieren und zwischen beiden Zuständen schnell hin- und herzuschalten, zu wech-

⁴⁰ Ebd., 470.

⁴¹ Zit. n. Fessenden (1940): *Builder of Tomorrows*, 215.

selseitiger Kommunikation verwendet werden; und dritten, entscheidend für eine Mediengeschichte des Delays, konnte das Gerät als *Ortungsmedium* fungieren.⁴²

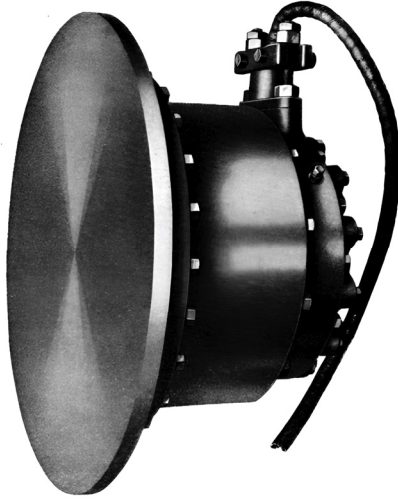


Abbildung 24: Der Fessenden-Oszillator. Grafik aus dem Jahr 1920.

Das Medium war also nicht nur fähig, Botschaften zu empfangen, sondern auch zu senden, womit das technische Objekt für die SSC zum Kommunikationsmedium avancierte. Ganz in diesem Sinne wurde über den Oszillator von Seiten der SSC im September 1914 als „Submarine Telegraph Oscillator“ zur „inter-ship communication“ berichtet.⁴³ Für Fessenden jedoch galt dieses Senden keineswegs allein dem Übertragen semantisch gehaltvoller Botschaften. Der Apparat sollte auch senden können, allein, um Gesendetes wieder zu empfangen. Die Unterwassertelegraphie war nämlich *ein* Anwendungsbereich des Mediums neben *anderen* möglichen. Fessenden selbst betrachtete seinen Oszillator als auditiven Indikator entfernter Prä-

42 Diese qua Duplexer realisierte Doppelfunktion des technischen Objekts – zu senden und zu empfangen – wurde von Fessenden bereits eingangs im Patent dargelegt: „The invention herein described relates to electrodynamic apparatus and methods and to the generation, the utilization, the transmission and the receipt of electric energy and more particularly to the production and detection of compressional waves, and still more particularly to submarine signaling.“ Fessenden, Reginald A. (1913): „Dynamo-Electric Machinery“, United States Patent Office No. 1.167.366, Application filed January 29, 1913, Patented January 4, 1916, 1.

43 Higginson, Henry L. (1914): „The Art and Practice of Submarine Signaling“, in: *The North American Review* 200(706), 418-421, 420.

senz: als Medium des *remote sensing*. Der von der SSC anvisierte Zweck „of signaling through water to a suitable receiving apparatus“ war im Sinne des technischen Objekts „but half the story“, da seine Affordanz nicht darauf limitiert war: „[i]ts Echo possibilities opened up a field of extraordinary promise“, wie es Reginald Fessendens Frau Helen formulierte.⁴⁴

In dieser Funktion unterschied sich der Oszillator epistemisch betrachtet massiv von seinen anderen Verwendungsweisen. Laut Fessenden, der im Eindruck des *Titanic*-Unglücks stand, wurde der Oszillator diesbezüglich explizit zum „ice-berg detector“. Galten Echos in der Unterwassertelegraphie als Störungen, war es eben jenes Übel, das Fessenden als Strategie verstanden wissen wollte, um die etwaige Anwesenheit von Eisbergen unter Wasser hörbar zu machen. Im Unterschied zum passiven Sonar konnte mit dem Oszillator nicht nur das Problem gelöst werden, die entfernte Präsenz eines Objekts und seine Richtung zu wissen (*detection*), sondern auch die Entfernung zu diesem angegeben werden (*locating*). Für diese Echoortungen war der Oszillator imstande, hinreichend starke, akustische Impulse zu erzeugen, d.h. einen Impuls von maximaler Lautstärke binnen 1/1.000 Sekunde zu generieren, um hydroakustische Echoortungen zu praktizieren.

Die Operativität des Fessenden-Oszillators in seiner Verwendung als *echo sounder* lag in einer spezifischen Delaymessung, die mit ihm geleistet werden konnte – wenn auch noch nicht automatisiert, so doch als konditionierte Praxis durch *human operators*. Am 10. Mai 1913 führte Fessenden erste Echoortungstests in South Framingham mit einer Stoppuhr durch: Hierfür sendete er qua Oszillator kurze Impulse aus und maß das Delay, wann eben jene von einem entfernten Objekt reflektierten Impulse wieder-empfangen wurden.⁴⁵ Eigeninitiativ überzeugte er anschließend in Washington, D.C., Entscheidungsträger des US Revenue Cutter Service – ein Vorläufer der US-Küstenwache –, sein Gerät einem Praxistest mit tatsächlichen Eisbergen zu unterziehen. Dies wurde ihm zugestanden, sodass er auf einer Eispatrouille des Schiffs *Miami* die soundreflektorischen Eigenschaften von Eis unter Wasser vor den Grand Banks (zu Deutsch Neufundlandbank) testen konnte. Ungewiss war dies allemal; nicht nur weil akustische Distanzmessungen unter Wasser ein Novum darstellten, sondern weil es aufgrund der irregulären Form von Eisbergen zweifelhaft schien, ob in Ermangelung einer glatten Oberfläche überhaupt ein Echo erzeugt werden konnte.

Anfang April 1914 begann der Praxistest, den Fessenden nicht delegieren wollte, sondern selbst durchführte. Die mit dem Oszillator durchgeführten Ortungen verliefen erfolgreich: Mit dem Oszillator wurde ein kurzer hydroakustischer

44 Fessenden (1940): *Builder of Tomorrows*, 216.

45 Ebd., 217.

Impuls gesendet, dieser wurde von einem Eisberg reflektiert und die Verzögerung zwischen Senden und Empfangen konnte bei bekannter Schallgeschwindigkeit im Wasser in eine Entfernungsangabe umgerechnet werden. Mithin wurde ein Eisberg auf Basis von Delays hydroakustischer Impulse geortet.⁴⁶ Ebenso bestimmte Fessenden die Tiefe des Wassers unter dem Schiff mit dem Oszillator. Im Gegensatz zu den mit einer Stoppuhr vorgenommenen akustischen Eisbergdetektionen, die nur sporadisch glückten – vermutlich tatsächlich aufgrund der unebenen Oberfläche der Eisberge –, waren die akustischen Tiefenbestimmungen durchweg erfolgreich. So berichtete Reginald Fessenden an seine Frau Helen, „the echo from the bottom, depth about one and a half miles, was always very clear and loud“.⁴⁷ Der Kapitän der *Miami* berichtete anschließend, die Methode der Echoortung qua Oszillator sei „practical and reliable both for detecting the presence of ice and for sounding“.⁴⁸ Ebenso sendete der an Bord befindliche SSC-Mitarbeiter Blake am 27. April 1914 ein Radiotelegramm nach Boston zum Firmensitz, das kondensiert den Erfolg der Experimente zusammenfasste, insofern es schlicht mit konkreten Entfernungsangaben zu per Delaymessung lokalisierten Dingen aufwarten konnte: „First test today, bottom one mile. Berg two miles.“⁴⁹ Damit bestätigte Fessenden die Praktikabilität von Echoortungen im unterseeischen Feld zur gleichen Zeit, zu der Alexander Behms unter kontrollierten Laborbedingungen durchgeführten Experimente zur Klärung von Unterwasserreflexionen glückten (vgl. Kap. 5).

Eisberge und Meeresböden zu lokalisieren, war für die Schifffahrt ihrerzeit ein dringliches Anliegen. Ebenso galt es im historischen Kontext, ein Verfahren zu finden, das der Detektion einer weiteren ‚unsichtbaren‘ Gefahr unter den Meeren diene, die mit dem Ausbruch des Ersten Weltkriegs virulent wurde: Uboote. Noch im selben Jahr, 1914, führte Fessenden erste Tests mit dem Oszillator durch, die zeigten, dass nicht nur Meeresböden und Eisflächen als Reflektoren akustischer Unterwasserimpulse fungieren können, sondern ebenso die metallenen Oberflächen untergetauchter und potenziell gefährlicher Schiffe. Als problematisch erwies sich dabei das „operating environment“⁵⁰ der Uboote selbst: Der Ozean in seiner

46 Über diese ersten erfolgreichen akustischen Eisberg-Lokalisationen wurde in der damaligen Presse berichtet, vgl. Middleton, P. Harvey (1914): „An Underwater Siren to Prevent Collisions at Sea“, in: *Scientific American* 111(1), 8-10.

47 Zit. n. Fessenden (1940): *Builder of Tomorrows*, 222.

48 Zit. n. Frost (2001): „Inventing Schemes and Strategies“, 476. Der Bericht des Kapitäns Quinan wurde zunächst im *Hydrographic Office Bulletin* v. 13 Mai 1914 abgedruckt.

49 Zit. n. Fay, Harold (1963): *Submarine Signal Log*, Portsmouth, RI, 16.

50 Vgl. titelgebend United States Office of Naval Research (1958) (Hrsg.), *The Ocean as the Operating Environment of the Navy: A Symposium Sponsored by the Office of Naval Re-*

Dreidimensionalität verlangte nach Verfahren der Detektion, die sich grundsätzlich von Methoden der Ortung auf der sichtbaren Wasseroberfläche unterschieden. Eine Ubootlokalisierung in schmalen Flüssen, Kanälen oder Hafeneinfahrten war im historischen Kontext mit s.g. Indicator Loops⁵¹ möglich. In logischer Inversion maritimer „Leitkabelanlagen“⁵² erlaubten solche Loops die Ortung von metallenen Schwimmkörpern durch die physikalische Beeinflussung eines qua Kabelanlagen erzeugten elektromagnetischen Feldes durch ihre eigene Präsenz. Eine Schematisierung des Prinzips liefert eine Abbildung einer Patentschrift aus dem Jahr 1908 (vgl. Abb. 25). Derartige Loops entsprechen einem *proximity sensor*, d.h. einem Annäherungssensor, im Makrobereich. Allerdings konnte dieses raumkritische Verfahren der Detektion in den dreidimensionalen Weiten der Meere und Ozeane keine Implementierung erfahren.

Militärisch akut wurde das Nichtwissen um die Position potenziell gefährlicher Uboote spätestens am 22. September 1914, als das deutsche Uboot *U9* drei Panzerkreuzer der britischen Navy versenkte. Bis dato wurde das Uboot-Problem seitens der Engländer:innen unterschätzt bzw. als „underhand, unfair and damned un-English“ angesehen – so der damalige Flottenadmiral Sir Arthur Wilson⁵³ – und damit als einer imperialen Seefahrernation unwürdig degradiert. Mit Beginn des Ubootkrieges gab es in England entsprechend weder elaborierte technische Gegenmaßnahmen zur Abwehr von Ubootangriffen noch Verfahren der Lokalisation oder zumindest Detektion untergetauchter Boote. Die seit 1914 daher umso dringlichere Suche nach Verfahren der Ubootortung führte zu dem kurzzeitigen Pilotprojekt, in Tierstudien die Tauglichkeit biologischer Sensorien als Uboot-Indikatoren zu erproben: Möwen wurden zur Ubootverfolgung mit künstlichen Periskopen trainiert, welche Futter ausstießen. Das Projekt, sowohl in Großbritannien als auch den USA erprobt, scheiterte am Unvermögen der Vögel zur Pawlow’schen Konditionierung. Auch Tests mit Seelöwen verliefen zwar insofern erfolgreich, da

search, March 11, 12, and 13, 1958, U.S. Navy Electronic Laboratory, San Diego, California, Washington, D.C.

- 51 Zu Verfahren und zur Entwicklung von Indicator Loops siehe Maxwell, Diana (2016): *Listen Up! HMS Tarlair and Memories of the Hawkcraig Admiralty Experimental Establishment Station, Aberdour, Fife, 1915-1918*, Aberdour. Umfangreiche Forschungen von Richard Walding hierzu finden sich unter: <http://indicatorloops.com>, 22.11.2022.
- 52 Vgl. Borbach, Christoph (vorauss. 2024): „Lines of Navigation. Das Kabel als Leit-Medium im submarinen Raum“, in: Ruth Schilling/Dennis Niewerth (Hrsg.), *Medialitäten des Meeres*, Bielefeld.
- 53 Zit. n. Hackmann, Willem D. (1986): „Sonar Research and Naval Warfare 1914-1954: A Case Study of a Twentieth-Century Establishment Science“, in: *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences* 16(1), 83-110, 93.

diese Unterwasserklänge problemlos zu lokalisieren imstande waren, aber mehr Interesse an Fischschwärmen zeigten als an Ubooten.⁵⁴

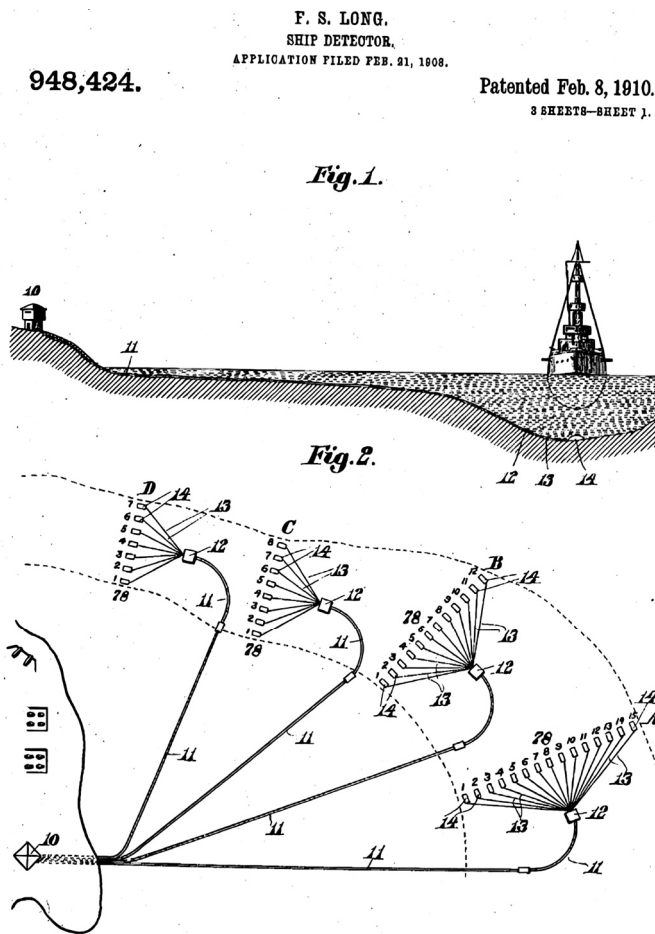


Abbildung 25: Eine frühe Form eines räumlich verteilt vorliegenden Sensorsystems: Schematisierung der Schiffsdetektion mit einer unter Wasser befindlichen Kabelanlage, die die Beeinflussung ihrer elektrischen Felder durch die Präsenz von Metallkörpern an einem zentralen Ort anzeigt, von welchem aus Sprengsätze detoniert werden konnten.

54 Ebd., 94-95.

Im Laufe des Ersten Weltkriegs wurden die durch Uboote verursachten Verluste im Mittel mit 5.000.000\$ und 40 Menschenleben täglich dotiert.⁵⁵ Karl Dönitz' bekannte Aussage, das Wesen des Uboots liege in seiner „Unsichtbarkeit“, datiert zwar erst auf das Jahr 1939,⁵⁶ doch bereits während des Ersten Weltkriegs wurde in Anbetracht dieser beträchtlichen Verluste ein Sensormedium zur Detektion von ‚unsichtbaren‘, weil untergetauchten Booten notwendig. Mit dem Fessenden-Oszillator stand ein Objekt zur Verfügung, welches das ‚Unsichtbarkeitsproblem‘ getauchter Uboote zu lösen imstande gewesen wäre. Seine prinzipielle Lokalisierungsfunktion per Delaymessung war technisch möglich. Nur: Diese Affordanz des technischen Objekts blieb zunächst ungenutzt.

Für die SSC stellte der Oszillator – wie beauftragt – ein selektives Hydrophon dar; auch wurde er als hydroakustisches Medium der Kommunikation höchst begrüßt und vermarktet. Allein als Medium der Detektion sollte es zunächst keine Aufmerksamkeit erfahren, wie es von Seiten der SSC 1914 hieß, die das Unterwassermorsen als zentral für den Oszillatoren deklarierte. Der Oszillator sei

„the last word on submarine signaling, and it is of immense importance, for it opens the door to a field which is filled with extremely important possibilities. Without going into a detailed description of the oscillator, it is necessary to say that it consists of a very large and heavy diaphragm vibrated under water by an electric mechanism with sufficient force and frequency to generate waves of sound of tremendous power. As these vibrations may be stopped and started at any time by the pressing of a button, it becomes evident that the Morse alphabet may be used for the purpose of sending signals.“⁵⁷

Der Oszillator in seiner Funktion als Unterwassertelegraph bescherte sowohl der SSC und Fessenden finanziellen Reichtum. Noch im Jahr 1913 verzweieinhalfachte sich der Aktienwert der SSC und sie zahlte Fessenden einen Bonus von 7.500\$ aus, dem weitere folgen sollten. Die Vermarktung des Geräts erfolgte nicht allein in den USA, sondern gemäß der verteilten Infrastruktur des tendenziell global implementierten Unterwasserschallsignalwesens international. Bereits zum Jahresende 1913 bestellte bspw. die italienische Marine Oszillatoren für alle ihre Uboote.

55 Vgl. Fessenden (1940): *Builder of Tomorrows*, 245; sie berief sich auf Artikel des *London Engineering* und der *London Times*.

56 Dönitz, Karl (1939): *Die deutsche Ubootswaffe*, Berlin. Vgl. Vehlken, Sebastian (2017): „Der Anti-U-Boot-Krieg und die Operationalisierung der Ozeane im Kalten Krieg“, in: Lars Nowak (Hrsg.), *Medien – Krieg – Raum*, Paderborn, 357-375.

57 Millet, Josiah Byram (1914): „Recent Developments in Submarine Signaling“, in: *Transactions of the Society of Naval Architects and Marine Engineers* 22, 107-114, 111.

Bei der US-Marine zählte der Oszillator Anfang des Jahres 1916 zur kommunikationstechnischen Standardausrüstung.⁵⁸

Morsen vs. Orten

Dass sich die SSC sorgsam darauf beschränkte, den Oszillator als Kommunikations- statt Ortungsmedium zu bewerben und zu vermarkten, ist aus dem historischen und institutionellen Kontext zu erklären. Die SSC dominierte das Feld der Medien für Unterwasserkommunikation, weshalb die Verbesserung einer bereits bestehenden Technik weniger Risiko barg, als die Einführung einer neuen Produktlinie technischer Geräte der Echoortung. Im Jahr 1913 waren Delaymedien der Echoortung noch von keinem Unternehmen weltweit ökonomisch erfolgreich vermarktet worden. Sie stellten bis auf exklusive Ausnahmen ein Novum dar, dessen Praktikabilität und Praxisvorteile keineswegs gewiss erschienen. Das zeigt sich auch daran, dass Fessenden – als überzeugter Britischer Nationalist – nach Ausbruch des Ersten Weltkriegs der britischen Navy den Oszillator als ‚Submarine Detector‘ bewarb und erfolgreich vorführte, diese jedoch zunächst lediglich Interesse an submariner Kommunikation statt Detektion zeigte. Dieser Erfolg des Oszillators als Kommunikationsmedium lässt sich auch an seiner Verbreitung ablesen: So hieß es im *Scientific American* von 1930, dass praktisch jedes Uboot weltweit ein Unterwassertelegraphiesystem mitführe, dessen Grundlage der Oszillator darstellte.⁵⁹

Der Oszillator als Kommunikationsmedium hatte der SSC tatsächlich geholfen, sich bis circa 1930 gegen die Funktelegraphie zu behaupten. Es ließe sich ausagen, dass sich das Medium in einem Zirkelschluss durch die praktische Verwendung zu Zwecken der Kommunikation als ein eben solches Medium der Kommunikation stabilisierte, da sich die „Praxen in die Struktur der Medien“⁶⁰ einschrieben. Spannend ist der Oszillator damit aufgrund seiner Dingbiographie. Er verdeutlicht, dass und wie ein Medium während seiner institutionellen Vermarktung von den Intentionen seiner Entwickler:innen abweichen kann. Dadurch zeigt sich, wie offen die Zukünfte technischer Objekte zu Zeiten sind, in denen sich ihre „material meanings“ im Sinne Lisa Gitelmans⁶¹ – aufgrund institutioneller oder politischer

58 Fessenden (1940): *Builder of Tomorrows*, 236.

59 Hopkins (1930): „Sea-Safety Contest Winners“, 40.

60 Winkler, Hartmut (2004): „Übertragen – Post, Transport, Metapher“, in: Jürgen Fohrmann (Hrsg.), *Rhetorik. Figurationen der Performanz*, Stuttgart, 283-294, 292.

61 Gitelman, Lisa (2004): „Media, Materiality, and the Measure of the Digital; or, the Case of Sheet Music and the Problem of Piano Rolls“, in: Lauren Rabinovitz/Abraham Geil (Hrsg.), *Memory Bytes: History, Technology, and Digital Culture*, Durham, 199-217.

Entscheidungen, aufgrund von abweichenden oder konterkarierenden Medienpraktiken etc. – noch nicht im Feld stabilisiert haben.⁶² Wenn sich Funktionen und folglich kulturelle Implikationen von Medien erst im Gebrauch definieren, wie Stefan Heidenreich in *FlipFlop* darlegt,⁶³ wurde im Falle des Oszillators seine Funktion bereits durch eine institutionspolitische Entscheidung festgeschrieben und sein potenzieller Unbestimmtheitsspielraum normativ limitiert. In diesem Sinne ließe sich John Shigas Formulierung der „Politics of Underwater Sound“⁶⁴ verstehen: Die SSC als Institution versuchte sich an einer verbindlichen Limitierung des technischen Objekts auf einen Zweck hin. Es galt der SSC, über einen elektrotechnischen Sender zu verfügen, der die potenzielle Reichweite unterseeischer Kommunikation im fluiden Trägermedium verbesserte und Signale zu senden erlaubte, die sich in ihrer Frequenz deutlich vom Umgebungsrauschen der Meere unterschieden. Als Indikator entfernter Präsenzen fungieren sollte der Oszillator explizit nicht.

Dass das Prinzip der Echoortung mit dem Fessenden-Oszillator zunächst nicht weiter getestet oder weiterentwickelt wurde, hatte neben den genannten firmenpolitischen auch persönliche Gründe. Uboote wurden seitens der USA als gefährliche Kriegswaffen eingestuft, nachdem ein deutsches Uboot im Mai 1915 das transatlantische Passagierschiff *Lusitania* torpedierte und versenkte. Im Juli 1915 wurde dort als Reaktion auf die Versenkung das Naval Consulting Board zur Evaluation technischer Maßnahmen gegen die drohende Ubootgefahr gegründet. Das darin integrierte Submarine Board – bestehend aus Mitarbeitern der Firmen General Electric, Western Electric und der SSC – sichtete und prüfte bestehende Techniken der Uboot-Detektion. Dafür wurde eigens ein Testlabor an der US-Ostküste in Nahant eingerichtet. Obgleich dieses mit rund 50.000\$ von der SSC bezahlt worden war, wurde deren hauseigener „consulting engineer“ Fessenden zu keinem Zeitpunkt des Boards aktiv in Arbeiten der Teststation involviert; mehr noch, dort wurde der Fessenden-Oszillator im Praxistest in Abwesenheit von Fessenden, vermutlich aufgrund persönlicher Vorbehalte ihm gegenüber, als unpraktisch eingestuft.⁶⁵ Akustische Detektionen unter Wasser sollten damit zunächst noch länger auf Verfahren verwiesen bleiben, die passiv operierten, insofern sie

62 Grundlegend für eine solche Perspektivierung technischer Objekte im Sinne einer *Social Construction of Technology* vgl. Winner, Langdon (1993): „Upon Opening the Black Box and Finding it Empty: Social Constructivism and the Philosophy of Technology“, in: *Science, Technology & Human Values* 18(3), 362-378.

63 Heidenreich, Stefan (2004): *FlipFlop. Digitale Datenströme und die Kultur des 21. Jahrhunderts*, München.

64 Shiga (2013): „Sonar: Empire, Media, and the Politics of Underwater Sound“, in: *Canadian Journal of Communication* 38(3), 357-377.

65 Vgl. Frost (2001): „Inventing Schemes and Strategies“, 480-483.

Klanglandschaften und die Soundsignaturen etwaig untergetauchter Boote als maritime Fremdklänge identifizierten (vgl. Kap. 4).

Hydro-elektro-akustische Echoortungen wurden zwar 1913 von Fessenden getestet, dennoch sind für die weitere Mediengenealogie des Sonars andere Konstrukteure relevant. Im historischen Kontext waren es die Experimentalforschungen von Paul Langevin und Constantin Chilowsky, die maßgeblich für die Sonarentwicklung werden sollten.⁶⁶ Chilowsky und Langevin konstruierten Ende 1915 einen funktionalen elektromechanischen Transducer, mit welchem sie zwischen Dezember 1915 und März 1916 erfolgreiche Echoortungsexperimente im Fluss Seine durchführten.⁶⁷ Auf Basis dieses frühen Transducers konstruierte Langevin Anfang 1917 eine Version, welche den *piezoelektrischen Effekt* nutzte und einen Hochfrequenzverstärker integrierte.⁶⁸ Im April 1917 erzeugte er mit dieser Anordnung Unterwasserschallstrahlen, die derart stark waren, dass Fische in der Nähe des Schallsenders getötet wurden. Als medienhistorische Anekdote mag an dieser Stelle Erwähnung finden, dass Langevin zusammen mit Robert W. Boyle – einem Assistenten von Ernest Rutherford – nach den ersten erfolgreichen Experimenten mit dem piezoelektrischen Effekt in fluiden Ökologien eine regelrechte Quarzjagd initiierte, um adäquate Quarzplatten zur Herstellung weiterer Transducer zu finden.⁶⁹ Diese neu entdeckte medientechnische Relevanz eines Minerals mündete in England in einem Ansturm auf Kristallausstellungen geologischer Museen, denn Kristalle waren bis dato von rein geologischem statt elektrotechnischem Interesse. Dementsprechend gehörten sie nicht zum Arsenal elektrotechnischer Labore. In einem Geschäft eines Optikers wurde Boyle schließlich fündig und konnte zwei

66 Langevin – ebenso wie Ernest Rutherford – war vor Beginn des Ersten Weltkriegs nicht mit praktischer Forschung betraut. Diese Mobilisierung von Forscher:innen für kriegstechnische Entwicklungen ist bereits aufgearbeitet worden, meist anhand konkreter Fallstudien, vgl. MacLeod, Roy M./Andrews, E. Kay (1971): „Scientific Advice in the War at Sea, 1915-1917: The Board of Invention and Research“, in: *Journal of Contemporary History* 6(2), 3-40.

67 Vgl. Hunt, Frederick Vinton (1954): *Electroacoustics. The Analysis of Transduction, and its Historical Background*, Cambridge, MA., 46-48. Ausführlicher zur Verwendung des piezoelektrischen Effekts durch Langevin vgl. Katzir, Shaul (2012): „Who knew piezoelectricity? Rutherford and Langevin on Submarine Detection and the Invention of Sonar“, in: *Notes and Records of the Royal Society of London* 66(2), 141-157.

68 Im September 1918 führte die britische Marine Experimente mit diesen „quartz-steel echo ranging techniques“ nach dem Langevin-Prinzip durch, die akustische Reflexionen von Unterwasserobjekten nachweisen konnten, vgl. The National Archives [TNA] ADM 213/34, 2. Im Unterschied zu Fessenden nutzte Paul Langevin auch Frequenzen im Überschallbereich. Vertiefend dazu vgl. Wood, Robert Williams (1939): *Supersonics. The Science of Inaudible Sound*, Providence, 28-36.

69 Hunt (1954): *Electroacoustics*, 50-51.

Transducer herstellen, mit denen er im Praxistest Uboote erfolgreich ortete. Um weitere Kristalle zu erhalten, verfolgte er die Lieferkette des Optikers zu einem französischen Hersteller von Linsen für Kronleuchter in Bordeaux zurück. Da zum Zeitpunkt die Nachfrage an Quarz gering war, hatte der Hersteller im Warenlager eine immense Menge an Quarzkristallen vorrätig, die Boyle nach geeigneten Objekten durchsuchte. Damit lieferte Boyle die Quarzgrundlage für die ersten zehn ASDIC-Echoortungsgeräte,⁷⁰ mit denen die britische Flotte ausgestattet wurde.⁷¹ Hier vollzog sich in gewisser Weise ein Medienwechsel: Quarzkristalle wurden von ausschließlich optischen Medien – oben genannte optische Linsen wurden bereits im 18. Jahrhundert explizit ‚Medien‘ genannt⁷² – zu ebenso akustischen Medien der Transduktion.

In der Retrospektive kann die Nutzung des piezoelektrischen Effekts durch Langevin als Fall ‚angewandter Wissenschaft‘ angesehen werden. Der Effekt war nämlich zu diesem Zeitpunkt, 1917, bereits annähernd vier Jahrzehnte bekannt. Nur war er noch nicht praktisch zu elektrotechnischen Zwecken implementiert worden. Mehr noch, ihm wurde eine praktische Verwendung zuvor explizit abgesprochen, programmatisch durch den deutschen ‚Piezoelektriker‘ Woldemar Voigt 1905, wie Shaul Katzir zeigt und entsprechend kommentiert: „Here, knowledge of piezoelectric phenomena, cultivated for its own sake for some thirty-five years, was employed to answer an urgent need; until then, the phenomena were regard-

70 ASDIC war das britische Akronym für Sonar.

71 Die spätere Verwendung von Rochelle-Salz, dessen piezoelektrische Wirkung seit spätestens 1919 bekannt war, sowie die Möglichkeit seines kontrollierten An- und Abbaus erleichterten die Verfügbarkeit von natürlichem Material für die Produktion elektrotechnischer Transducer, vgl. Nicolson, Alexander McLean (1919): „The Piezo Electric Effect in the Composite Rochelle Salt Crystal“, in: *Transactions of the American Institute of Electrical Engineers* 38(2), 1467-1493. Tendenziell kritisch der Ausbeutung natürlicher Ressourcen gegenüber kommentierte Hunt: „The growing demand for quartz to meet the needs of the communications industry has threatened to outrun the world supply of quartz of suitable ‚radio‘ quality, and has stimulated efforts (already moderately successful) to grow usable quartz crystals artificially.“ Hunt (1954): *Electroacoustics*, 57. Die Suche nach adäquaten Quarzen war nicht auf den Kontext des frühen Sonars beschränkt, sondern wiederholte sich, wie Thompson (2010) in *Crystal Clear: The Struggle for Reliable Communications Technology in World War II* zeigt (Piscataway, NJ). Mag die Materialität der Medien nach Friedrich Kittler zwar ein „buchstäblich unerschöpfliches Thema“ sein, erweist sich das tatsächlich materielle Substrat des Sujets also als sehr begrenzt, vgl. Kittler, Friedrich A. (2002): „Memories are made of you“, in: ders: *Short Cuts* 6, hrsg. v. Peter Gente/Martin Weinmann, Frankfurt a.M., 41-67, 41.

72 Vertiefend zu dieser Historie des Begriffs ‚Medium‘ vgl. Hoffmann, Stefan (2002): *Geschichte des Medienbegriffs*, Hamburg.

ed as irrelevant to technology.”⁷³ Aus technischer Perspektive stellte der Transducer von Langevin ein Prototyp des späteren Aktiv-Sonars ebenso wie des in der späteren Sonographie verwendeten „Scanners“ dar. Er ist als ‚Praktischwerden‘ eines physikalischen Phänomens anzusehen, das vormals ebenso zweckfrei war wie ein Wissen um das Delayverhalten von Wasserschall.⁷⁴

Erst gegen Ende des Ersten Weltkriegs, als sich auf britischer Seite die Überzeugung etablierte, der beste Schutz gegen die Gefahr ‚unsichtbarer‘ Uboote liege in ihrer aktiven Detektion, wurde der Fessenden-Oszillator zur expliziten Grundlage späterer ASDIC-Techniken. Die Royal Navy beauftragte ihre Torpedo School und später Signal School 1917 mit der Entwicklung von Echoortungsgeräten, die auf dem Oszillator basierten, seine technische Funktionalität allerdings anpassten. Bspw. erhöhte man seine Frequenz von 540 auf 1.000 Hertz und wechselte – auf eine Empfehlung Langevins hin, der die Signal School im September 1917 besuchte – von elektromagnetischen zu piezoelektrischen Verfahren der elektroakustischen Tonerzeugung.⁷⁵ In der Retrospektive mag diese Verwendung des Oszillators zu Zwecken der Lokalisation naheliegend erscheinen – im historischen Kontext war es dies keineswegs, wie auch Willem Hackmann kommentiert: „All the experiments with the Fessenden-type ‚oscillator‘ described so far“ – namentlich die der Royal Navy – „dealt with underwater sound telegraphy“.⁷⁶ Nunmehr, mit einem Zeitverzug von knapp vier Jahren, wurde der Oszillator für systematische Echoortungsexperimente verwendet, „since it was the only device at that time capable of transmitting a powerful beam of acoustic energy into the water“.⁷⁷

Sollte das Submarine Signaling eine gefahrenfreie Navigation auf akustischer Basis realisieren, wenn optische Wegfindung unmöglich war, war dem Navigierenden dabei eine gewisse Autonomie in der maritimen Fortbewegung zugestanden worden. Unterwasserschall im Dienste der Sonardetektion war hingegen ein Mittel der Kontrolle von Bewegungen, nämlich metallischer und potenziell gefährvoller Objekte im Ozean.⁷⁸ Beim Submarine Signaling waren Übertragungszeiten

73 Katzir, Shaul (2010): „War and Peacetime Research on the Road to Crystal Frequency Control“, in: *Technology and Culture* 51(1), 99-125, 104.

74 In diesem Kontext – Quarzkristalle im Ersten Weltkrieg – lag ein Fokus auf „Crystal Frequency Control“, der nach dem Kriegsende nicht abbrechen sollte und zu Frequenzstandardisierungen und der ersten Quarzuhr, 1927 bei AT&T entwickelt, führen sollte, ebd.

75 Hackmann, Willem (1984): *Seek & Strike. Sonar, Anti-Submarine Warfare and the Royal Navy 1914-54*, London, 74-75.

76 Ebd., 75.

77 Ebd.

78 Eine ähnliche Diskursivierung von Sonar als Kontroll- bzw. Überwachungsmedium findet sich bei Shiga, John (2016): „Ping and the Material Meanings of Ocean Sound“, in:

nicht ausschlaggebend; es erwiesen sich allein die Reichweiten hydroakustischer Sendungen als raumkritische Parameter der navigatorischen Infrastruktur. Die aktive akustische Überwachung submariner Bewegungen stellte dahingegen eine genuin zeitkritische Messtechnik auf Basis von Delays dar. Nunmehr wurde auf Basis von Pings den etwaigen Echos metallischer Schwimmkörper gelauscht, deren Empfang zeitkritisch – zunächst mit Stoppuhren – bestimmt und in Distanzdaten übersetzt wurde. Unterwasserortungen wurden dabei mit drehbaren Transducern mittels eines sukzessiven „Sweeping“ auf Basis von 5 Grad-Schritten vorgenommen. Dabei galt es, etwaige Echos in drei Kategorien zu klassifizieren, wie es ein *Sonar Operator Manual* von 1925 beschrieb:

- „(a) Echoes undoubtedly from a submarine.
- (b) Echoes which may possibly be from a submarine.
- (c) Echoes which are undoubtedly not from a submarine.“⁷⁹

Damit fand eine deutliche Hierarchisierung empfangener Echos, mithin der akustischen Durchleuchtung der fluiden Umwelt qua Sensormedium, statt. Zum echoischen Signal wurden Präsenzen entfernter Uboote qualifiziert, Echos von anderen Reflektoren waren nicht von Relevanz. Interessant ist auch die verwendete Sonar- bzw. ASDIC-Rhetorik, der hier nicht weiter nachgespürt werden kann, insofern es galt, mit derart georteten Ubooten ‚Kontakt zu halten‘ („keeping contact“⁸⁰), mithin die akustische Detektion als flüchtige Verbindung nicht abbrechen zu lassen.

Medientheoretisch interpretiert galt es beim Submarine Signaling, Meerwasser als Konstante der Kommunikation zu operationalisieren. Das Wasser selbst bzw. seine inhärente Klangökologie galt es, aus der Kommunikationsanordnung zu filtern, d.h. seine liquide Materialität vergessen zu machen. Dahingegen war es epistemisches Moment des Oszillators in seiner Verwendung als Ortungsgerät im aktiven Sonar, eben diesen Kanal als verzögernde Variable zu explizieren, die direkte Auswirkung auf die Übertragung hat. Daher waren es die frühen prototypischen Sonare, die Fragen submariner Signalübertragung problematisierten und nach einer Klärung der Übertragungseigenschaften des fluiden Raums verlangten. Wohingegen Forschung zum Unterwasserschall im 19. Jahrhundert einer divergenten Logik folgte – es wurde zweckfrei geforscht und erst später stellte sich ein praktischer Nutzen heraus –, war es nun – wie bereits im Falle von Echoloten (vgl.

Nicole Starosielski/Janet Walker (Hrsg.), *Sustainable Media: Critical Approaches to Media and Environment*, New York, 128-145.

79 TNA ADM 186/446: ASDIC Operating Procedure (Type 114), April 1925, 4.

80 Ebd.

Kap. 5) – die Praxis, die eine tiefergehende Mathematisierung von Natur erforderte. Technisch formuliert induzierte die Medienpraxis des Unterwasserschalls Forschungen zur Hydroakustik, die direkt wieder Praxisrelevanz erhielten: So tabellarisiert bspw. der Band *Unterwasserschall-Signale* aus dem Jahr 1920 unterschiedliche Schallreichweiten in Abhängigkeit von Temperaturen, um die medienökologischen Grenzen von Echoortung und Schallnavigation in der Praxis nachschlagbar zu machen.⁸¹ Federführend in Deutschland war hierbei u.a. Hugo Lichte mit seinen Aufsätzen, die sich u.a. dem „Einfluß horizontaler Temperaturschichtung des Seewassers auf die Reichweite von Unterwasserschallsignalen“⁸² oder grundlegend dem „Einfluß des Mediums auf die Reichweiten“⁸³ von Schallsignalen widmeten. In medienhistorischer Forschung erfährt Lichte allenfalls Erwähnung in Bezug auf seine Grundlagenarbeit zum Tonfilm. Dabei wird vernachlässigt, dass er auch Forschung zum Unterwasserschall leistete. Ebenso belegt Franz Aigners *Unterwasserschalltechnik* von 1922 die Einkerbung des Ozeans in einen technoakustischen und wissenschaftlichen Raum,⁸⁴ in welchem Fragen der Zeitlichkeit von Unterwasserschall virulent wurden. Da das Delay eines Unterwasserechos beim aktiven Sonar als Indiz für eine entfernte Präsenz gilt, galt es zunächst, jene temporalen Übertragungscharakteristika von Wasser bezüglich Wassertiefe, Salzgehalt, Temperatur und Temperaturschichtungen zu klären. Das Hauptinteresse beim Sonar galt also, prägnant mit den Worten eines *Sonar Training Course* der US Navy zusammengefasst, dem „liquid medium – water.“⁸⁵ Eine Verdattung der Umwelt, bevor technische Medien in dieser veritabel operieren konnten, wurde damit für Sonar essenziell. Das galt insbesondere für die Verbreitung von Sonartechniken in den 1930er Jahren. Denn im Unterschied zum Echolot, mussten beim Aktivsonar nicht allein die Spezifitäten von Tiefenschichten in Rechnung gestellt werden (vgl. Kap. 5). Ebenso mussten die horizontalen und diagonalen Beugungs- und Brechungseigenschaften des fluiden Kanals geklärt werden.⁸⁶ Demgemäß resümierte das US Navy Department 1946 über die Frühphase von Aktivsonar:

81 Lübcke (1920): *Unterwasserschall-Signale*, 6.

82 Lichte, Hugo (1919): „Über den Einfluß horizontaler Temperaturschichtung des Seewassers auf die Reichweite von Unterwasserschallsignalen“, in: *Physikalische Zeitschrift* 17, 385-389.

83 Hahnemann, W./Lichte, Hugo (1920): „Die moderne Entwicklung der Unterwasserschalltechnik in Deutschland“, in: *Die Naturwissenschaften* 8(45), 871-878, 876-877.

84 Aigner, Franz (1922): *Unterwasserschalltechnik. Grundlagen, Ziele und Grenzen*, Berlin.

85 Bureau of Naval Personnel (1957): *Navy Training Courses: NAVPERS 10138-C: Sonarman 3 & 2, Vol. 1*, Washington, D.C., 69.

86 Generell verläuft die Mediengeschichte des Delays damit nicht unidirektional von ‚science to technology‘, insofern originär physikalisches Wissen in den Diskurs und die Pra-

„The handful of zealous Sonar workers were now busily engaged in continuing developments to improve Sonar and investigating Sonar’s operating medium – the ocean. Information was needed concerning the loss in intensity of sound traveling between two points, reflecting properties of targets, character and masking properties of extraneous background noises, effects of temperature changes, and methods of making absolute underwater sound measurements. Data on these factors was essential to the design of efficient equipment. NRL [the Naval Research Laboratory] began studies in detail of these water propagation characteristics on a purely scientific basis.“⁸⁷

Ähnlich wie im Falle echoischer Tiefenlotungen wurden geophysikalische Zwischenräume qua Sonar nicht überwunden, wie das Zitat illustriert. Vielmehr verlangte Sonar nach einer filigraneren Klärung des Zeit-Raum-Regimes von Signallaufzeiten im Ozean, als diese zuvor praktiziert worden war. Ebenso evozierte erst Sonarpraxis eine Erforschung der Klänge des Ozeans und seiner akustischen Beugungs- und Reflexionscharakteristika.

Medienpraktische Varianz

Es ist die praktische Varianz des Fessenden-Oszillators, die für die vorliegende Arbeit von medientheoretischem Interesse ist. Die Dimensionen von Unterwasserkommunikation (Morsen) und Unterwasserlokalisierung (aktives Sonar) stellen diametrale Logiken desselben Objekts dar und offenbaren die mitunter divergenten Episteme von Kommunikations- und Geomedien.

Der Unbestimmtheitsspielraum ist wesentliches Moment technischer Objekte, der ihnen eine intersituative und interpersonelle Offenheit zugesteht, insofern in unterschiedlichen Kontexten und durch unterschiedliche Individuen mit denselben technischen Objekten unterschiedlich agiert bzw. interagiert werden kann. Das heißt für den Fessenden-Oszillator: Was dieser war, entschied sich durch seine situierte Verwendungsweise. Interessant ist das in medienarchäologischer und praxeologischer Perspektive. Es ist eine von Wolfgang Ernst vertretene, medienarchäologische Prämisse, dass technische Objekte erst im zeitlichen Vollzug, d.h.

xis der Elektrotechnik einzog, sondern bidirektional auch von ‚technology to science‘. Die Praxisprobleme des Delaymediums Sonar evozierten naturwissenschaftliche Fragen, wie sie sich jenseits des Sonars nicht stellten – bspw. hinsichtlich des Beugungsverhaltens von Schall unter Wasser.

87 TNA ADM 213/34, Navy Department, Office of the Chief of Naval Operations, Washington, D.C.: „Sonar Publicity“, 25. March 1946, 3.

durch die ihnen techno-logisch inhärenten Zeitwe(i)sen⁸⁸ zu Medien werden. Andererseits ist es eine grundsätzliche Arbeitsthese der Medienpraxeologie, dass technische Objekte erst in actu, d.h. in ihrer praktischen Verwendung analysierbar werden. Im Sinne der Praxeologie entfalten Medien erst durch ihre Praxis Relevanz: Ein Radio im Zeitvollzug, das aber niemand hört, wäre damit – im Unterschied zur medienarchäologischen Perspektive – kein Medium.⁸⁹ Um die Funktionalität des Fessenden-Oszillators zu ergründen, ist es aber notwendig, *sowohl* Medienarchäologie *als auch* -praxeologie zu betreiben. Um zu begreifen, *welchen* zeitlichen Vollzug das technische Objekt materialisierte, muss seine *Praxis* fokussiert werden. Denn der dem technischen Objekt inhärente Unbestimmtheitspielraum ließ zwei epistemologisch und medientheoretisch diametral zueinander stehende Operationen zu: Morsen (Unterwassertelegraphie, d.h. semantische Kommunikation) und Orten (akustische Distanzmessung). Der Fessenden-Oszillator ist mithin geradezu prädestiniert dafür, programmatisch die medientheoretischen Implikationen zwischen Kommunikations- und Ortungsmedien zu explizieren, wie es im Folgenden Anliegen ist.

Das Submarine Signaling kann als eine Infrastruktur angesehen werden, die raumkritisch agierte: Die Position verteilter Unterwasserglocken, die hydroakustische Räume generierten, konnte durch die relative Ausrichtung des eigenen Schiffs zur jeweiligen Glocke durch Lautstärkevergleich abgehört werden. In diesem Kontext konnte der Oszillator als selektiver Empfänger fungieren; ebenso diente er als tendenziell raumkritisches Medium in der Unterwassertelegraphie. Die SSC intendierte, Unterwasserkommunikation derart zu formatieren, dass Signale zwischen zwei einander entfernten Orten derart übertragen wurden, dass sich Umwelt – das Meer – möglichst nicht in die Botschaften einschrieb.

Der Fessenden-Oszillator als Protosonar operierte demgegenüber zeitkritisch und basierte auf dem Zeit-Raum-Regime von Hydroakustik. Echoortung beruht tendenziell auf *einem* technischen Gerät, das kommunikativ mit seinen lokalen Umwelten in Verbindung steht, nämlich mit potenziellen Reflektoren, um „time delays between pulse and echo as signs of a distant presence“⁹⁰ zu interpretieren. Der Fessenden-Oszillator als Medium der Unterwassertelegraphie sollte Botschaf-

88 Zum Begriff vgl. Ernst, Wolfgang (2012): „Technomathematische Zeitwe(i)sen“, in: ders.: *Chronopoetik. Zeitweisen und Zeitgaben technischer Medien*, Berlin, 261-295.

89 Programmatisch heißt es bei Harun Maye, der die Praxis über den ontologischen Status technischer Objekte entscheiden lässt: „Werkzeuge und Medien existieren nur in den Gesten und Operationsketten, in denen sie technisch wirksam werden.“ Maye, Harun (2010): „Was ist eine Kulturtechnik?“, in: *Zeitschrift für Medien- und Kulturforschung* 1(1), 121-135, 132-133.

90 Shiga (2013): „Sonar“, 360.

ten an verschiedenen Orten des Raums durch Praktiken und Techniken der Übertragung verfügbar machen. Die Praxis der akustischen Lokalisation basierte hingegen darauf, „der zeitbasierten Ausbreitung von Schall Rauminformationen abzugewinnen“,⁹¹ wie es Sebastian Schwesinger hydroakustischen Medien der Ortung bescheinigte. Im Sinne Fessendens fungierte der Oszillator als Ortungsmedium zugunsten eines – in den Worten John Shigas – „real-time sensing of the environment“; der Oszillator war ein „self-contained system“ und ein frühes hydroakustisches Sensormedium.⁹² Er war nicht auf externe, in die Umwelt stationär integrierte Sender angewiesen – Unterwasserglocken –, sondern materialisierte in gewisser Weise eine technische Autonomie: Der Fessenden-Oszillator als *echo sounder* stand nicht in Abhängigkeit zu anderen Kommunikationsanordnungen, sondern erlaubte es, durch unbekannte Gebiete zu navigieren bzw. Unterwasserwelten auditiv zu sondieren.

Der Fessenden-Oszillator als Kommunikationsmedium der Unterwassertelegraphie basierte auf räumlich verteilten Anordnungen des Sendens und Empfangens von Unterwassertönen. Entscheidend war dabei der Austausch codierter Informationen durch den Unterwasserraum hindurch bzw. vermeintlich über diesen hinweg. Ergebnis einer Übertragung, mithin erfolgreicher Kommunikation, war es, wenn Informationen an zwei unterschiedlichen Orten möglichst symmetrisch verfügbar gemacht wurden. Übertragen wurden in diesem Dispositiv semantisch gehaltvolle Botschaften. Für den Fessenden-Oszillator in seiner Verwendung als Ortungsmedium stellte sich dies in medientheoretischer Relektüre diametral dar. Als Sensormedium basierte das technische Objekt auf einer Anordnung des Sendens, die nicht räumlich verteilt war. Ziel war nicht, an zwei Orten eine Botschaft verfügbar zu machen: Gemessen wurde vielmehr der temporale Index der Übertragung selbst, um Aussagen über etwaige Reflektoren, mithin entfernte Präsenzen und den unterseeischen Raum zuzulassen. Die Botschaft des Oszillators waren spezifische Delays – nicht codierte Daten. Ist es bei Kommunikationsanordnungen unerwünscht, wenn sich ein Objekt in den Kanal einschreibt und ein Signal zurück zum Sender reflektiert, war dies gerade entscheidend für den Fessenden-Oszillator als zeitkritisches Sensormedium. Damit zeigt sich erneut die Relativität von Störung und Signal. Ziel der Übertragung *als* Zeitmessung war es, Daten des Übertragungsraums zu generieren, um Aussagen über diesen zu ermöglichen. Sendeten Unterwasserglocken beim Submarine Signaling akustisch codierte Geodaten radial

91 Schwesinger, Sebastian (2022): „Raumlose Räume und ortlose Objekte. Akustische Transfers zwischen Land und Meer“, in: *Navigationen: Zeitschrift für Medien- und Kulturwissenschaften* 22(1), 179-196, 188.

92 Shiga (2013): „Sonar“, 363.

in den submarinen Raum, erlaubte der Oszillator in seiner Verwendung als aktives Medium der Ortung die Akquise geomedialen Wissen auf Basis an sich sinnfreier Impulse.⁹³ Informativ im Sinne Claude Shannons – weil unerwartet – ist beim Ping nicht ein *Was*, ein semantischer Inhalt einer Sendung, sondern allein ein *Wann*, nämlich das Delay zwischen Senden und Wiederempfangen am selben Ort: Delay *als* Information. Arbeitete Knut Ebeling in *Quote/Unquote* eine Theorie derjenigen Zeichen aus, die weder eine repräsentative Funktion erfüllen noch eine Bedeutung tragen, sondern operativ wirken,⁹⁴ kann das Ping als ein eben solcher hydroakustischer Operator angesehen werden. Ganz in diesem Sinne bescheinigt auch John Shiga dem Morsen und Orten mit demselben technischen Gerät eine divergierende Logik:

„If fidelity is the goal, as it was in the hydrographic bell system, then echoes are at best glitches or artifacts, an excess of signal that distracts the listener from the intended message. As an echo-ranger, the oscillator instead exploits the bounciness of sound, using indirect or reflected sound as an index of presence and the delay between transmission and reception as a mark of distance. (...) As an echo-ranger or ‚iceberg detector‘, the oscillator required the SSC and the shipping industry to believe that echoes can act as reliable signs of presence, and it also implied the need for a new taxonomy of echoes for sensing, and making sense of, indirect sound returning to the ship. The SSC wanted a device to exploit the ocean as a passive conduit for transmission. Fessenden offered instead a device that would enable the ocean to record itself in sound waves.“⁹⁵

93 Diese originäre Sinnfreiheit des unterwasserakustischen Pings, das erst durch situierte Übertragungen aufgrund irreduzibler Verzögerungen Sinn (nämlich Daten) produziert, wurde in der späteren Netzwerktechnik metaphorisch reanimiert. Das Ping in der digitalen Netzwerktechnik ist ein Diagnosewerkzeug, um zu überprüfen, ob ein Host in einem IP-Netzwerk erreichbar ist. Das Programm geht zurück auf Michael John Muuss, Wissenschaftler bei der US Army, der es im Dezember 1983 am Ballistics Research Lab schrieb. Muuss beschäftigte sich in den frühen 80er Jahren mit Radar- und Sonarproblemen. Die zugrundeliegende Rhetorik des Pings, wie er als hydroakustischer Impuls bereits in der Ortungspraxis Fessendens angelegt war, applizierte er auf das neue Problem: Aus der Zeitspanne zwischen Echo-Request, dem Senden eines kleinen Datenpakets, und der Echo-Reply, dem Wiederempfangen desselben, lässt sich der jeweilige Ping-Wert, offiziell *round trip delay* bzw. Pingdauer, ermitteln. „I named it after the sound that a sonar makes, inspired by the whole principle of echo-location. (...) It’s exactly the same paradigm applied to a new problem domain: ping uses timed IP/ICMP ECHO_REQUEST and ECHO_REPLY packets to probe the ‚distance‘ to the target machine. (...) From my point of view PING is not an acronym standing for Packet InterNet Grouper, it’s a sonar analogy.“ Muuss, Michael John (o.J.): „The Story of the PING Program“, <https://ftp.arl.army.mil/~mike/ping.html>, 04.11.2022.

94 Ebeling, Knut (2014): *Quote/Unquote. Kleine Archäologie der Operatoren*, Köln.

95 Shiga (2013): „Sonar“, 364.

Fessenden verhandelte das Zeit-Raum-Regime von Wasserschall als epistemisches Ding, welches mit seinem Oszillator wissenschaftswirklich geworden war. Das Delayverhalten von Schall im Ozean, das beim Submarine Signaling nirgends zur Debatte stand, avancierte zum kritischen Parameter des vom Kommunikations- zum Geomedium gewendeten technischen Objekts.

Auf einer methodologischen Ebene kann im Sinne einer materialitätsnahen historischen Praxeologie technischer Objekte ausgesagt werden, dass nicht erst durch die Digitalisierung Fragen der Praxis virulent wurden. Bekanntermaßen hatte Friedrich Kittler Digitalcomputern bescheinigt, vormals geltende Grenzen zwischen Einzelmedien zu „kassieren“,⁹⁶ da Digitalcomputer jedes beliebige analoge Medium simulieren können (Schreibmaschinen, Radios, Kameras etc.). Der Practice Turn in der Medienforschung hat dies – teils implizit, teils explizit – zum Anlass genommen, die Bedeutung von Medienpraktiken zu betonen. Da Digitalcomputer wie bspw. Smartphones jedes beliebige Medium sein können, gelte es nunmehr, auf Praktiken zu fokussieren, da – in Umkehrung des Axioms von Kittler – Situationen über die Lage des Mediums bestimmen.⁹⁷ Sebastian Gießmann fasst die Kontroverse im Sinne einer Praxistheorie der Medien unter den Bedingungen digitaler Medien wie folgt zusammen: „Fragen von Medienspezifität und -differenz sind so nicht mehr allein auf der Ebene ästhetischer und oder technischer Charakteristika eines Mediums beantwortbar, sondern erfordern auf Praktiken gerichtete methodische und begriffliche Zugänge.“⁹⁸

Am Fallbeispiel des Fessenden-Oszillators wird evident, dass eine Praxisfokussierung nicht erst unter der Bedingung ubiquitärer, digital vernetzter Tablets, Smartphones, Laptops usw. entscheidend wird – sondern dort schon entschieden war. Markus Krajewski schreibt am Beispiel von Software, diese besitze „eine Geschichte, manchmal sogar eine, die ungleich weiter zurückreicht als bloß in die Anfänge der elektronischen Rechenmaschinen, insofern die Praktiken, die eine Software funktional umsetzt, ihrerseits über lange Traditionen verfügen“.⁹⁹ Damit forderte er eine Praxisfokussierung ein – allerdings in dem Sinne, dass *später* automatisierte bzw. an technische Objekte delegierte körperliche oder geistige Arbeit

96 Kittler schrieb: „ein totaler Medienverbund auf Digitalbasis wird den Begriff Medium selber kassieren.“ Kittler, Friedrich A. (1986): *Grammophon Film Typewriter*, Berlin, 8.

97 Vgl. exemplarisch Schüttelpelz, Erhard et al. (2021) (Hrsg.), *Connect and Divide. The Practice Turn in Media Studies*, Zürich.

98 Gießmann, Sebastian (2018): „Elemente einer Praxistheorie der Medien“, in: *Zeitschrift für Medienwissenschaft* 19, 95-109, 95.

99 Krajewski, Markus (2014): „Synapsen. Zur Geschichte, Theorie und Praxis von (elektronischen) Zettelkästen“, in: René Schneider/Stefan Andreas Keller/Benno Volk (Hrsg.), *Wissensorganisation und -repräsentation mit digitalen Technologien*, Berlin, 39-52, 39.

vormals genuin von Menschen ausgeführte Kulturtechniken darstellten.¹⁰⁰ Der Oszillator zeigt, dass die Praxisfokussierung nur bedingt einer Frage nach den der Automatisierungen und Delegationen historisch vorgelagerten Praktiken bedarf. Er illustriert vielmehr, dass eine Fokussierung auf Praktiken bei historischen Objekten *selbst* ansetzen sollte. Der Fessenden-Oszillator kann nur durch die mit ihm ausgeführten Praktiken adäquat beschrieben werden – zumindest wenn das Erkenntnisinteresse seiner tatsächlichen Funktionalität im Feld gilt.

Bereits unter dezidiert analogen, elektroakustischen Bedingungen konnten Praktiken über die Qualität und Logik medientechnischer Übertragungen entscheiden: Sollte die Übertragung durch sich selbst zeitkritisch bestimmt werden, um Aussagen über Georäume und entfernte Präsenzen zuzulassen? Dann war es informationstheoretisch nahezu gleichgültig, *was* gesendet wurde; es zählte allein, *wann* es wiederempfangen wurde. Oder wurde – im Sinne geglückter Telegraphie – der zeitliche Index der Übertragung verschwiegen und trat mithin die Temporalität der Sendung hinter die Semantik der Botschaft zurück? Wurden Verzögerungen zum kritischen Parameter der Medientechnik erklärt, um Umwelten zu vermessen, oder galt es, Botschaften an zwei Orten möglichst symmetrisch verfügbar zu machen? Ging es um ein Medium des Delays oder ein Medium der Morsekommunikation? All diese Fragen entschieden sich in der situierten Praxis des Fessenden-Oszillators als *einem* technischen Objekt, das *mehrere* Funktionalitäten durch die vermeintlich in sich homogene Medienfunktion der Übertragung ausprägte. Die Übertragung zeigt sich erneut als heterogen, als divers, als vielschichtig – und sie sollte mitnichten auf die räumliche Verteilung von Daten oder Information verengt werden. Daten waren in der Praxis des Fessenden-Oszillators als Ortungsmedium das Resultat von Übertragungen. Hierauf wird abschließend in dieser Arbeit noch zurückzukommen sein.

Unberücksichtigt geblieben ist bei der bisher gelieferten epistemologischen und praxeologischen Diversifizierung historischer Signalübertragungen ein Aspekt, der ebenso medientechnische Operationalisierung erfuhr: Delays in der Sendung von Signalen können nicht nur der Vermessung von Umwelten und Räumen dienen; ebenso kann die räumlich bedingte Verzögerung akustischer Sendungen als flüchtiger Speicher interpretiert werden. Dadurch wird das Delay in der Übertragung von Signalen als Speicherzeit lesbar, die durch den solchermaßen durchschwungenen Raum bestimmt wird. Solchen Speichertechniken widmet sich das

100 Dies ist eine grundlegende These von Krajewskis Mediengeschichte des Dieners, weil Subalterne sowohl genuin mediale Funktionen innehatten und die praktische Ausgestaltung jener Funktionen derart zu erfolgen hatte, wie es auch funktionalen technischen Medien bescheinigt wird. Vgl. Krajewski, Markus (2010): *Der Diener. Mediengeschichte einer Figur zwischen König und Klient*, Frankfurt a.M.

folgende Kapitel, das historisch auf eine Multiplizität von Modulen fokussiert, die den Akteur dieses Buchs im Titel tragen: *delay lines*.

7. Delay Lines

Verzögerungsspeicher

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

– Alan Turing, 1947¹

Rundfunk – Ästhetik

In der Ausgabe des Journals *Broadcast News* vom Dezember des Jahres 1934 findet sich ein kurzer Artikel, der über eine neue klangästhetische Optimierung des US-amerikanischen Rundfunks berichtete. Nunmehr war es möglich geworden, Klangräume zu simulieren. In den New Yorker Studios der National Broadcasting Company (NBC) – „world’s largest broadcasting studio in Radio City“² – befanden sich hierfür drei Räume, in denen sich keine Menschen aufhielten, sondern in denen ausschließlich akustische Signale zirkulierten. Was dem 1802 eröffneten Nationaltheater auf dem Berliner Gendarmenmarkt von seinen Zeitzeug:innen als defizitär bescheinigt wurde (vgl. Kap. 1), wurde nun, rund 130 Jahre später, von Seiten der NBC intendiert: „The rooms themselves are ‚brilliant‘, that is, their ceilings, walls and floors are tile and concrete, so that every sound made in them ‚bounces back‘.“³ Genannt wurden diese Räume Echokammern, denen akustische Signale durch ‚sound tunnels‘ von entweder 20, 40 oder 80 Fuß Länge zugeleitet wurden. Ihr Zweck war es, „to control the amount of reverberation so that the voice from

1 Turing, Alan M. (1992 [1947]): „Lecture to the London Mathematical Society on 20 February 1947“, in: *Mechanical Intelligence. Collected Works of A.M. Turing, Vol. 1*, hrsg. v. Darrel Ince, Amsterdam et al., 106-124, 109.

2 Anonym (1934): „How Echoes Are Produced: NBC Engineers Perfect Artificial Sound Reflection“, in: *Broadcast News* 13, 26-27, 26.

3 Ebd.

the ordinary-sized studio could be made to appear to be coming from the smallest or the largest-sized room“.⁴ In der Rundfunkpraxis der NBC hatten sich die Echo-kammern bereits etabliert: Die durch sie ermöglichte Vielfalt an akustischer Sze-nerie bereicherte diverse Sendungen der NBC, wie im Artikel betont wurde.

Aus prozessarchitektonischer⁵ Perspektive formatierten die Klangröhren die praktische Signalarbeit des Rundfunks derart, dass das originäre Studio möglichst wenig Nachhall aufzuweisen hatte; im Falle der NBC den 75/100 Teil einer Sekun-de.⁶ Ein im Studio per Mikrophon aufgenommener Klang wurde gesplittet und das gedoppelte Signal wurde qua Klangtunnel einer Echokammer zugeleitet. Gemäß der Länge des gewählten Tunnels wurde eine Verzögerung der akustischen Signa-le bewirkt. In den Echokammern befanden sich wiederum Mikrophone, die die nun verzögerten und in der Kammer ‚verklangräumlichten‘ Signale detektierten. Diese mit Nachhall und Verzögerung angereicherten Klangsignale wurden dem originären ‚trockenen‘ Signal der Hauptleitung beigemischt, um akustische Räume zu produzieren: Je nach Länge der verwendeten Verzögerungsleitung konnte die Dauer des Nachhalls variiert oder ein Echoeffekt erzielt und der szenische Ein-druck verschiedener akustischer Räume manipuliert werden. „Kann man Raum hören?“ fragte 1936 Rudolf Arnheim in seinem Grundlagenwerk *Radio*.⁷ Ja, man kann – und man kann solche auditiven Räume künstlich konstruieren, wie die fol-gende Abbildung der NBC schematisch zeigt (vgl. Abb. 26).

4 Ebd.

5 Mit dem Begriff der Prozessarchitektur referiere ich in Anschluss an Wolfgang Schäffner und Susanne Jany auf das medientechnische Äquivalent architektonischer Prozessarchi-tekturen, welche verstanden werden als „operative Gefüge (...), die durch ein ineinander-greifendes System aus Speicherungs-, Übertragungs- und Verarbeitungseffekten jene Strukturen ausbilden, die die zeitgenössischen Kriterien ‚zweckmäßiger Anlagen‘ erfül-len.“ Vgl. Jany, Susanne (2015): „Operative Räume. Prozessarchitekturen im späten 19. Jahrhundert“, in: *Zeitschrift für Medienwissenschaft* 12(1), 33-43, 34-35. In den medien-technischen Prozessarchitekturen, denen sich dieses Kapitel widmet, stellen Verzöge-rungsleitungen das Modul dar, das für die Signalspeicherung (qua Übertragung) zustän-dig ist.

6 Anonym (1934): „How Echoes Are Produced“, 26.

7 In der englischen Übersetzung fragte Arnheim eröffnend im Kapitel „Spatial Resonance“: „Can we hear space?“ Arnheim, Rudolf (1936): *Radio*, übers. v. Margaret Ludwig u. Her-bert Read, London, 95.

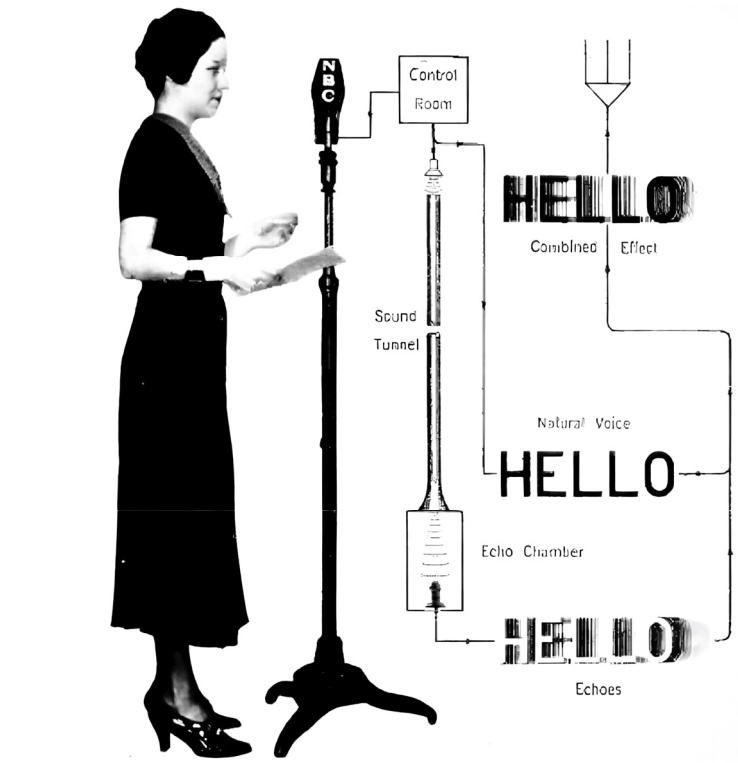


Abbildung 26: Medientechnische Prozessarchitektur zur Simulation von Raumklang: unterschiedliche Signalwege eines durch ein Mikrophon aufgenommenen akustischen Signals. Der „Sound Tunnel“ erfüllte die Funktion einer Verzögerungsleitung.

Nachhall und Echo wurden klangästhetisch produktiv. Nunmehr konnten sie unter kontrollierten Bedingungen der elektro-mechanischen Signalmanipulation erzeugt werden.⁸ Dadurch wurden akustische Räume gestaltbar, deren zentrale Bedeutung für die Musikästhetik bereits bekannt war.⁹ Bis dato war die analoge Tonstudio-

8 Zur frühen Arbeit an Klangästhetiken des Rundfunks vgl. Fischer, Sabine (2013): „Ferne Zuhörer (United Nations, 1946)“, in: dies.: *Hellhörige Häuser. Akustik als Funktion der Architektur, 1920-1970*, Dissertation, ETH Zürich, 150-162. Am Schweizer Akustiker Franz Max Osswald illustriert Fischer den Wandel der technischen Ausgestaltung von Radiostudios in der Schweiz in den 1920er Jahren. Denn „[e]in Rückblick auf Franz Max Osswalds Ratschläge für die raumakustische Gestaltung eines Radiostudios zur Mitte der 1920er Jahre verdeutlicht, wie sich die Anforderungen an die Senderäume mit der Entwicklung der Nachrichtentechnik veränderten.“ Ebd., 156.

9 Vgl. Maxfield, Joseph P./Harrison, Henry C. (1926): „Methods of High Quality Recording and Reproducing of Music and Speech Based on Telephone Research“, in: *The Bell System*

und Rundfunktechnik bei der Produktion akustischer Räume auf Architektur verwiesen. Die Beziehung von Raum und Klang, „a connection as old as architecture itself“¹⁰ wie Emily Thompson in *The Soundscape of Modernity* schreibt, wurde durch Verzögerungsleitungen zwar noch nicht aufgehoben. Dennoch standen architektonischer Raum und Nachhall oder gar Echo in der Rundfunkpraxis nicht mehr in einem unveränderlichen Verhältnis. Es konnten auditive Räume erklingen, die auf kein real existierendes Vorbild verweisen mussten. „Sound Tunnels“ bzw. Verzögerungsleitungen, *delay lines*, in ihrer Verwendung zur Erzeugung von Nachhall- und Echo-Eindrücken evozierten damit eine sukzessive Emanzipation akustischer Phänomene von Architekturen. Im Unterschied zu digitalen Verfahren der Produktion von Klangräumen stellten *delay lines* noch Manipulationen auf Basis tatsächlichen Schwingungsverhaltens dar: Sie basierten auf der physikalischen Ausbreitung von Klang, mithin dem Zeit-Raum-Regime von Akustik – aber unter nunmehr gestaltbaren Bedingungen. Bis dato war es lediglich möglich gewesen, den akustischen Eindruck eines architektonischen Raumes zu re-produzieren, d.h. vor Ort aufzunehmen und diese Aufnahme zu einem späteren Zeitpunkt wieder abzuspielen oder direkt von dort aus Rundfunk zu senden. Bedeutung erlangten akustische Verzögerungsleitungen daher in der klangästhetischen Hörspielpraxis, die mit dem Problem konfrontiert war, szenisch authentische auditive Raumeindrücke zu gestalten. Hierzu muss man sich die historische Situation des Rundfunks vergegenwärtigen: Hörspiele waren Anfang der 1930er Jahre nicht vorproduziert, sondern mangels Tonbandtechnik genuine Live-Ereignisse, die im Senderaum aufgeführt wurden. Um Szenen verschiedener Raumwirkung aufeinander folgen zu lassen, mussten verschiedene Senderäume genutzt werden – was zu praktischen Komplikationen führte.

Wohl 1926¹¹ wurde zum ersten Mal vorgeschlagen, das Prinzip der Signalduplikation und Verzögerung eines der beiden Signale durch eine *delay line* klang-

Technical Journal 5, 493-523. Dort heißt es z.B.: „In recording work (...) one of the important acoustic characteristics of a room is its time of reverberation.“ Ebd., 495. Für Grundlagenforschung zur Nachhallzeit von Räumen vgl. prominent Sabine, Wallace C. (1923): „Reverberation“, in ders., *Collected Papers on Acoustics*, Cambridge, MA, 3-68.

10 Thompson, Emily (2002): *The Soundscape of Modernity. Architectural Acoustics and the Culture of Listening in America 1900-1930*, Cambridge, MA., 172.

11 Round, Henry Joseph/West, Arthur Gilbert Dixon (1927): „Transmission and Reproduction of Sound“, United States Patent Office No. 1.853.286, Application filed May 6, 1927, Patented April 12, 1932. Das Patent wurde bereits 1926 in Großbritannien eingereicht. Round und West gelten als Radiopioniere. Im Patent konzeptualisierten sie Echo- bzw. Hallräume zu Mitteln der Produktion von Klangästhetik im Kontext von Rundfunksendungen. Dort hieß es, dass ein dupliziertes Signal durch verschieden lange Leitungen („pipes“) gesendet werden könne, um einen Hall- oder Echo-Effekt zu erzielen, ebd., 2.

ästhetisch nutzbar zu machen.¹² Dass dies im Rundfunk praktiziert wurde, beschrieb prominent Rudolf Arnheim in seinem 1936 erschienenen theoretischen Grundlagenwerk *Radio*, in welchem er eine graphische Schematisierung des Prinzips publizierte.¹³ Das Buch gibt hinsichtlich des technischen und kunsttheoretischen Stands der Rundfunkpraxis zur Mitte der 1930er Jahre valide Auskunft. Arnheim diskutierte insbesondere die ästhetischen Wirkungen auditiver Räume. In diesem Kontext kommentierte er technische Verfahren der Manipulation und Simulation akustischer Raumeindrücke, um Hörbilder zu erschaffen bzw. die Klangsignaturen natürlicher und architektonischer Räume zu imitieren, um eine auditive Mobilität zu suggerieren:

„Bisher benutzt man die Kombination mehrerer Senderäume ziemlich ausschließlich dazu, Szenen mit verschiedener Raumwirkung aufeinander folgen zu lassen. Was hier aber noch für Möglichkeiten schlummern, erhellt bspw. daraus, daß man den Raumhall unabhängig von dem Raum, in dem der Sprecher sich tatsächlich befindet, variieren kann.“¹⁴

Arnheim plädierte für eine Radiopraxis, in welcher in Hörspielen ein originäres Klangsignal in einem möglichst ‚trockenen‘ Raum eingesprochen und anschließend durch Verzögerungsleitungen in andere architektonische Räume geleitet werden sollte. So konnte der Raumklang dieser anderen Räume durch separate Sender-Empfänger-Anordnung eingefangen werden, wie es bereits früher von Seiten der NBC expliziert wurde:

„Der Sprecher spricht etwa in einer abgedämpften Kabine. Seine Worte gehen über den Sender, zugleich aber auch in einen zweiten Senderraum, der eine sehr starke Hallwirkung haben möge und in dem sie nun durch einen Lautsprecher erklingen. Was da aus dem Lautsprecher erklingt, erweckt in diesem zweiten Raum einen sehr starken Hall, und diesen Hall kann man nun in beliebiger Dosierung ebenfalls über den Sender leiten.“¹⁵

12 Eine frühe Darlegung über die Vorteile akustischer Verzögerungsleitungen zu Testzwecken – bei den Bell Laboratories – findet sich bei Mason, W.P. (1931): „Acoustic Delay Circuits“, in: *Bell Laboratories Record* 9(9), 430-432. Vgl. hierzu auch Blackwell, O.B. (1932): „The Time Factor in Telephone Transmission“, in: *The Bell System Technical Journal* 11, 53-66.

13 Arnheim (1936): *Radio*, 97.

14 Hier und im Folgenden zitiere ich aus dem deutschen Original von *Radio*: Arnheim, Rudolf (2001 [1936]): *Rundfunk als Hörkunst und weitere Aufsätze zum Hörfunk*, Frankfurt a.M., 63.

15 Ebd., 63-64.

Für Arnheim begründeten die Fortschritte in der Mikrophontechnik einen experimental-ästhetischen Auftrag des Auslotens der Gestaltungsmöglichkeiten auditiver Räume. Die Potenziale der Organisation von Klangräumen lagen für ihn in der Andeutung räumlicher Flexibilität und einer akustischen Authentizität oder zumindest Plausibilität des Hörspiels: „Hört man anstelle eines weithallenden Raums plötzlich einen engen, so wird man, zumindest im naturalistischen Hörspiel, auf einen Schauplatzwechsel schließen – ja nicht nur schließen, man wird ihn hören.“¹⁶ Das Hörspiel als radiospezifische, d.h. elektrotechnische Kunstform sollte die Potenziale eben jener Technizität nutzen, um sich den Anschein einer auditiven Natürlichkeit zu verleihen. Es galt in der Radiopraxis, die Technizität des Rundfunks produktiv zu nutzen, um Künstlichkeit zu kaschieren und Natürlichkeit zu simulieren. Denn, so Arnheim, „[e]ine Hörspielszene in einer Kirche, die nicht mithallt, wird unnatürlich wirken. (...) Der Raumhall dient zunächst dazu, den Raum eines Hörspielschauplatzes naturgetreu wiederzugeben.“¹⁷

Diese Form der auditiven Gestalttheorie erprobte experimentell die Synthese „neuer, eigener, unsichtbarer“ Räume einer „Hörbühne“.¹⁸ *Delay lines* avancierten in diesem Kontext von Rundfunksendungen zum adäquaten Mittel, die ästhetische Dimension auditiver Übertragungen gebührend zu berücksichtigen, nachdem spätestens seit Langhans’ Grundlagenforschung bekannt war, dass in konzertanten Settings nicht allein Musikstücke, sondern ebenso architektonische Zeit-Raum-Regime von Akustik zu Gehör kamen (vgl. Kap. 1). Reichte es der Rundfunkpraxis bis dato aus, dass etwas erklang, geriet nun das *Wie* dieses Klangs in den kunsttheoretischen Fokus. So schrieb ein Chefsingenieur der NBC 1931, die Art und Weise des „microphone placement has been increasingly important in radio broadcasting as the requirements of the art have become steadily more severe.“¹⁹ In den 1920er Jahren war es gängige Praxis, ein Klangbild einer orchestralen Aufführung um der Sache Willen wiederzugeben. Denn dort stand weniger die Aufführung selbst, sondern das technische Medium – das Radio – im Fokus des Interesses, der gesellschaftlichen Reflexion und Faszination. War es zunächst ausreichend, bspw. ein Orchester derart zu mikrophonieren, dass ein Großteil gehört wurde, avancierte es um 1930 zum Ideal, sämtliche Instrumente eines Orchesters radiophon zu übertragen. Das Ohrenmerk verschob sich dahingehend, dass die musikalische Qualität Wichtigkeit erlangte. Gleiches galt für die Klangräume radiophoner Hörspiele.

16 Ebd., 64.

17 Ebd., 65-66.

18 Ebd., 65.

19 Hanson, O.B. (1931): „Microphone Technique in Radio Broadcasting“, in: *The Journal of the Acoustical Society of America* 3, 81-93, 81.

Es begann eine Arbeit an Klangräumen, die sich grundsätzlich von den Standards und Praktiken der Ära der Phonographie unterschied. Bis dato hatten sich Musizierende räumlich und körperlich nach den technischen Spezifika musikalischer Medien auszurichten – vornehmlich aufgrund der analogen Materialität der Medientechnik mit ihrer mechanischen Verstärkung von Akustik durch Schalltrichter. Pianist:innen hatten durchweg fortissimo zu spielen und Sängerinnen und Sänger mussten gemäß der Lautstärke einer Passage ihren Körper zum phonographischen Trichter hin- oder von diesem wegbewegen. Dahingegen war um 1930 eine Umkehr zu verzeichnen: Mikrophone waren mobil und konnten tendenziell flexibel in Räumen positioniert werden. Nunmehr hatte sich die Tontechnik nach den Körpern der Musizierenden zu richten und sich in musikalischen Situationen an ihnen auszurichten: Bestimmten vormals auditive Medien die Lage der Musizierenden, war es nun umgekehrt.

In diesem künstlerischen Kontext waren es Verzögerungsleitungen, die dazu beitrugen, dass der Rundfunk eine eigene, ernstzunehmende Kunstform begründete, da in Hörspielen akustische Räume authentisch simuliert werden konnten. *Delay lines* stellten einen ersten Schritt in der Medialisierung auditiver Räume dar, insofern sie die Bedingungen, denen Rundfunkproduktionen unterlagen, technisch transformierten. Sie waren keine Klangerzeuger, sondern im Kontext von musikalischer Ästhetik neue Verfahren der Simulation des Eindrucks auditiver Räumlichkeit unter den analog-technischen Bedingungen der 1930er Jahre. Der Hör-Eindruck von Räumen war mit *delay lines* in ihrer Funktion als „sound tunnels“ das Ergebnis von Übertragungen, sodass bspw. die langen Nachhallfahnen der Raumakustik einer Kirche ebenso imitiert werden konnten wie der trockene Klang eines Vorraums jener Kirche. Entscheidend war, dass „both of these effects – the small and the large room – can be produced at the same time in the same studio“.²⁰ Diese neugewonnene Ortsunabhängigkeit in der Produktion auditiver Räume wurde bei Arnheim explizit:

„Auf diese Weise läßt sich also etwa darstellen, wie ein dauernd aus dem gleichen Abstand ins Mikrofon sprechender und in Wirklichkeit ruhig an seinem Ort stehender Mensch aus dem Freien in eine enge Stube tritt, d.h. wir haben hier ein neues Mittel zur Darstellung scheinbarer Bewegung ohne Ortsveränderung.“²¹

„Bewegung ohne Ortsveränderung“ – so unscheinbar akustische Verzögerungsleitungen auf den ersten Blick erscheinen mögen, waren sie damit an der Virtualisie-

20 Anonym (1934): „How Echoes Are Produced“, 26.

21 Arnheim (2001 [1936]): *Rundfunk als Hörkunst*, 63-64.

rung auditiver Räume beteiligt. Übertragungsräume dienten nunmehr der intendierten Verzögerung von Akustik oder anders gewendet: *delay lines* fungierten als flüchtige Speicher akustischer Signale. Derart betrachtet funktionalisierten Verzögerungsleitungen das Zeit-Raum-Regime von Akustik zur kurzzeitigen Speicherung auditiver Ereignisse.

Die Eigenschaft von Delays, dass Übertragungszeiten von Signalen so gesehen als volatile Speicherzeiten eben jener Signale gelten dürfen, wurde nicht allein in der ästhetischen Praxis des Rundfunks erkannt. Entsprechend blieb die Nutzung von Delay als flüchtiges Speicherphänomen nicht auf den spezifischen Kontext der Klangästhetik des frühen Hörfunks beschränkt. Neben der Erläuterung der Funktionsweise von akustischen *delay lines* werden im Folgenden ihre Anwendungskontexte historisch rekonstruiert. Der Fokus liegt dabei, begründet durch die Quellenlage, auf der Frühgeschichte der Verwendung von Verzögerungsleitungen in den USA und den unterschiedlichen Bereichen, in denen sie verschaltet wurden. Diese strukturieren auch dieses Kapitel: Fernseh-, Radar-, Computer- und Funkteletfontechnik.²² Damit wird anhand der temporalen Mikromechanismen der technischen Systeme, in die *delay lines* implementiert wurden, dargelegt, was sie in unterschiedlichen Bereichen erforderlich machte und für welche technischen Probleme sie die geeignete Lösung darstellten.

Dies ist technikgeschichtlich von Interesse. Akustische *delay lines* stellten in den zu schildernden Anwendungsbereichen eine kritische Bedingung für das störungsfreie Funktionieren technischer Medien dar. Allerdings markieren sie ein wissenschaftliches Desiderat, da sich ihnen bisher allein fallspezifisch statt historisch-komparativ gewidmet wurde.²³ Zudem wird meist (fälschlicherweise) be-

22 Von der Erläuterung der Implementierung akustischer Verzögerungsleitungen in frühen Unterwasser-Horchgeräten zur (U-)Boot-Detektion wird abgesehen, da dies bereits an anderer Stelle aufgearbeitet wurde (vgl. Kap. 4).

23 Für die Fernsehgeschichte vgl. Fickers, Andreas (2007): „*Politique de la grandeur*“ versus „*Made in Germany*“. *Politische Kulturgeschichte der Technik am Beispiel der PAL-SECAM-Kontroverse*, München, insb. 134-136. Für die Verwendung von *sound tunnels* in der Audioästhetik vgl. Doyle, Peter (2005): *Echo and Reverb. Fabricating Space in Popular Music Recording, 1900–1960*, Middletown; David Link hat der Frühgeschichte akustischer Verzögerungsleitungen einen Teil eines Aufsatzes gewidmet, vgl. Link, David (2006): „There Must Be an Angel. On the Beginnings of the Arithmetics of Rays“, in: ders. u. Siegfried Zielinski (Hrsg.), *Variantology 2. On Deep Time Relations of Arts, Sciences and Technologies*, Köln, 15-42, insb. 28ff. Link vernachlässigt aber, dass die *delay line* keine Erfindung der Fernsehtechnik war. Eine medienarchäologische Untersuchung gibt Maibaum, Johannes (2021): „Lumped Lines und Bucket Brigades – Verzögerungsleitungen als dynamische Speicher“, in: Wolfgang Ernst/Johannes Maibaum (Hrsg.), *Speicher. Theorie, Technologie, Archäologie. Ausgewählte Schriften von Horst Völz*, Bochum/Freiburg, 147-164.

hauptet, ihre ‚Erfindung‘ ginge auf William Shockley in den Bell Labs zurück.²⁴ Zudem sind akustische Verzögerungsleitungen medientheoretisch brisante Artefakte, insofern sie Implikationen für das „Übertragen“ und das „Speichern“ – neben dem „Prozessieren“ zwei von drei basalen Medienfunktionen nach Friedrich Kittler²⁵ – evozieren und sie somit für eine (noch ausstehende) Medientheorie des Speicherns von Relevanz sind.

Die Identifizierung jener drei basalen Medienfunktionen hatte für Kittler einen eher heuristischen Wert. Es erstaunt daher, dass diese Trias noch in der aktuellen Medienwissenschaft normative Wirkung entfaltet, wobei die Begriffe definitorisch meist als schon geklärt angesehen werden. Akustische Verzögerungsleitungen widersetzen sich jedoch den gängigen Zuschreibungen an das „Übertragen“ und das „Speichern“. In diesem Kapitel wird daher in einem zweiten Schritt ihre medienwissenschaftliche Bedeutung hinsichtlich dieser Medienfunktionen und deren Verschränkung dargelegt. Entsprechend zeigt das Kapitel, dass sich das Speichern als ein dynamischer Prozess ausgestalten kann, der nicht statisch mit ‚Fixierung‘, ‚Stillstellung‘ oder ‚Entzeitlichung‘ operiert, sondern auch auf Seiten akustischer, zeitlicher Figuren – verwiesen sei auf Begriffe wie Schallgeschwindigkeit, Frequenz, Flüchtigkeit, Verzögerung, Synchronität – zu verorten ist.

Im Sinne einer Genealogie flüchtiger Speicher ließe sich die akustische Verzögerungsleitung als eine Vorform modernerer Dynamic Random Access Memories (DRAM), Speichermodule für Computer, bezeichnen, die – wie es der Name schon sagt – im Gegensatz zur statischen RAM flüchtig sind. D.h., dass deren Speicherzellen im Millisekundentakt elektronisch neu beschrieben oder aufgefrischt werden müssen, um Daten zu bewahren.²⁶ Was die akustische Verzögerungsleitung dahingegen brisant macht, ist, dass sie Kurzzeitspeicherung als Akt der Übertragung von Daten oder Informationen realisiert. Damit eröffnet sich eine Differenz zu anderen Kapiteln dieser Arbeit, da Übertragungen in jenen zumeist keine semantisch sinnhaften Botschaften enthalten, sondern Sonarpings, Radarimpulse, Pistolenschüsse oder Geschützlärm sind und die Botschaft vielmehr in der Zeitlichkeit der Übertragung selbst liegt.

24 Vgl. z.B. Williams, Michael R. (1997): *A History of Computing Technology*, 2. Aufl., Los Alamitos, 306.

25 „Speicherung, Übertragung und Verarbeitung von Information – nichts anderes ist die elementare Definition von Medien überhaupt.“ Kittler, Friedrich A. (1988): „Eine Stadt ist ein Medium“, in: Dietmar Steiner et al. (Hrsg.), *Geburt einer Hauptstadt 3: Am Horizont*, Wien, 507-531, 518.

26 Zur Dynamisierung des Speicherns vgl. Ernst, Wolfgang (2014): „Zwischen(-)Speichern und Übertragen. Eine medienarchäologische Analyse des digitalen Gedächtnisses“, in: Oliver Hinte/Eric Steinhauer (Hrsg.), *Die digitale Bibliothek und ihr Recht – eine Stiefkind der Informationsgesellschaft?*, Münster, 85-107.

Um vorab eine Definition zu geben, worum es sich bei einer akustischen Verzögerungsleitung handelt, kann sich der folgenden Kurzbeschreibung aus einer Quelle von 1948 bedient werden:

„An ultrasonic delay line functions by transforming an electrical signal into a sonic one by an electromechanical transducer, propagating it through a fixed path in the transmitting medium and then converting the sonic signal back into an electrical signal by a second transducer. Very long delays can be obtained by this method, in comparison to purely electrical devices, because of the greatly decreased velocity of sound as compared to the velocity of electromagnetic propagation.“²⁷

Das grundlegende Prinzip einer akustischen Verzögerungsleitung sieht demnach vor, dass – ähnlich der Rundfunkpraxis der Sound Tunnels – ein elektrisches Signal in ein akustisches umgewandelt wird. Dieses akustische Signal durchschwingt eine Strecke bestimmter Länge – je nach gewünschter Verzögerungs- respektive Speicherdauer –, um schließlich wieder in ein elektrisches Signal zurückgewandelt zu werden. Durch diese Übersetzungskette wird eine Übertragungszeit intendiert gesteigert. Diese wird durch drei Faktoren bestimmt: (1) die Länge der *delay line*, (2) ihr Trägermedium, bspw. Quecksilber und (3) externe Faktoren wie die Temperatur. Vollständig elektrische Module zur kurzzeitigen Verzögerung von Signalen waren 1948 schon bekannt, wie die obige Quelle betont.²⁸ Allerdings hatten akustische Verzögerungsleitungen diesen gegenüber wesentliche Vorteile, da sie leichter und preiswerter herzustellen sowie kleiner waren und dennoch verhältnismäßig lange Speicherzeiten von Signalen (im Millisekundenbereich) bewirken konnten: „Because of the ratio of about 100,000 to 1 between the velocity of the electromagnetic waves in the atmosphere to the sound waves in the medium, a time delay of the appropriate character could be conveniently obtained in a small space“, hieß es 1948 von Seiten des Radiation Laboratory am Massachusetts Institute of Technology (MIT) über die Vorteile der *acoustic delay line* gegenüber anderen Verzögerungsmodulen.²⁹

27 Huntington, Hillard B./Emslie, Alfred G./Hughes, Vernon W. (1948): „Ultrasonic Delay Lines I“, in: *Journal of the Franklin Institute* 245, 1-23, 1.

28 Seit den 1930er Jahren gab es vollelektronische Verzögerungselemente wie Filternetzwerke, vgl. Tawney, Gereld L. (1941): „Electrical Time Delay Line“, United States Patent Office No. 2.390.563, Application filed October 14, 1941, Patented December 11, 1945. Von der technikhistorischen Erläuterung solcher dynamischer Speicher wird dieses Kapitel absehen.

29 Arenberg, David L. (1948): „Ultrasonic Solid Delay Lines“, in: *The Journal of the Acoustical Society of America* 20, 1-26, 1. Arenberg arbeitete zu dieser Zeit am MIT Radiation Laboratory.

Fernsehen – Bildstörung

Prominenten Einsatz erfuhren Verzögerungsleitungen als „memory units“ in der frühen Computertechnik – dazu später mehr. Wie auch David Link zeigte,³⁰ kamen sie aber bereits früher in der Fernsehübertragungstechnik zur Vermeidung von Störungen zur Anwendung. Der Techniker William Spencer Percival war in den 1930er Jahren bei den Electric and Musical Industries Ltd. angestellt – heute bekannt als Musikverlag EMI – und beschäftigte sich dort mit der Übertragung von Fernsehbildern. Das Problem bei diesen war, dass sie potenziell stark verrauscht waren und daher eine schlechte Bildqualität hatten. Über diese möglichen Störungen in der Übertragung von Bewegungsbildern berichtete Percival 1936 in einem Patent für die EMI.³¹

Ein 1938 von Percival entwickeltes System sollte jene Störungen in der Übertragung von Bewegungsbildern reduzieren bzw. bei zu geringem Signal-Rausch-Abstand die Bildsendung gänzlich unterbrechen. Er definierte dementsprechend einen Grenzwert für Störungen in Übertragungsanordnungen. Dafür nutzte sein System eine Anordnung, die den Rauschanteil eines Fernsehbildes ermittelte. Auf dieser Basis wurde ein Steuersignal generiert, welches kontrollierte, wie stark das Fernsehbild – und damit ebenso sein Rauschen – während seiner Übertragung verstärkt werden durfte. Überstieg der Rauschanteil den vorab definierten Grenzwert, sollte die Übertragung unterbrochen und das Fernsehbild durch ein neutrales Bild ersetzt werden.³² Dieses Kontrollsignal zu erzeugen und zu verarbeiten – also den Rauschanteil zu ermitteln –, dauerte einen kurzen Moment. Es galt folglich, das reguläre Bildsignal zeitversetzt zu senden, um es notwendigenfalls *rechtzeitig* zu entstören oder zu ersetzen. Es galt, mit anderen Worten, die Fernsehübertragung um eben dieses Zeitintervall zu verzögern, das benötigt wurde, den Störwert des Bildes zu ermitteln.

Durch seine Bekanntschaft mit Alan Blumlein – dem entscheidenden Pionier der Stereophonie³³ –, der sich in den 1920er Jahren bei der EMI mit Feedback-Problemen in der Langstreckentelefonie beschäftigte (hierzu später mehr), ist es

30 Link (2006): „There Must be an Angel“, 28ff.

31 Percival, William Spencer (1936): „High Frequency Signal Transmission System“, United States Patent Office No. 2.239.901, Application filed September 25, 1936, Patented April 29, 1941.

32 Percival, William Spencer (1939): „Delay Device for Use in Transmission of Oscillations“, United States Patent Office No. 2.263.902, Application filed February 2, 1939, Patented November 25, 1941, 3.

33 Vgl. Alexander, Robert Charles (1999): *The Inventor of Stereo. The Life and Works of Alan Dower Blumlein*, Oxford.

wahrscheinlich, dass Percival mit flüchtigen Verzögerungselementen vertraut war. Diese modifizierte er für seine Zwecke. Sein 1939 zum Patent eingereichtes „Delay Device for Use in Transmission of Oscillations“ beschrieb eine akustische Verzögerungsleitung, die, wenn sie in eine Übertragungsanordnung geschaltet wurde, genügend Zeit für die Berechnung des Rauschanteils eines Fernsehbildes und etwaige Korrekturen verschaffte. Um eine Operation auf einen Bildkanal in Echtzeit durchführbar zu machen, galt es, diesen zu duplizieren und den Rauschanteil *eines* Kanals zu ermitteln. Um dieses Ergebnis auf den anderen, den Hauptkanal, anzuwenden, musste jener in der fernsehtechnischen Prozessarchitektur die akustische Verzögerungsleitung durchlaufen, damit Rechenergebnis und Bildsignal letztlich gleichzeitig vorlagen.

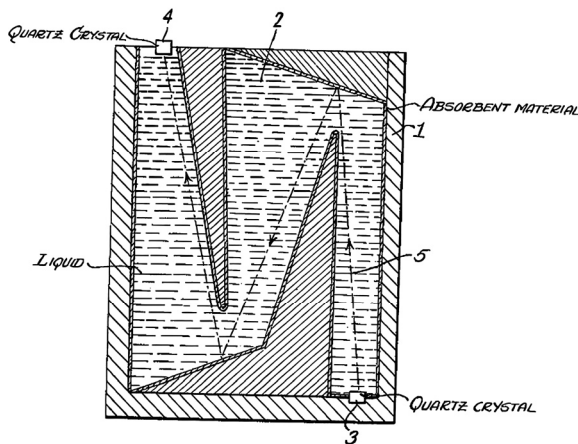


Abbildung 27: Schematische Darstellung der Verzögerungsleitung von Percival. „3“ und „4“ sind die Quarzkristalle als Sender respektive Empfänger, die unter Ausnutzung des aus dem Sonar bekannten piezoelektrischen Effekts aus einem elektrischen Signal ein akustisches und umgekehrt transduzieren. „5“ bezeichnet den Signalweg durch die Verzögerungsleitung; als Trägermedium des Schalls („2“) fungiert eine Flüssigkeit.

Interessant ist das deshalb, weil hier ein Bild- nunmehr als akustisches Signal vorlag. Percivals Verzögerungsleitung bzw. sein Signal-„labyrinth“,³⁴ wie er es nannte, nutzte als Sender und Empfänger piezoelektrische Quarzkristalle für die Umwandlung von elektrischen Signalen in hochfrequente akustische Schwingungen und umgekehrt (vgl. Abb. 27). An den Innenwänden der Leitung sollte ein möglichst absorbierendes Material verwendet werden, um lediglich das Signal des direkten

34 Percival (1939): „Delay Device for Use in Transmission of Oscillations“, 2.

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 μ s) 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.

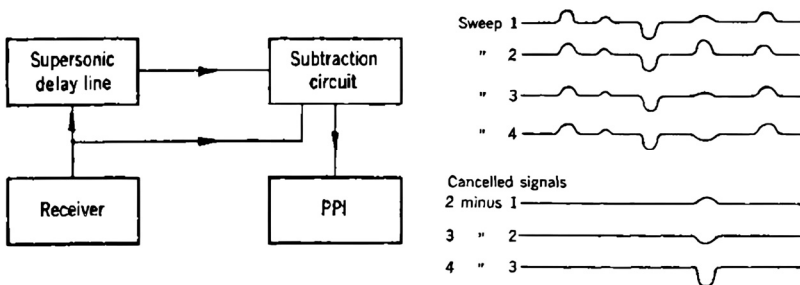


Abbildung 28: Grundlegendes Prinzip der Festzielunterdrückung. Radarechos, die am Empfänger eintreffen, werden im „Subtraction circuit“ von den ihnen vorausgehenden, durch die *delay line* verzögerten Echos subtrahiert und schließlich auf dem „Plan Position Indicator“ (PPI) zur Anzeige gebracht (links). 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.

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

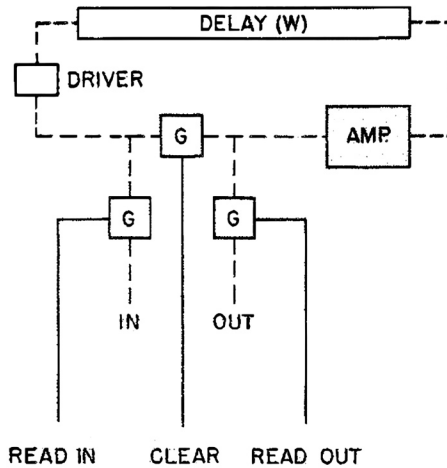


Abbildung 29: Schematisierung des Prinzips einer *delay line* in ihrer Verwendung als *computer memory*. Durch iteratives Wiedereinspeisen des Ausgangs der Verzögerungsleitung auf ihren Eingang (oben im Bild) wird diese, bei Verstärkung der zirkulierenden Signale („AMP.“), vom flüchtigen zum beständigen 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.

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.

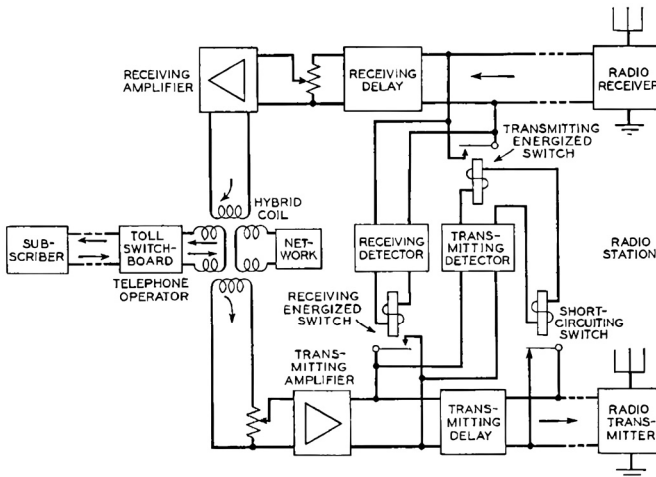


Abbildung 30: Blockschaltbild des „Vodas“ (*voice operated device anti-singing*). Die Verzögerungsleitungen sind oben und unten mittig angeordnet. Dadurch wurde gewährleistet, dass in der Zwei-Wege-Kommunikation der Kanal jeweils nur in eine Richtung und auch rechtzeitig bei schwachen Sprachlauten geöffnet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

Was haben die erörterten Implementierungen von Verzögerungsleitungen gemein? Die historisch rekonstruierten Speichermodule waren submediale Übertragungsanordnungen, die als Teil medientechnischer Prozessarchitekturen Signale kurzzeitig verzögerten, die zuvor eigens zu diesem Zweck in akustische Signale übersetzt worden waren. Die *delay lines* fanden Verwendung, wenn es galt, zwei verschiedene Signale miteinander zu vergleichen oder zu kombinieren. In diesen Fällen wurden Signale entweder zur Mittelwertbildung verarbeitet oder subtrahiert (analoge Farbfernsehtechnik und in der Radar-Festzielunterdrückung) oder miteinander kombiniert (Rundfunktechnik). Eine zentrale andere Verwendung bestand darin, für anderweitige Prozesse genügend Zeit zu schaffen, so z.B. für die Generierung eines Störsignals in der frühen Fernsehtechnik (Percivals Patent) und für die Relais in der frühen Funktelefonie. Als verschaltete Module (*embedded systems*) in technischen Systemen realisierten sie dabei Zeitkritisches: Ihre Verzögerungszeit musste exakten Vorgaben entsprechen, sie waren mit anderen technischen Taktungen synchronisiert (bspw. Radarortungen oder der Dauer einer Bildzeile beim Farbfernsehen) und ihre Verzögerungszeit musste konstant sein.

Sofern sinnlich vernehmbar, wurde Delay in der Funktelefonie bescheinigt, „less tolerable“,⁷⁵ mithin Störung zu sein. Auf submedialer Ebene war die Verschaltung von Verzögerungen hingegen der Garant für störungsfreie Kommunikation. Die zeitkritische Implementierung von Delay realisierte eine Strategie des flüchtigen Speicherns, die – wie die verschiedenen Fallbeispiele zeigen – unterschiedliche Zwecke erfüllte: Akustische Verzögerungsleitungen dienten dem Vermeiden von Redundanz (in ihrer Verwendung in der Radar-Festzielunterdrückung); dem Vorbeugen von Rückkopplung (in der Funktelefonie); der Realisierung eines Arbeitsspeichers (in frühen Computern); der Herstellung von Audioästhetik (in der analogen Rundfunkpraxis); und sie waren Garant bildfarblicher Kohärenz (in der analogen Fernsehtechnik). Oder mit David Link kommentiert: „In communication, delay is a most unwelcome phenomenon, but from the angle described above, it is volatile, short-term storage.“⁷⁶

Im nachrichtentheoretischen Sinn erfüllten akustische Verzögerungsleitungen nicht in allen ihren Anwendungsbereichen die Funktion eines Speichers. In der frühen Fernsehtechnik und der Funktelefonie sollte die *delay line* schlicht genügend Zeit verschaffen, um entweder Korrekturen an einem Ausgangssignal vornehmen zu können oder den jeweiligen Sprechkanal rechtzeitig freizuschalten. Beim Radar hingegen – wie anschließend in der Computer- und späteren Fernsehtechnik – kann auch im technisch engen Sinn von einem Speichern ausgegangen

75 Brown (1937): „Transoceanic Radio Telephone Development“, 560.

76 Link (2006): „There Must Be an Angel“, 30.

werden. Denn dort galt es, den Informationsgehalt von Signalen zu speichern, um diesen mit später eintreffenden Signalen zu verrechnen oder zu kombinieren.

Auf Basis einer komparativen technikhistorischen Analyse der Verschaltung von akustischen Verzögerungsleitungen wurden in diesem Kapitel Übertragungen untersucht, die nicht der Vermessung von Räumen und Körpern galten, sondern flüchtige Speicher realisierten. Dabei ist davon auszugehen, dass eine *delay line* nachrichtentheoretisch interpretiert eine vollkommen sinnfreie Übertragungsanordnung darstellt. Die zu übertragenden Daten oder Signale lagen in den medientechnischen Prozessarchitekturen, in welchen sie zum Einsatz kamen, bereits vor. Damit fehlte es der Übertragung nachrichtentheoretisch gelesen an Notwendigkeit: Die zu übertragenden Informationen waren originär schließlich bereits am richtigen Ort verfügbar – allerdings waren sie dies nicht zur erforderlichen Zeit.

Scheinen Verzögerungsleitungen *prima facie* analoge Module zu sein, sind sie nicht eindeutig auf der Seite des Digitalen oder Analogen zu verorten. Ob die durch sie gesendeten Signale analogen oder digitalen Medientechniken dienten, entschied sich an diesen Signalen selbst, nämlich daran, ob diese kontinuierlich, mithin analog, oder diskret, mithin digital vorlagen. Im Falle früher Digitalcomputer diente die *delay line* als Arbeitsspeicher digitaler Daten, in den anderen geschilderten Anwendungsbereichen diente sie der flüchtigen Speicherung analoger Signale.

Wie erwähnt entfaltet die von Friedrich Kittler eher mit heuristischem Anspruch identifizierte Trias an Medienfunktionen noch in der aktuellen Medienforschung normative Wirkung. Auf Basis akustischer Verzögerungsleitungen sollte dies hinsichtlich des „Speicherns“ kritisch hinterfragt werden. Begrifflich verdankt sich das Speichern dem Lateinischen *spicarium*, das originär architektonische Einrichtungen zur materiellen Aufbewahrung von Gütern bezeichnete; klassischerweise die Korn- und Getreide-, aber auch Waffenspeicher, die s.g. Zeughäuser. Dieser Etymologie entsprechend hatte Kittler dem Speichern bescheinigt, der Überbrückung von Zeit zu dienen.⁷⁷ Ebenso wird in der Medienwissenschaft (und nicht nur dort) heute der Begriff definiert. Das Speichern sei gleichbedeutend mit einer Stillstellung; es ziele, so heißt es, auf eine „zeitliche Fixierung“⁷⁸ ab, womit ein statisches Verständnis von Speichern assoziiert wird. Speichern, so Hartmut Winkler, meint neben dem „Stillstellen“⁷⁹ auch das „Verfestigen“,⁸⁰ das Herstellen von etwas Stabilem; und weiterhin schreibt er: „Speicher stehen, als Technik der Stillstellung,

77 Kittler, Friedrich (2002): *Optische Medien. Berliner Vorlesung 1999*, Berlin, 46.

78 Neubert (2015): „Speichern“, 538.

79 Winkler, Hartmut (2015): *Prozessieren. Die dritte, vernachlässigte Medienfunktion*, Paderborn, 130.

80 Ebd., 153.

gegen die Zeit.“⁸¹ Mithin sollen Prozesse der Speicherung Signale „fixieren“.⁸² Ähnlich heißt es bei Helmut Schanze, das Speichern als „zentrale Funktion in Mediensystemen“ sei ein „System der Codierung (...) zur Aufzeichnung“ und „Fixierung“.⁸³ Speicher dienen einer „Überwindung von Zeit“,⁸⁴ sie sind die materiellen Orte, an denen Informationen abgelegt, mithin „stillgestellt werden.“⁸⁵ In dieser Lesart erscheinen Speicher als Architekturen, Institutionen oder Module der Konservierung bzw. Entzeitlichung.

Am Beispiel akustischer Verzögerungsleitungen konnte dieses Kapitel zeigen, dass Speichern und Übertragen nicht per se verschiedene mediale Funktionen darstellen. Sie können operativ verschränkt sein, wenn ein Übertragungsakt ein flüchtiges Speichern realisiert bzw. umgekehrt, wenn Speichern durch Übertragen stattfindet. Verzögerungsleitungen als operative Kanäle ‚überwinden‘ – wie sich in Erwiderung zu Hartmut Winkler⁸⁶ oder Perspektivierungen von Übertragungs- und Speichermedien durch Harold Innis⁸⁷ formulieren ließe – nicht *entweder* Raum (Übertragungsmedien) *oder* Zeit (Speichermedien), sondern *weder* Raum *noch* Zeit. Damit wird deutlich, dass Übertragungs- als Speicheroperationen und *vice versa* gedeutet werden können, wie es nüchtern im Band *HF Übertragungsleitungen* von 1962 hieß: „Jede Übertragungsleitung könnte als Verzögerungsleitung benutzt werden“.⁸⁸ Verzögerungsleitungen erscheinen als Übergangsobjekte, die Kommunikations- als Speicherdispositive deuten. Ganz in diesem Sinne könnte im Übrigen *jede* Praxis und Technik der Übertragung als räumlich bedingte Speicherdauer interpretiert werden, womit, im Sinne John Durham Peters, „sending and saving are twin faces of the same communication circuit“⁸⁹ insbesondere für das Fallbeispiel von *delay lines* gilt. Für die Medien- und Techniktheorie hat das nicht unwesentliche Konsequenzen, da Speichern somit nur mit Einschränkung die Be-

81 Ebd., 14.

82 Ebd., 130.

83 Schanze, Helmut (2002) (Hrsg.), *Metzler-Lexikon Medientheorie – Medienwissenschaft. Ansätze – Personen – Grundbegriffe*, Stuttgart/Weimar, 333.

84 Fingerhut, Elena (2017): „Übertragen und Speichern. Zum Verhältnis von Adressen und medialen Gehäusen“, in: Christina Bartz et al. (Hrsg.), *Gehäuse. Mediale Einkapselungen*, Paderborn, 343-361, 354.

85 Ebd., 357.

86 Vgl. Winkler, Hartmut (2015): *Prozessieren*, 9.

87 Vgl. Innis, Harold (1950): *Empire and Communications*, Oxford, insb. 7.

88 Schure, Alexander (1962) (Hrsg.), *HF Übertragungsleitungen. Elektronik für den Praktiker*, Berlin, 70.

89 Peters, John Durham (2003): „Space, Time, and Communication Theory“, in: *Canadian Journal of Communication* 28(4), 397-412, 404.

dingung dafür ist, dass etwas übertragen werden kann. „Speichern bedeutet Stillstellung, und Übertragen setzt Stillstellung voraus“⁹⁰ mag insofern nur eingeschränkt gelten. Auch kann „Zirkulation“ *nicht* als Gegenbegriff zum Speichern verstanden werden.⁹¹ Vielmehr basiert die Speicherfunktion der akustischen Verzögerungsleitung auf einer Mobilität von Daten, nämlich unter kontrollierten, zeitkritischen Bedingungen, wobei die Taktung der Übertragung entscheidendes Kriterium für ein flüchtiges Speichern wird.

In Claude Shannons „Mathematical Theory of Communication“ ist der Kanal ein Mittel, ein Signal von einem Sender zu einem Empfänger zu übertragen: „The channel is merely the medium used to transmit the signal from the transmitter to receiver.“⁹² Durch die Verzögerungsleitung erfährt diese basale Definition des Kanals eine Akzentverschiebung bzw. Erweiterung. Der Kanal fungiert nicht als Überträger einer Botschaft über eine räumliche Distanz, sondern die physikalische Eigenschaft seiner Materialität, durch ihn gesendete Signale zu verzögern, ist sein spezifisches Charakteristikum. Verzögerungsleitungen operationalisieren den Kanal als flüchtigen Speicher. Die Botschaft der *acoustic delay line* im Sinne Marshall McLuhans ist mithin eine Zeitliche: Als Zeitkanal können mit ihr Signale an eine bestimmte Zukunft adressiert werden, was wiederum zur Frage der Adresse führt.

Die Adresse ist eine Bedingung für die Übertragung, wie Hartmut Winkler herausgearbeitet hat. Schließlich muss vor jedem Übertragungsakt das Ziel der Übertragung definiert sein: „Übertragung bedeutet, dass feststehen muss, wohin übertragen wird. ‚Wohin‘ aber meint etwas Feststehendes, einen Ort.“⁹³ Im Falle von Verzögerungsleitungen reicht die Bedingung, über die Adresse eines Zielorts, d.h. eines Empfängers zu verfügen, nicht aus bzw. gibt es eine zentrale Nebenbedingung: Die genaue Adresse ist ebenso entscheidend wie der exakte Zeitpunkt, an welchem die Sendung dort ankommen soll. Neben dem Ziel-Ort ist diese *Ziel-Zeit* bei Verzögerungsleitungen das kritische Moment, da diese wiederum die Bedingung dafür war, zeitversetzte Signale miteinander zu verrechnen bzw. mit externen Taktungen der Prozessarchitektur zu synchronisieren. Ziel der Übertragung war in diesem Fall nicht ausschließlich die fehlerfreie Reproduktion am Empfän-

90 Winkler (2015): *Prozessieren*, 217. Weiterhin, so Winkler, sei Übertragung auf etwas zuvor Stillgestelltes, Stabiles angewiesen, was im Falle der akustischen Verzögerungsleitung auch nicht gilt, ebd., 167.

91 Neubert (2015): „Speichern“, 548.

92 Shannon (1948): „A Mathematical Theory of Communication“, 380.

93 Winkler (2015): *Prozessieren*, 182.

gerort („das Ziel einer Übertragung ist ja immer ihr fehlerfreier Inhalt“⁹⁴), sondern zusätzlich die zeitkritisch exakte dortige Ankunft.

Speichern, Übertragen, Prozessieren – wenn Friedrich Kittler diese Trias von Medienfunktionen allein idealtypisch und einer Heuristik dienend behauptete, sollte die aktuelle Medien- und Techniktheorie davon Abstand nehmen, diese Begriffe als stets geklärt zu verwenden und sich nicht an ihrer vermeintlichen Normativität ausrichten. Akustische Verzögerungsleitungen sind flüchtige Speichermodule, anhand derer dieses Kapitel aufzeigen konnte, dass das Speichern und das Übertragen in unterschiedlichen Prozessarchitekturen und Infrastrukturen unterschiedlichen Zwecken dienen kann. Die wiederum heuristische Konsequenz hieraus wäre, die Komplexität technischer Medien nicht reduktionistisch auf drei Funktionalitäten abzubilden. Vielmehr gilt es umgekehrt, die je spezifische Operativität technischer *agencies* zu untersuchen und erst anschließend zu fragen, welche funktionale Handlungsmacht diese entfalten. So entbirgt sich „Verzögerung“ als genuine Medienfunktion, die sich nicht eindeutig dem Speichern, dem Übertragen oder gar dem Prozessieren zuschlagen lässt.

Im Falle akustischer Verzögerungsleitungen ist der Akteur Delay als volatiler Speicher interpretiert worden. Damit unterscheidet sich diese Form der Operationalisierung von Signallaufzeiten von den in den vorigen Kapiteln untersuchten Techniken, die dem Messen von Entfernungen im Georaum dienten. Delays erfuhren allerdings auch in einer Umgebung Anwendung, die sich von den bisherigen Räumen und Umwelten – Postrohre, militärische Felder, Quecksilberleitungen, Weltmeere – unterscheidet: biologische Körper. Diese stehen im Fokus des folgenden Kapitels, das sich der sonographischen Vermessung lebender Körper auf Basis von Delay historisch widmet.

94 Völz, Horst/Höltgen, Stefan (2018): *Medientechnisches Wissen 1: Logik: Informations- und Speichertheorie*, Berlin/Boston, 167.

8. Sonographie

„work on the human body“

„Bei dieser Energie war eigentlich überhaupt nichts zu spüren (...).“

– Karl Theo Dussik, 1942¹

Diagnostik statt Therapeutik

In der Ausgabe Nummer 174 der *Zeitschrift für die gesamte Neurologie und Psychiatrie* erschien 1942 ein Artikel, der über Experimente berichtete, die richtungsweisend für ein eigenständiges Arbeitsfeld der medizinischen Praxis werden sollten. Selten wird die interdisziplinäre Zirkulation von technologisch-naturwissenschaftlichem Wissen bereits im historischen Kontext explizit. Eine Ausnahme stellen die Ursprünge der Sonographie und die Begründung s.g. Ultraschallbilder (Sonogramme) dar, die einen wesentlichen Anteil an der heute gängigen diagnostischen Medizinpraxis haben. So wurde die Verbreitung von Wissen um die Produktivität von Signalverzögerungen über unterschiedliche Diskurse hinweg durch einen wesentlichen Akteur des Feldes und Autoren des eingangs erwähnten Artikels explizit: Karl Theo Dussik in seinem Aufsatz „Über die Möglichkeit, hochfrequente mechanische Schwingungen als diagnostisches Hilfsmittel zu verwerten“. Darin schrieb er:

„Zu der Annahme, hochfrequente mechanische Schwingungen könnten auch medizinische Bedeutung erhalten, und zu dem Plane, ihre diagnostische Verwertung zu versuchen, wurde ich Ende 1937 durch einen kurzen Übersichtsartikel über Anwendung dieser Energieform in

1 Dussik, Karl Theo (1942): „Über die Möglichkeit, hochfrequente mechanische Schwingungen als diagnostisches Hilfsmittel zu verwerten“, in: *Zeitschrift für die gesamte Neurologie und Psychiatrie* 174, 153-168, 163.

der Unterwasserschalltechnik zum Zwecke der Echolotung und bei der Prüfung von Werkstücken auf kleine Fehlerstellen angeregt.“²

1908 geboren, studierte und promovierte Dussik an der Universität Wien und wurde 1938 Facharzt für Neurologie und Psychiatrie an der Wiener Poliklinik. Eher zufällig las er 1937 einige Artikel, die ihn nachhaltig beeinflussen und zu eigener Experimentalforschung anregen sollten: über zerstörungsfreie Werkstoffprüfung, über die Sonararbeiten des Franzosen Paul Langevin sowie über die Forschungen des deutschen Physikers Reimar Pohlmann zur Ultraschall-Therapie. In der *Zeitschrift für die gesamte Neurologie und Psychiatrie* von 1942 berichtete er über seine daraufhin durchgeführten Experimente, die maßgeblich zur Begründung der Sonographie als wissenschaftlicher Praxis beitragen sollten – wobei er das erste Mal den Begriff des „Ultraschallbildes“ nutzte.

Dussik sah seine Forschung zunächst mit „erhebliche[n] Schwierigkeiten“³ konfrontiert: In Ermangelung technischer Geräte, finanzieller Unterstützung oder bereits anderweitig durchgeführter Grundlagenforschung konnte er erst fünf Jahre nach 1937 über erste erfolgreich durchgeführte Arbeiten berichten. Im Unterschied zu anderen, insbesondere den späteren US-amerikanischen Sonographie-Forschungen, waren Dussiks Arbeiten im besten Sinne des Wortes experimentell. So berichtete ein US-amerikanisches Forscherteam aus dem Kontext des Acoustic Laboratory am MIT 1949, dass sie Dussik im österreichischen Bad Ischl besuchten. Dort praktizierte dieser seinerzeit und erklärte, mit welchen Materialien und unter welchen Bedingungen er seine Apparatur konstruiert hatte: „Dr. Dussik told the American medical officers that he fully realised his apparatus was crude, having been made in a local shop under rather adverse circumstances [...]“⁴

Dussiks Arbeiten beschäftigten sich vorrangig mit den Fragen, welche krankhaften Zustandsänderungen in menschlichen Körpern durch Ultraschall zu erkennen wären; ob die Anwendung von Ultraschall eine Gefahr für Patient:innen darstellte (immerhin tötete der von Langevin am Beginn seiner Sonarexperimente erzeugte Ultraschallstrahl kleine Fische); wie dies apparativ zu realisieren sei; und welche Körperregionen aus anatomischen und physikalischen Gründen für eine

2 Ebd., 153.

3 Ebd.

4 Zit. n. Yoxen, Edward (1993 [1987]): „Seeing with Sound: A Study of the Development of Medical Images“, in: Wiebe E. Bijker/Thomas P. Hughes/Trevor Pinch (Hrsg.), *The Social Construction of Technological Systems. New Directions in the Sociology and History of Technology*, Cambridge, MA./London, 281-303, 286.

sonographische Untersuchung in Betracht kämen.⁵ Dussik ging (korrekterweise) von der Möglichkeit der Untersuchung des Hirnschädels und (fälschlicherweise) der Wirbelsäule aus. Sein Interesse galt primär der zweidimensionalen Darstellung der Form der flüssigkeitsgefüllten Ventrikel des menschlichen Gehirns. Denn das Erkennen von Abnormalitäten dieser Gehirnkammern lässt Rückschluss auf ungewöhnliche Formen des Gehirngewebes zu, was wiederum auf einen Tumorbefall des Gehirns schließen lässt.

Mit diesem Forschungsansatz nahm Dussik eine Neubewertung des Ultraschalls vor. Die Verwendung von Ultraschall in der medizinischen Praxis war seinerseits nicht neu, allerdings war sie für etwas anderes vorgesehen: die nichtinvasive Behandlung körpermitmanenter Krankheiten. Über Ultraschall war im medizinischen Kontext bekannt, dass hohe Schallenergien irreversible biologische Folgen hinterließen. Die Ärzte Gohr und Wedekind hatten 1940 nachgewiesen, dass er biologische Stoffe wie Insulin, Vitamin C usw. zerstören kann und zeigten in Tierexperimenten irreversible Schädigungen von Kaninchen, Fischen und Fröschen.⁶ Da Ultraschall Effekte entfaltet, obgleich er mit dem menschlichen Hörsinn nicht vernehmbar ist, führten die beiden Ärzte ein Experiment durch, um seine Wirkungen am eigenen Leib zu erfahren. Statt eines technischen Sensors fungierten im Experiment ihre eigenen Körper als Indikatoren von Ultraschall:

„Seine besonderen, für den Biologen wichtigen Eigenschaften lernt man am besten im praktischen Versuch kennen. Füllt man die schalenförmig geöffnete Hand mit irgendeiner Flüssigkeit und bringt sie mit der Oberfläche des [Ultra-]Schallsenders in Berührung, so empfindet man zunächst eine erhebliche Hitze und ein sehr lebhaftes Schmerzgefühl, das man in erster Linie im Innern der Hand verspürt (...).“⁷

In den 1920er und 1930er Jahren begann eine Beschäftigung mit Ultraschall in der Medizin, da sich piezoelektrische Wandler aus dem Bereich der Unterwasserschalldetektion und -lokalisation (vgl. Kap. 6) auch in anderen Bereichen etablier-

5 Einen Überblick, was im historischen Kontext über Ultraschall bekannt war, gibt Wood, Robert William (1939): *Supersonics. The Science of Inaudible Sound*, Providence, RI.

6 Gohr, H./Wedekind, Th. (1940): „Der Ultraschall in der Medizin“, in: *Klinische Wochenschrift* 10(2), 25-29. Zu weiteren Auswirkungen von Ultraschall auf biologische Strukturen notierten sie: „In pflanzlichen Zellen wird das Protoplasma von der Zellwand losgerissen und zerstört. Blutkörperchen werden teilweise hämolysiert, Hefezellen verlieren ihre Vermehrungsfähigkeit, Leuchtbakterien ihre Leuchtfähigkeit, Krankheitserreger können avirulent werden. Colibakterien werden scheinbar nicht beeinflusst; kleine Fische und Frösche werden gelähmt und dann getötet.“ Ebd., 27.

7 Ebd., 26.

ten. Das Interesse bestand vornehmlich an seiner stoffverändernden Wirkung. So schlug 1935 der deutsche Mediziner Erwin Schliephake die therapeutische Verwendung von Ultraschall vor.⁸ Von den Forschenden wurden die mechanischen Quantitäten des Schalls als produktiv erachtet, bspw. zur Zerstörung pathologischer Strukturen wie von Tumoren oder Nierensteinen. Schall wurde mithin als nichtinvasives energetisches statt datengenerierendes Mittel interpretiert. Dussik hingegen widmete sich der *diagnostischen* Verwendung von Ultraschall. Als Vorbild hierfür galten ihm u.a. Echolotungen, die die Strukturen von Wasser-Tiefenschichten schließlich nicht zu ändern suchen, sondern Rückschlüsse auf uneinsichtige Präsenzen zulassen. Dussik betrachtete Echolotungen als technisches Vorbild für die medizinische Diagnostik, da Schall – so Dussik im sprachlichen Bild ozeanischer Sondierungen – „in Tiefen dringt, die wir mit dem Auge nicht mehr erreichen können.“⁹

Dass Klang im diagnostischen Sinn tief, aber dennoch nichtinvasiv in biologische Körper einzudringen vermag, hatte für Dussik wesentliche Vorteile, deren epistemischen Wert er erahnte. In geradezu nüchterner Art schrieb er vom Visualprimat des Menschen und der Hegemonie des Blicks für den – nicht nur medizinischen – Erkenntnisgewinn. Der Zusammenhang zwischen krankhafter Veränderung von Organen oder Gewebe und den damit einhergehenden akustischen Transformationen biologischer Körper war für ihn „tiefer bedingt“ als der Zusammenhang zwischen „krankhaften Zustandsänderungen und dem für das Auge erfaßbarem Bild. Wir schätzen nur deshalb im allgemeinen die optischen Daten wichtiger ein, weil wir als Menschen ‚Augentiere‘ sind und gewöhnt sind, meistens optische Eindrücke für die Orientierung vorzuziehen.“¹⁰ Mit diesen Worten antizipierte Dussik nicht nur eine basale Prämisse der Sound Studies, sondern nobilitierte Ultraschall zum Untersuchungsmittel der medizinischen Diagnostik. Krankhafte Gewebeveränderungen mögen nämlich selten einsichtig sein. Dafür aber verändern derartige Vorgänge bereits im frühen Stadium die physikalischen Eigenschaften biologischer Körper, die folgend die Ausbreitung oder Reflexion von Schall beeinflussen. „Über diese Eigenschaften der Gewebe und ihre Abweichung vom normalen Zustand könnte uns“, so Dussik, „der Ultraschall Auskunft geben und damit würden nicht unwichtige Daten geliefert werden.“¹¹

8 Vgl. Schliephake, Erwin (1935): „Schallschwingungen in der Therapie“, in: *Klinische Wochenschrift* 14(47), 1689-1690.

9 Dussik (1942): „Über die Möglichkeit“, 155.

10 Ebd., 154-155.

11 Ebd., 155.

Der akustemische Zugriff auf den menschlichen Körper und die Konstitution des Subjekts als immanent tönendes, klangliches Wesen ist älter, als es der Fokus auf Dussik nahelegen mag. Akustik war bereits im 18. Jahrhundert als zweckdienlich für die medizinische Diagnostik erachtet und der auditive Zugriff auf den menschlichen Körper praktiziert worden. Bedingung jenes sonischen Körperverständnisses war – wie bei Dussik – das Wissen um Veränderungen in der Klanglichkeit des Menschen bei Gewebekrankheiten. Der österreichische Arzt Joseph Leopold Auenbrugger (1722-1809) entwickelte daher die der Diagnostik dienende Perkussion: das Abklopfen des Brustkorbes mit den gespannten Fingerspitzen. In seiner 1761er Abhandlung *Neue Erfindung mittels Anschlagens an den menschlichen Brustkorb, als ein Zeichen, um verborgene Brust-Krankheiten zu entdecken* beschrieb Auenbrugger sein buchstäbliches Fingerspitzengefühl:

„Ich lege dir, günstiger Leser, ein neues von mir erfundenes Zeichen vor zur Entdekkung von Brustkrankheiten. Es besteht dies im Anschlagens an den menschlichen Brustkorb, aus dessen verschiedenem Widerhall der Töne sich ein Urteil über den inneren Zustand dieser Höhle gewinnen lässt.“¹²

Nicht durch Sezieren oder Obduktion wurde durch Auenbrugger die ‚Höhle‘ des Menscheninneren betrachtet, sondern durch Klang sondiert. Wie es die biographische Anekdote will, soll Auenbrugger als Kind im Wirtshaus seines Vaters den Füllstand von Weinfässern mithilfe von Klopfen erfasst haben. Um innere, nicht einsehbare Zustände des Menschen zu erforschen, brauchte er nach seinem Studium lediglich Weinfässer durch Leichen austauschen. „Wenn in einer Leiche die sonore Brusthöhle mit einer injizierten Flüssigkeitsmenge gefüllt wird“, schrieb Auenbrugger, „so wird der Ton der angefüllten Seite bis zu jener Höhe gedämpft, so weit die eingespritzte Flüssigkeit gestiegen ist.“¹³ Damit hatte er empirisch geprüft, dass, was für Weinfässer galt, auch für biologische Körper gelten durfte. Veränderungen im Widerhall von Klopfeschall standen für Auenbrugger – und seitdem für jede andere Ärztin – für eine anormale Luft- oder Flüssigkeitsmenge im Körper oder für eine Verhärtung von Organen. Zusammen mit René Théophile Hyacinthe Laennec (1781-1826), der entdeckte, dass er mit einem zusammengerollten Blatt Papier eine auditive Verstärkung des körperimmanenten Schalls erreichen konnte, gilt Auenbrugger als Wegbereiter der physikalischen Diagnostik auf Basis von

12 Zit. n. Volmar, Axel (2012): „Stethoskop und Telefon. Akustemische Technologien des 19. Jahrhunderts“, in: Andi Schoon/Axel Volmar (Hrsg.), *Das geschulte Ohr. Eine Kulturgeschichte der Sonifikation*, Bielefeld, 71-94, 74.

13 Ebd.

Akustik. Laennecs Stethoskop (wörtlich übersetzt „Brustbetrachter“) löste den Begriff des Betrachtens in der medizinischen Diagnostik vom Optischen und nahm eine Verschiebung hin zum Akustischen vor. Bis dato war die Betrachtung eines der Krankheit anheim gefallenen Brustkorbes nur durch Obduktion möglich, was einer kranken Patientin keine Rehabilitation bescherte. Nunmehr konnten auch Brustkörbe lebender Patient:innen akustisch betrachtet werden.

Als Schallempfänger fungierten bei Auenbrugger und Laennec zuvorderst Sensorien: ihre Ohren. Sie sind genuin dem Feld auditiver Hermeneutik zuzuordnen, da sie Schall bzw. die Veränderung im Klangbild menschlicher Körper als Indiz für körperimmanente Krankheiten deuteten. Ihr klanglicher Zugriff auf Patient:innen *interpretierte* verschiedene Klanglichkeiten. Dussiks Pionierleistung bestand darin, sich im Kontext medizinischer Diagnostik vom Hören zu verabschieden. Er ersetzte menschliche Ohren durch eine elektronische Sender-Empfänger-Anordnung und nutzte Akustik jenseits ihrer semantischen Dimension ausschließlich als hochfrequente Schwingung im Sinne der physikalischen Akustik. Die Klanglichkeit der Akustik – und damit das Hören – war nachrangig bzw. nicht intendiert. Zudem *kann* Ultraschall, trotz all seiner diagnostischen Qualitäten,¹⁴ von menschlichen Ohren, mithin untersuchenden Ärzt:innen, nicht vernommen werden. Ultraschall begründete ein diagnostisches Wahrnehmungsproblem, das Dussiks Vorhaben auf ein apparatives Setting verwies. Dieses musste für den medizinischen Erkenntnisprozess und als Bedingung der Möglichkeit einer Datenakquise die menschlichen Sinne medientechnisch supplementieren. So hielt Dussik fest: „Dieser Aufgabe dienen verschiedene physikalische Verfahren, mit deren Hilfe sich Ultraschall verhältnismäßig einfach feststellen und messen läßt.“¹⁵ Emblematisch zeigt sich dies in der von Dussik begründeten Sonographie begrifflich. Diese ist ein bildgebendes Verfahren, d.h. es gilt, ihre sonische Grundlage letztlich in eine graphische Darstellung zu überführen, um einen nichtinvasiven Zugriff auf körperimmanente Strukturen zu gewährleisten. Der Mensch ist schließlich ein „Augentier“, wie es Dussik selbst schrieb, und daher galt sein ‚Augenmerk‘ einer graphischen Methode. Nur war Karl Theo Dussik Arzt. Deshalb benötigte er die Hilfe seines Bruders – ein Physiker –, um eine Apparatur zu konstruieren, die visualisierte, was Dussik zu untersuchen gedachte.

14 Über die etwaigen Defekte des Hörschalls für die medizinische Diagnostik reflektierte Dussik bereits. Der Hörschall sei im Unterschied zum Ultraschall schlechter messbar, er folge komplexeren Bedingungen, er sei schlechter zu bündeln, mithin zu richten, und er sei im physikalischen Sinne weniger gut reproduzierbar. Dussik (1942): „Über die Möglichkeit“, 155.

15 Ebd.

Die beiden Dussiks konstruierten eine elektrotechnische Apparatur, die unter den Bedingungen des begrenzten Kapitals und des limitierten technischen Equipments dem Erkenntnisinteresse standhalten musste. Als kritischen Parameter der Messanordnung deklarierten sie die Absorption von Ultraschall, genauer gesagt die unterschiedliche Absorption von Ultraschall durch Gehirngewebe und Gehirnkammern. Als Indikator für die Unterschiede der Absorption von Gewebefeldern diente eine visuelle Darstellung, die Rückschluss auf den mit Ultraschall durchschwungenen Körperteil zulassen sollte: ein explizit s.g. Ultraschallbild. In den Worten von Dussik:

„Die durch das spezielle Verfahren technisch zu lösende Aufgabe war, die in einem Objekt bestehende Absorptionsverhältnisse mit sehr kleinen Schallenergien für kleine Felder (z.B. 1 qcm) eines Untersuchungsobjektes zu bestimmen und die Ergebnisse mit Hilfe einer Registriermethode gut darzustellen, also ein anschauliches Ultraschallbild des Untersuchungsobjekts zustande zu bringen.“¹⁶

Die Energieabsorption wurde durch die Verfärbung eines hitzesensitiven Papiers sichtbar: In einem Wasserbad wurde ein zu untersuchendes Gewebestück von einem Ultraschallstrahl durchschwungen und dabei unterschiedlich stark von jenem Gewebe absorbiert; der Schallstrahl wurde mit einem Empfängerquarz wieder in Elektrizität transduziert und einer Glühlampe zugeführt; diese leuchtete entsprechend der empfangenen Ultraschallenergie stärker oder schwächer. War die Lampe an eine photographische Platte gekoppelt und wurde diese synchron mit dem zu untersuchenden Gewebestück verschoben, ergab sich ein zweidimensionales *Schallbild*. Die Übersetzungskette und Experimentalanordnung basierte also auf dem piezoelektrischen Prinzip. Nun sind Ärzt:innen selten Elektrotechniker:innen und der piezoelektrische Effekt war jener Zeit im Kontext der medizinischen Diagnostik noch vollkommen unerprobt. Durch proaktive, selbstorganisierte Kooperation mit dem Physikalischen Institut der Universität Wien (namentlich mit einer von Dussik erwähnten Dozentin Seidel) und dem Hochfrequenztechniker C. Reisinger konnten sie dennoch eine erste Experimentalanordnung realisieren.

Da die potenziell gewebeverändernden Eigenschaften von Ultraschall bekannt waren, galt es für die Dussiks, sorgsam unter jener Schwelle zu agieren, ab welcher strukturverändernde Wirkungen beginnen: „Gerade die biologischen Versuche [von Gohr und Wedekind] zeigen aber auch, worauf es ankommt, wenn Schädigungen vermieden werden sollen: wir müssen mit sehr kleiner Energie ar-

16 Ebd., 159.

beiten, um jedenfalls unter der Schädigungsschwelle zu bleiben.“¹⁷ Das sonographische Verfahren durfte Ultraschall lediglich unter der für Patient:innen gefährvollen Grenze verwenden, musste aber über ausreichende Energie verfügen, um diagnostisch auswertbare Daten zu produzieren. Die Frage, ob Ultraschallbestrahlungen geringer Energien an lebenden Menschen ohne Schädigungen durchgeführt werden können, klärten die Experimentatoren im kritischen Selbstversuch: Dussik und Reisinger setzten Teile ihrer Körper der Beschallung aus – darunter ihre Köpfe „quer durch den Schädel von Schläfe zu Schläfe“ –, um zu dem Ergebnis zu gelangen, „eigentlich überhaupt nichts zu spüren“.¹⁸ Folgt man der akademischen Binsenweisheit, dass Medien im Gebrauch zum Verschwinden tendieren und die Unmittelbarkeit des Mediums (*immediacy*) am ausgeprägtesten ist, wenn man es nicht mehr bemerkt, nobilitierten jene Selbstversuche die Sonographie zum diagnostischen Medizinmedium *par excellence*: Das Sonische des Verfahrens hatte sich vollkommen der Wahrnehmung der prototypischen Testsubjekte entzogen. Im Widerspruch zu den von Gohr und Wedekind durchgeführten Ultraschall-Experimenten, die die irreversible Wirkung des Ultraschalls auf biologische Körper nachwiesen, stand dies nicht. Jene operierten mit mehr als fünfzigfacher Energie im Vergleich zu den Selbstversuchen von Dussik et al. Der Unterschied zwischen diagnostischer und therapeutischer Ultraschallmedizin erwies sich als jener der Schallstärke: „Es handelt sich eben um eine Frage der Schallamplitude“,¹⁹ kommentierte Dussik.

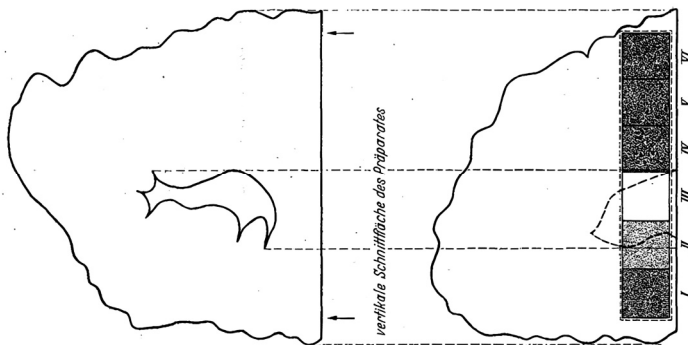


Abbildung 31: Dussiks „Ultraschallbild“ (in der Abb. rechts) eines Stücks aus der rechten Hemisphäre eines normalen, in Formol gehärteten Gehirns, in welches ein Ventrikelabschnitt hineinreicht.

17 Ebd., 157.

18 Ebd., 163.

19 Ebd.

Bevor beide Dussiks Visualisierungen von Ultraschall erzeugten – und mit diesen den Begriff des „Ultraschallbildes“ und des „Hyperphonogramms“ prägten –, galt es ihnen, die Semantik jener Bilder zu klären. Sie definierten, was in ihrem apparativen Setting Störung und Signal sei bzw. konkreter: welche singuläre körperimmanente Botschaft sie aus der biologischen Komplexität eines menschlichen Körpers auf Basis des Akustischen zu visualisieren suchten. So zeigt ein frühes Ultraschallbild gemäß verschiedener Absorptionsgrade eine unterschiedlich starke Verdunkelung eines hitzesensitiven Papiers (Abb. 31 rechts). Nur: Ohne ein Wissen, was zur bildlichen Darstellung gelangte, blieb die Visualisierung semantisch und syntaktisch unverständlich. Die Bilder setzten ärztliche Interpretationsfertigkeit voraus, die auf dem Stand der verwendeten Technik sein musste. Allein durch ein empirisches Wissen, was die Bilder zeigten, wurden sie sinnfällig. Bereits Dussik explizierte die neu erforderliche Syntax zum Lesen der Bilder: „Die ungewohnte Darstellungsform der Hyperphonogramme muß man ebenso erst lesen lernen wie die Röntgenbilder“,²⁰ bevor diagnostische Befunde erbracht werden konnten.

Die Operationalisierung des Sonischen im Kontext der medizinischen Diagnostik zeigt wiederholt, dass die mit ihr einhergehenden Visualisierungen genuine Phänomenotechniken im Sinne Gaston Bachelards darstellen. Unter Rückbezug auf die experimentaltheoretisch reflektierten Arbeiten von Niels Bohr, für welchen Apparaturen der Messung keine passiven Artefakte darstellten, sondern inhärent mit den durch sie produzierten Daten, Bildern etc. zusammenhingen, schreibt auch Karen Barad in diesem sonographischen Kontext von *Phänomenen*, die nicht gegeben sind, sondern durch technowissenschaftliche Operation Gestalt annehmen.²¹ Die sonographisch erzeugten Bilder waren keine Abbilder biologischer Körper, sondern Ergebnis komplexer medientechnischer Übersetzungsketten. Sie verwiesen auf genuin synthetische Bedingungen. Was sich in den Bildern als vermeintliche Biologie artikulierte, unterlag den Sichtbarkeitsregimen der apparativen Experimentalpraktik. Anders gewendet: Der biologische Körper als vermeintliche Einheit wurde sonographisch fragmentiert, damit Körperteile durch eine nichtinvasive nunmehr Medienoperation analysierbar werden konnten. Was sich vorher im Fleisch und den Organen, in der ‚Höhle‘ des Körperinneren verbarg, wurde durch die Experimentalanordnung der Dussiks in eine bildliche Form gebracht; es wurde graphisch *real*, um mit Barads titelgebendem Kommentar zu technowissen-

20 Dussik, Karl Theo (1949): „Zum heutigen Stand der medizinischen Ultraschallforschung“, in: Leopold Arzt (Hrsg.), *Zweite Österreichische Ärztetagung Salzburg. 6. bis 8. September 1948*, Wien, 354-361, 355. Die Dussiks verwendeten den Begriff des „Hyperphonogramms“ als gleichbedeutend mit „Ultraschallbild“.

21 Barad, Karen (1998): „Getting Real: Technoscientific Practices and the Materialization of Reality“, in: *Differences: A Journal of Feminist Cultural Studies* 10(2), 87-128, insb. 98.

schaftlichen Praktiken der medizinischen Praxis zu sprechen.²² Dies vollzog sich bei simultaner Ausblendung sämtlicher nachrichtentheoretisch gesprochen ‚störender‘ Körperschichten, die für die medizinische Untersuchung nicht von Relevanz waren. Mit Edward Yoxen kommentiert: „Nature is rendered in ways that accentuate certain features of interest. It is imaged, in a transitive sense, by operations on it.“²³ Im historischen Kontext war es bereits bei Echolotungen oder Sonar- und Radar-Ortungen technisch praktiziert worden, dass Umwelten nicht allein Räume des Empfangens von Signalen sind, sondern als physikalische Geomedien die zeit- oder absorptionsbehafteten Überträger eben jener. Ebenso waren Dussiks sonographische Experimente von der Erkenntnis geprägt, dass biologische Körper nicht allein die existenziellen „Lebensräume“²⁴ von Individuen sind, sondern Körper der Übertragung von Ultraschall mit spezifischen biologischen Eigenschaften.

Medizinische Zeitkritik

Nur war Dussiks Verfahren nicht zeitkritisch angelegt, sondern aufgrund der Visualisierung von Absorptionsdifferenzen raumkritisch. Das durch ihn begründete Verfahren nannte Dussik „Hyperphonographie“,²⁵ womit es sich begrifflich von der späterhin etablierten sonographischen Impuls-Echo-Methode unterscheiden lässt. Um für die Sonographie zukunftsweisend zu werden, musste das apparative Verfahren Zeit als Parameter in die Messanordnung integrieren. Nur über die Verzögerung ultraakustischer Impulse konnte die Entfernung zu körperimmanenten Dingen gemessen werden, die bei ausreichender Datendichte Strukturen zeigten. Bevor diese Adressierung biologischer Körper als klangverzögernde Massen jedoch in der Medizin praktiziert wurde, nahm die zeitkritische Durchschwingung von (mehr oder weniger) Festkörpern zur Erkenntnisproduktion einen Umweg: über die s.g. Material- bzw. Werkstoffprüfung.

Zerstörungsfreie Verfahren zur Werkstoffprüfung waren jener Zeit in der Luftfahrt sowie im Stahl- und Schiffsbau wichtig geworden, um die qualitativen Erfordernisse der Massenproduktion zu erfüllen und auch Unfälle wie Zugunglücke

22 Ebd.

23 Yoxen [1993 [1987]]: „Seeing with Sound“, 282.

24 Flusser, Vilém [2006 [1991]]: „Räume“, in: Jörg Dünne/Stephan Günzel (Hrsg.), *Raumtheorie. Grundlagentexte aus Philosophie und Kulturwissenschaften*, Frankfurt a.M., 274-285.

25 Dussik, Karl Theo (1948): „Ultraschalldiagnostik, insbesondere bei Gehirnerkrankungen, mittels Hyperphonographie“, in: *Zeitschrift für physikalische Therapie* 1, 9-10; Dussik, Karl Theo/Dussik, F./Wyt, L.: (1947): „Auf dem Wege zur Hyperphonographie des Gehirns“, in: *Wiener medizinische Wochenschrift* 97(38-39), 425-429.

aufgrund fehlerhafter Stahlschienen zu vermeiden. Der physikalische Akustiker Floyd Firestone, von den Departments of Physics und Engineering Research der University of Michigan in Ann Arbor, bekam am 21. April 1942 ein „Flaw Detecting Device and Measuring Instrument“ patentiert. Besonders war dieses, da es erstmalig auf einer Impuls-Echo-Methode der Delay-Messung basierte. Zudem gilt das Gerät in seiner späteren Konstruktion als erste praktikable und nach Kriegsende kommerziell erhältliche Apparatur der Werkstoffprüfung,²⁶ die in den USA der 1940er und 50er Jahre in der Praxis breite Verwendung erfuhr und über die Firestone nach Kriegsende publizierte.²⁷

Zwar forschte bereits Ende der 1920er Jahre der am Leningrader Elektrotechnischen Institut angestellte Sergei Sokolov (alternative Schreibweise: Sergey Sokoloff) über die Anwendung von Ultraschall zur Fehlerstellendetektion in Festkörpern.²⁸ Auch meldete er 1937 ein Verfahren unter dem Titel „Means for Indicating Flaws in Materials“ beim US-amerikanischen Patentamt an und bekam dieses zugesprochen.²⁹ Allerdings war es Firestone, der mit der US-amerikanischen Sperry Products Inc. einen notwendigen finanzkräftigen Partner fand, um Materialprüfer zu bauen, die über den Status von Prototypen hinausgingen und unter dem programmatischen Titel „Reflectoscope“ bzw. „Sperry Reflectoscope“ vermarktet wurden. Über diese wurde auch in populärwissenschaftlichen Journalen als Geräte „typical of modern industrial instruments“³⁰ berichtet. Ebenso wie es Echolote erlaubten, via Datenmengen den Meeresboden zu visualisieren und da-

26 Krautkrämer, Josef/Krautkrämer, Herbert (1961): *Werkstoffprüfung mit Ultraschall*, Berlin/Göttingen/Heidelberg, 153.

27 U.a. Firestone, Floyd A. (1946): „The Supersonic Reflectoscope, an Instrument for Inspecting the Interior of Solid Parts by Means of Sound Waves“, in: *The Journal of the Acoustical Society of America* 17(3), 287-299.

28 Vgl. u.a. Sokolov, Sergei (1929): „Zur Frage der Fortpflanzung ultraakustischer Schwingungen in verschiedenen Körpern“, in: *Elektrische Nachrichten-Technik* 6(11), 454-461.

29 Sokoloff, Sergey (1937): „Means for Indicating Flaws in Materials“, United States Patent Office No. 2.164.125, Application Filed August 21, 1937, Patented June 29, 1939.

30 Klemin, Alexander (1947): „Instrumentation, Measurement, and Control“, in: *Scientific American* 176(3), 122-128, 124. Vermutlich war es die Echtzeitigkeit der mit dem Reflectoscope ermöglichten Datenakquise in Verbindung mit seinem Status als Bildschirmmedium, weshalb es 1947 im *Scientific American* derart bezeichnet wurde. Zuvor wurden mit dem Begriff ‚Reflectoscope‘ Projektoren wie der „reflectoscope projector“ der A.T. Thompson Company von 1913 bezeichnet, mit welchem kleine Dias auf Glasplatten projiziert werden konnten. Das Reflectoscope von Firestone kann tatsächlich als „modern“ angesehen werden, auch im Vergleich zu anderen apparativen Umsetzungen seinerzeit wie dem Werkstoffprüfer der britischen Henry Hughes Ltd. Dieser nutzte noch separate Sender und Empfänger, statt beide in einem, zwischen beiden Zuständen schnell wechselnden Sensor zu vereinen.

mit Einsichten zu generieren, die dem Auge auf der (Meeres-)Oberfläche verborgen waren, wurde in Firestones Patent explizit, dass sein Apparat der Vermessung uneinsichtiger Körper diene: „if a casting has a hole or crack within it, my device enables the presence of the flaw to be detected and its position located, even though the flaw lies entirely within the casting and no portion of it extends out to the surface.“³¹ Firestone führte aus, dass seine apparative Technik eine feinere Skalierung von Entfernungsmessung erlaube als bspw. „sounding devices“ – gemeint waren Echolote –, die insbesondere für die Messung größerer Distanzen zwischen 50 Fuß und mehreren Meilen nützlich seien. Der Fokus seiner Apparatur lag dahingegen auf Gegenständen mit einer Ausdehnung von max. 10 Fuß.

Die Technizität des Reflectoscope bemühte die aus der Radartechnik bekannten Episteme (vgl. Kap. 9), wenn auch nicht im elektromagnetischen, sondern im Wellenspektrum des Ultraschalls. Einerseits hatte der Ortungsimpuls eine hohe Frequenz aufzuweisen – typischerweise 5 Megahertz, d.h. 5 Millionen Schwingungen pro Sekunde –, andererseits war der Impuls insbesondere durch seine Mikrotemporalität gekennzeichnet: Er hatte eine Dauer von lediglich 1 Mikrosekunde, d.h. einer millionstel Sekunde. Ein solcher Impuls wurde als gebündelter Strahl gesendet, wofür Firestone die aus dem Radar vertraute Metaphorik des „searchlight beam“³² verwendete. Die hohe Frequenz von Ultraschall erlaubte es, dass materialimmanente Reflexionen von Fehlerstellen auftraten, wohingegen niederfrequente Wellen sich um jene Stellen gebogen hätten. Zwar wurde in der zeitgenössischen, populärwissenschaftlichen Berichterstattung die akustische Dimension des Sperry Reflectoscope betont und dabei, wie im *Popular Mechanics Magazine* vom Mai 1946, dem apparativen Verfahren ein Hören bescheinigt: „Now science has provided a means of detecting most types of flaws – not by ‚looking‘ for them, but by ‚listening‘ for them.“³³ Dies darf aber nicht darüber hinwegtäuschen, dass hier nicht gelauscht, sondern Akustik durch eine medientechnische Anordnung detektiert wurde.

Wie beim Radar war entscheidendes Moment der Zeitmessung mit dem Sperry Reflectoscope eine oszillographische Visualisierung. Der „oscillographic spot“, welcher die horizontale Grundlinie auf einer Bildröhre zeichnete, hatte eine kontinuierliche Geschwindigkeit; der Beginn der s.g. Zeitlinie war synchronisiert mit dem Sendeimpuls der Apparatur und der Empfänger mit dem „spot“ gekoppelt, so-

31 Firestone, Floyd A. (1940): „Flaw Detecting Device and Measuring Instrument“, United States Patent Office No. 2.280.226, Application Filed May 27, 1940, Patented April 21, 1942, 1.

32 Firestone (1946): „The Supersonic Reflectoscope“, 288.

33 Reiche, Bill (1946): „Eavesdropping Through 24 Feet of Steel!“, in: *Popular Mechanics Magazine*, 88 u. 89 u. 256, 88.

dass verzögerte Reflexionen von werkstoffimmanenten Fehlerstellen als vertikaler Ausschlag auf einer Zeitachse auf dem Bildschirm sichtbar wurden. Diese Art der Synchronisierung nach Radar Vorbild erlaubte, dass Entfernungen zu etwaigen Fehlerstellen direkt auf dem Bildschirm abgelesen werden konnten, da Delays in Entfernungen übersetzt worden waren, wie es Firestone selbst explizierte: „we may think of the time scale in the reflectogram as a distance scale“.³⁴ Um 1940 war dieses Verfahren bereits derart bekannt, dass es im Patent keiner weiterer Ausführung bedurfte: „It is not necessary to describe in detail either the oscilloscope or the controlled linear Sweep circuit as these are well known items which can be purchased commercially.“³⁵

Auf basaler Ebene bestimmte die Apparatur Signalverzögerungen, „time intervals“, wie die Patentschrift explizierte und nicht den Begriff des Delays, wohl aber des „round trip“ von Impulsen bemühte. Im Unterschied zum Radar war diese zeitkritische Vermessung von Objekten mithilfe eines Oszilloskops als Interface nunmehr nicht länger ein Fern-Sehen, sondern diente der Einsichtnahme in eher kleine Innenräume von Werkstoffen. Wie bei allen untersuchten Geomedien dieser Arbeit bestand wesentliches Element der apparativen Kommunikationsanordnung dabei weniger darin, *was* übertragen wurde, sondern *wie* ein Ortungsimpuls formatiert und *wann* dieser wieder-empfangen wurde: Delay war die Botschaft des Mediums. Damit hatte sich die Produktivität von Delay zur Detektion materialimmanenter Strukturen in der Werkstoffprüfung bewiesen und war grundsätzlich von Seiten der Praktiker:innen des Feldes akzeptiert worden. Verzögerung als die von Firestone identifizierte kritische Qualität des Mediums konnte anschließend wiederum in der Medizin produktiv werden, wo die zu untersuchenden Subjekte ähnliche Größen aufwiesen wie die von Firestone untersuchten Festkörper. Nach Dussiks Grundlagenforschung und nach dem Vorbild der Werkstoffprüfung wurde die Sonographie *zeitkritisch*.

Zur Mitte des 20. Jahrhunderts – genauer: zwischen 1948 und 1950 – waren drei US-amerikanische Forscher um die Anwendung von Ultraschall in der medizinischen Diagnostik bemüht. Unabhängig voneinander präsentierten sie Verfahren: der Radiologe Douglass Howry, der Klinikarzt John Wild und der Mediziner George Ludwig, der sich insbesondere mit den Reflexionseigenschaften von Gallensteinen beschäftigte. Ludwig entwickelte in Kooperation mit den General Precision Laboratories in Pleasantville, New York, eine erste prototypische Ultraschallsonde. Der epistemische Wechsel von der raumkritisch-quantitativen Verwendung von Ultraschall (wie bei Dussik) hin zu seiner zeitkritisch-qualitativen Implementierung ist

34 Firestone (1946): „The Supersonic Reflectoscope“, 289.

35 Firestone (1940): „Flaw Detecting Device and Measuring Instrument“, 2.

um 1950 programmatisch bei jenem George Ludwig ersichtlich. Zunächst werden im Folgenden dessen Arbeiten kursorisch nachgezeichnet, insofern sie um 1950 die Zukünfte der Sonographie vorbereiten.

Bereits Dussik explizierte, dass er durch das Lesen eines Überblickartikels über Unterwasserschalltechnik und Materialprüfung auf die Idee kam, Ultraschall statt auf Meere und Werkstoffe auf menschliche Patient:innen zu strahlen. Eine ähnlich gelagerte Explikationsleistung nahm Ludwig mit seinem Kollegen Francis Struthers am Naval Medical Research Institute in Bethesda, Maryland, vor und benannte, wie die Episteme des Delays durch unterschiedliche Diskurse wanderten. Ludwig und Struthers betonten, dass Impuls-Echo-Methoden auf Basis von Ultraschall bereits in der Materialprüfung für die Feststellung kleiner Materialmängel Verwendung erfuhren, und dass sie ihre anfänglichen sonographischen Experimente sogar mit demselben epistemischen Ding vollzogen, wie es in der Werkstoffprüfung Verwendung erfuhr: dem Sperry Supersonic Reflectoscope.³⁶ In dieser medienarchäologischen Lesart der Sonographie war diese eine Konsequenz der Unterwasserschalltechnik (Verwendung von Ultraschall) und der Materialprüfung (Verwendung von Impuls-Echo-Methoden für vergleichsweise kleine Körper). Bevor jedoch biologische Körper auf Basis von Delays vermessen werden konnten, mussten deren Übertragungseigenschaften ultraakustischer Sendungen geklärt werden. Ebenso wie es für die Echolot- und Sonar-Praxis zuvor galt, die Schallgeschwindigkeiten im Wasser in Abhängigkeit von Temperatur, Wassertiefe und Salzgehalt zu untersuchen, wurde eine Tabellarisierung von Schallgeschwindigkeiten in biologischem Gewebe notwendig. Denn als Ludwig mit seiner Forschung begann, gab es ihm zufolge noch keine Literatur mit Angaben über die Schallgeschwindigkeiten in unterschiedlichen Geweben bzw. menschlichen Körperteilen.

Ludwig und Struthers fanden für menschliches Gewebe – ebenso wie für knochenlose Rindersteaks – einen Mittelwert der Schallgeschwindigkeit von 1540 m/sek. Damit vermögen biologische Körper Schall wesentlich schneller zu übertragen als die Luft.³⁷ Ludwig publizierte 1950 ein eigenes Paper zu den Schallleiteigenschaften von Gewebe, welches einleitend die diskursive Varianz der Medientechniken des Delays wiederholt benannte:

„The successful application of ultrasonic pulse techniques and the echo-ranging principle to underwater direction and ranging and to the localization of flaws in metals prompted an in-

36 Ludwig, George/Struthers, Francis W. (1949): „Considerations Underlying the Use of Ultrasound to Detect Gallstones and Foreign Bodies in Tissue“, in: *Naval Medical Research Institute Reports, Project 004 001, Report No. 4*, o.A., 1.

37 Ebd., 10.

vestigation of the use of an analogous technique for diagnostic purposes in medicine and surgery.”³⁸

Exakt 100 Jahre nach den Experimenten zur Nervenleitgeschwindigkeit von Hermann von Helmholtz (vgl. Kap. 2) wurden nunmehr die Schallleitgeschwindigkeiten verschiedener biologischer Gewebe tabellarisiert. Hierzu verwendete Ludwig eine Anordnung (vgl. Abb. 32), die auf den ersten Blick an eine Schematisierung der Nutzung von *delay lines* als volatile Speichermodule erinnert (vgl. Abb. 29 in Kap. 7). Allerdings handelte es sich nicht um eine Speichereinrichtung auf *Basis* von Schallgeschwindigkeit, sondern um eine Anordnung zur *Messung* eben dieser. Ludwig kommentierte: „The development of ultrasonic instruments and techniques for medical applications requires a knowledge of some of the acoustic propagation characteristics of tissue.”³⁹ Mit anderen Worten: Der mediengenealogische Dreischritt von der Entdeckung über die Vermessung hin zur Operationalisierung physikalischer Phänomene galt ebenso für die sonographische Adressierung biologischer Körper.

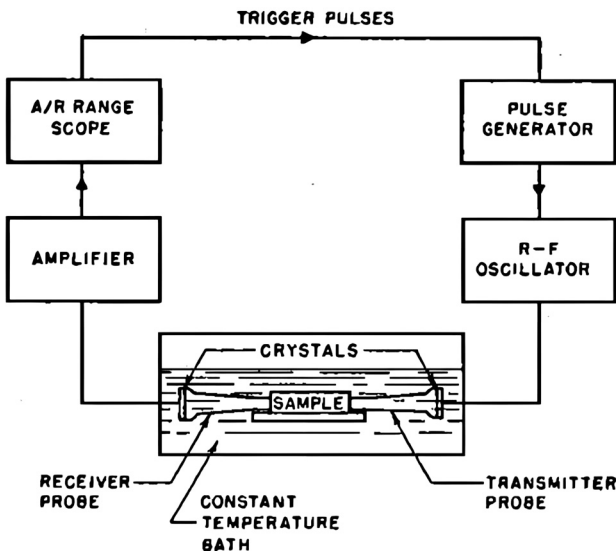


Abbildung 32: Schematische Darstellung der Apparatur zur Messung der Schallleitgeschwindigkeit von unterschiedlichem Gewebe („sample“, unten in der Abb.) durch George Ludwig.

38 Ludwig, George D. (1950): „The Velocity of Sound through Tissues and the Acoustic Impedance of Tissues“, in: *Journal of the Acoustical Society of America* 22(6), 862-866, 862.

39 Ebd., 862-863.

Erste erfolgreiche Echoortungen in biologischen Körpern führten Ludwig und Struthers mit dem Reflectoscope in Tierstudien durch, über welche sie 1949 publizierten. Vier Gallensteine wurden in die Rückenmuskeln eines Hundes implantiert und nach vollendeter Wundheilung erfolgreich sonographisch lokalisiert: „One week following implantation, when the wounds had healed, an attempt was made to localize the calculi by using the Reflectoscope. They could be detected easily“.⁴⁰ Ebenso führten sie erfolgreiche Tests mit in der Gallenblase eines größeren Hundes implantierten Gallensteinen durch. Der Aufsatz endete mit einer Neuevaluati-on von Störung und Botschaft für ultrasonische Impulssendungen durch biologische Körper unter den Bedingungen der Sonographie. Für diese erwies sich Luft im Körper als ein „difficult problem“, da diese – wie im historischen Kontext Grenzflächen zwischen einander inkompatiblen chemischen Stoffen noch bezeichnet wurden – ein „interface“ realisiere, das zu unerwünschten Echos führte.⁴¹

„Sound-Wave Portrait in the Flesh“

Ebenso wie Ludwig begann Douglass Howry seine sonographischen Experimente 1949 mit einem Reflectoscope, wie es Firestone konzipierte. Zusammen u.a. mit dem Elektroingenieur Rod Bliss und dem Radarspezialisten Carl Spauling fand er heraus, dass sie im Menschen Echos von Stellen erhielten, an denen unterschiedliche Gewebeschichten aufeinandertrafen. Infolgedessen passten sie das Reflectoscope auf die Bedingung der Ortung innerkörperlicher Strukturen an und konzipierten einen Oszillator weitaus höherer Schwingungen. Die neu konstruierte Apparatur nannten sie „Somascope“,⁴² dessen Schallstrahl beweglich war. Dies gewährleistete, dass durch elektronische Visualisierung nicht nur punktuelle, sondern serielle Delaymessungen möglich wurden, die sich zu einer graphischen Kurve fügten. Über diese 1950 durchgeführten Experimente publizierten sie 1952 und gaben Illustrationen ihrer sonographischen Visualisierungen, die sie „Somagramme“ nannten: von einem wassergefüllten Kondom mit einem Glasstab im Inneren; von einer gesunden und einer mit Steinen befallenen Gallenblase; von einem Stück Leber; und von einem Arm in einem Wasserbad.⁴³ Damit erzeugten sie eine Form

40 Ludwig/Struthers (1949): „Considerations Underlying the Use of Ultrasound“, 15.

41 Ebd., 17 u. 20. Der deutsche Begriff für derartige Interfaces als physikalische „Grenzflächen“ war „Phasengrenze“.

42 Abbildungen des Geräts und seiner Sonogramme finden sich in Howry, Douglass H. et al. (1954): „The Ultrasonic Visualization of Carcinoma of the Breast and other Soft-Tissue Structure“, in: *Cancer* 7, 354-358.

43 Howry, Douglass H./Bliss, W.R. (1952): „Ultrasonic Visualisation of Soft Tissue Structures of the Body“, in: *Journal of Laboratory and Clinical Medicine* 40, 579-592.

technisch induzierter Sichtbarkeit, die sich von anderen bildgebenden Verfahren der medizinischen Diagnostik, wie bspw. Röntgenstrahlen, nicht nur technisch, epistemologisch, sondern auch hinsichtlich ihres konkreten diagnostischen Werts in der Praxis unterschieden. Sie generierten Bilder, die mit Röntgenstrahlen nicht hätten bewerkstelligt werden können.

In der populärwissenschaftlichen Berichterstattung ihrerzeit wie bspw. im *Life Magazine* wurde aufgrund ihrer technischen Verwobenheit die Terminologie von Sonar auf die neue Sonographie appliziert. Nicht nur wurde das Somascope als „sonarlike device“ bezeichnet, sondern es waren nunmehr nicht Uboote, sondern Menschenkörper, die ultraakustischen Pings ausgesetzt waren („pinged at“⁴⁴). Wie im Falle von Sonar wurde ein „target“⁴⁵ – nunmehr ein:e Patient:in – mit einem gebündelten und gerichteten Soundstrahl sondiert; wie beim Sonar befand sich dieses „target“ sowie piezoelektrische Sender und Empfänger unter Wasser; Echos aus einem untersuchten Körper wurden einem Ausgabemedium zugeführt, das sie sichtbar machte; und der sonographisch untersuchte Körper wurde diversen Messungen ausgesetzt, damit sich ein Schallbild des untersuchten Subjekts ergab. So findet sich im *Life Magazine* eine Abbildung (vgl. Abb. 33) und Formulierung unter der Überschrift „Sound-Wave Portrait in the Flesh“: „When the sound beam is swung back and forth to scan the patient, the echoes link together to form a clean and unbroken picture of the shape and position of different kind of body tissue“.⁴⁶

Wie auch Douglass Howry begann John Wild 1949 mit sonographischen Laborexperimenten, nutzte Impulstechniken – und hierbei einen Transducer zum Senden und Empfangen – und publizierte extensiv über diese.⁴⁷ Dabei prägte er die Begriffe ‚Echographie‘ für die Methode, ‚Echograph‘ für die elektrotechnische Visualisierung der Ortungen und ‚Echogramme‘ für die entstandenen Bilder.

44 Anonym (1954): „Sound-Wave Portrait in the Flesh. A Sonarlike Device Produces Pictures of the Human Body's Soft Tissues which are Invisible to X-rays“, in: *Life*, v. 20. September, 71-72, 71.

45 Ebd.

46 Ebd.

47 Verwiesen sei auf die drei Aufsätze Wild, John J. (1950): „The Use of Ultrasonic Pulses for the Measurement of Biologic Tissues and the Detection of Tissue Density Changes“, in: *Surgery* 27, 183-188; Wild, John J./Neal, D. (1951): „The Use of High Frequency Ultrasound Waves for Detecting Changes in Texture of Living Tissues“, in: *The Lancet* 1, 655-657; Wild, John J./Reid, John M. (1952): „Application of Echo-Ranging Techniques to the Determination of Structure of Biological Tissue“, in: *Science* 115, 226-230.

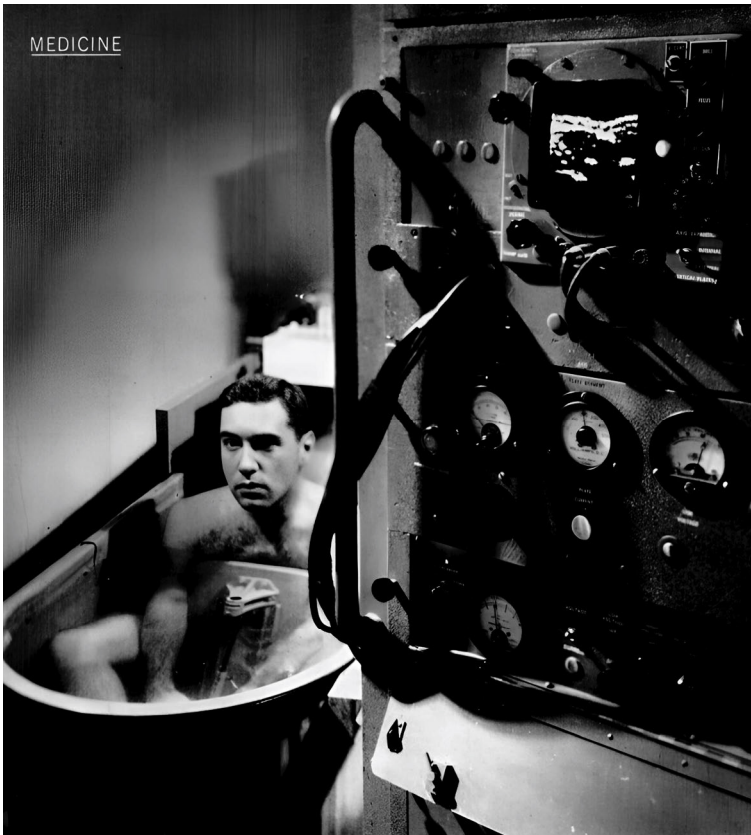


Abbildung 33: Teammitarbeiter Gerald J. Posakony im sonographischen Wasserbad. Der Fokus der Inszenierung liegt auf dem Somascope.

Die *exemplarischen* Howry, Wild und Ludwig zeigen es auf: Impuls-Echo-Methoden waren für die Sonographie um 1950 als essenziell erachtet worden.⁴⁸ Allerdings hatte sich das Feld der Sonographie jener Zeit apparativ noch keineswegs konsolidiert. Die Zukünfte der sonographischen Praxis waren offen und ungewiss. Dies ließe sich an Wild und Howry aufzeigen, die etwa zur selben Zeit beide in den USA Ultraschall in den Dienst der medizinischen Diagnostik stellten und beide zweidi-

48 Ich setze das Wort „exemplarisch“ bewusst kursiv. Die Verengung von Geschichtsschreibung auf einzelne Personen vernachlässigt infrastrukturelle, organisatorische und soziale Bedingungen und Beziehungen, die essenziell für die Entwicklung neuer Technologien sind. Für die grundlegende Argumentation dieser Arbeit erscheint die Fokussierung auf die Veröffentlichungen und Forschungsarbeiten ausgewählter Personen funktional, weil bei diesen die messtechnische Verschaltung des Delays programmatisch zutage tritt.

mensionale Bilder menschlicher Körper auf Basis von Delaymessungen erzeugten – allerdings mit unterschiedlichen technischen Geräten, auf Basis unterschiedlicher Frequenzen und zu differenten diagnostischen Zwecken. Weder hätte die Apparatur von Wild auf das Erkenntnisinteresse von Howry angewendet werden können noch umgekehrt. Howrys Apparatur verfügte über Armaturen zur Steuerung des Transducers, zur Regulierung seiner Sensitivität und zur Manipulation der wiederempfangenen Echos vor ihrer Visualisierung – all dies erübrigte sich hingegen bei Wilds Apparatur.⁴⁹ Neben der Varianz der technischen Objekte bleibt allerdings festzuhalten, dass sich zu jener Zeit in der medizinischen Diagnostik der Grundgedanke verfestigte, dass Ultraschall zu nicht-invasiven Untersuchungen geeignet sei. Und zweitens, dass dies auf Grundlage von Impuls-Echo-Messtechniken erfolgen sollte, mithin als Verfahren der Delaymessung.

Unter Mediziner:innen waren wenige Jahre zuvor, zur Mitte der 1940er Jahre, noch zwei mögliche Verfahren der Ultraschalldiagnostik im Gespräch. Einerseits die Verwendung von zwei Transducern, zwischen denen ein Stück zu untersuchendes Gewebe platziert wurde. Während ein Transducer den Schallstrahl produzierte, fungierte in diesem Setting der andere als Empfänger, sodass die schallabsorbierenden Eigenschaften des durchschallten Gewebes gemessen wurden. Dies ließ – nach geklärten Absorptionskoeffizienten von unterschiedlichen Gewebestrukturen – Rückschluss auf dieses Gewebe und etwaige immanente Einschlüsse zu. Es handelte sich also um ein raumkritisches Verfahren, das nicht der Lokalisierung körperimmanenter Strukturen dienen konnte, sondern allein der Gewebeanalyse. Die zweite Methode nutzte lediglich einen Transducer, der als Sender und Empfänger des gepulsten hochfrequenten Schallstrahls gleichermaßen fungierte und realisierte damit ein zeitkritisches Verfahren. Noch 1948 konnte der amerikanische Erfinder und populärwissenschaftliche Autor S. Young White im *Journal Audio Engineering* die Anwendung von Ultraschall auf biologische Wesen und die sonographische Arbeit am menschlichen Körper in Bezug auf Impuls-Techniken lediglich als vielversprechend visionieren: „Pulse measurements have been little employed, though they offer considerable promise in work on the human body. While they seem complicated, there is little difficulty for a person skilled in radar or television in handling of pulses.“⁵⁰ An der Verfügbarkeit und Bezahlbarkeit des technischen Equipments sollte es seinerzeit nicht scheitern: Musste sich Karl Dus-

49 Vgl. Koch, Ellen B. (1993): „In the Image of Science? Negotiating the Development of Diagnostic Ultrasound in the Cultures of Surgery and Radiology“, in: *Technology and Culture* 34(4), 858-893; ebenso Blume, Stuart S. (1992): *Insight and Industry: On the Dynamics of Technological Change in Medicine*, Cambridge, MA/London, insb. 91.

50 White, S. Young (1948): „Applications of Ultrasonics to Biology“, in: *Audio Engineering* 32, 30 u. 42-45, 43.

sik kollaborativ mit seinem Physiker-Bruder mühsam die Gerätschaften für seine Experimentalanordnung zusammenbasteln, waren 1948 – hauptsächlich durch die enormen institutionellen, finanziellen und technologischen Investitionen in Radar (vgl. Kap. 9) – ausreichende und vor allem kostengünstige Impulsmodule vorhanden. White erwähnte dies nur nebenbei, wichtig ist es in der Retrospektive aber allemal: „we can use a variable pulse generator such as we may buy for \$100 and which many already have.“⁵¹

Wenige Zeit später, um 1950, wurde das zeitkritische Impuls-Echo-Verfahren der Delaymessung dem raumkritischen Absorptionsverfahren eindeutig präferiert. Exemplarisch steht dafür ein Bericht der US-amerikanischen *Atomic Energy Commission*, welcher die grundsätzlichen Prinzipien der Sonographie diskutierte und über die Vorteile von Sonographie als zeitkritischer Medientechnik berichtete:

„[E]cho-ranging is the only feasible one for this biological application. The echo-ranging method will allow a fairly precise indication of where the reflecting interface is if the sound velocities in the tissue media are nearly the same because the time it takes the sound pulse to travel from the transducer to the point of reflection and back again is directly convertible to distance.“⁵²

Delay war als qualitative Größe zu einem Akteur der medizinischen Diagnostik geworden. Er konnte zwar divergente apparative Implementierung erfahren, sein grundsätzlicher Erkenntniswert wurde aber nicht mehr infrage gestellt. Die Operationalisierung der Laufzeit von Schall im Dienste der messtechnischen Adressierung von Raum hatte Einzug in ein neues Environment gehalten: lebende biologische Körper. Von Seiten der Geistes- und Sozialwissenschaften wurde der Fokus bei Forschungen zur Ultraschalldiagnostik bisher auf die soziale, gesellschaftliche oder politische Rolle pränataler Bilder und ihre Genderrelevanz gelegt.⁵³ Deren

51 Ebd.

52 United States Atomic Energy Commission (1955): *Studies in Methods in Instruments to Improve the Localization of Radioactive Materials in the Body with Special Reference to the Diagnosis of Brain Tumors, and the Use of Ultrasonic Techniques. Final Progress Report*, Minneapolis, 20.

53 Vgl. Adams, Alice E. (1994): *Reproducing the Womb: Images of Childbirth in Science, Feminist Theory, and Literature*, Ithaca/London; Farquhar, Dion (1996): *The Other Machine: Discourse and Reproductive Technologies*, New York/London, insb. das Kapitel „Prenatal Technologies: Ultrasound and Amniocentesis“; Matthews, Sandra/Wexler, Laura (2000): *Pregnant Pictures*, New York/London, insb. das Kapitel „Medical Imaging, Pregnancy and the Social Body“; Taylor, Janelle S. (1998): „Image of Contradiction: Obstetrical Ultrasound in American Culture“, in: Sarah Franklin/Helena Ragoné (Hrsg.), *Reproducing Reproduction: Kinship, Power, and Technological Innovation*, Philadelphia, 15-45; Casper, Monica J. (1998): *The Making of the Unborn Patient: A Social Anatomy of Fetal Surgery*,

Bedingung aber liegt einerseits in der Akzeptanz von Ultraschall als probatem Mittel der medizinischen Diagnostik; andererseits in der Implementierung von Delay als kritische Größe der Messung via Impuls-Echo-Verfahren.

Die Anwendung von Schall im klinischen Umfeld mag in westlichen Kulturen einer Genese unterliegen, die sich dadurch auszeichnet, dass der menschliche Leib in der Moderne zusehends als klanglicher oder zumindest schallleitender Körper zutage trat. Im Unterschied zu den Klang-Experimenten der Naturwissenschaften, die Axel Volmar für die Zeit von 1761 bis 1961 untersuchte,⁵⁴ zeichnete sich die Initialphase sonographischer Medien und Praktiken allerdings durch eine Abkehr vom Hören oder Sonifizieren aus. Es wurden die physikalischen Eigenschaften von unhörbarem Ultraschall ausgenutzt, Ultraschall durch biologische Körper gestrahlt und es wurden körperimmanente Schallreflexionen in Bilder übersetzt. Schall mag ein irreduzibler Bestandteil der diagnostischen Erkenntnisproduktion der Sonographie sein – im Unterschied zum lauschenden Zugriff auf Körper basiert seine Epistemologie aber nicht auf der Klanglichkeit biologischer Subjekte, die als Indiz für Krankheiten hermeneutisch bewertet wurde.

Von Interesse ist das auch für eine praxeologische Perspektivierung des Messens und technischer Messverfahren. Die Frage wird virulent, *was* und *wann* bei dem, was allgemein unter dem Oberbegriff des ‚Messens‘ subsumiert wird, etwas in Daten übersetzt wurde. *Was* gemessen wurde, war in der sonographischen Praxis nicht die Präsenz eines bspw. Gallensteins, sondern zuvorderst der „round trip“ eines Ortungsimpulses, mithin sein Delay. Erst durch eine Reihe von Delaymessungen konturierte sich bildlich ein mögliches Objekt der Reflexion. Die Beantwortung der Frage, *wann* gemessen wurde, fällt ebenso heterogen aus. Erst die visuelle, oszillographische Darstellung situierter Delays (wie bereits bei Helmholtz: die Übersetzung von Zeit- in Raumdifferenzen, vgl. Kap. 2) und die nachfolgende Überführung dieser Raumunterschiede in Zahlwerte entsprach einer Datenproduktion. ‚Das‘ Messen zerfällt in eine Kette von Übersetzungen und Operationen, die einan-

New Brunswick et al., insb. das Kapitel „Pseudo-Submarines and the Dissolving Woman: Prenatal Diagnosis and the Unborn Patient“; Nicolson, Malcolm/Fleming, John E.E. (2013): *Imaging and Imagining the Fetus. The Development of Obstetric Ultrasound*, Baltimore; Mitchell, Lisa M. (2001): *Baby's First Picture. Ultrasound and the Politics of Fetal Subjects*, Toronto et al., insb. das Kapitel „Opening the Black Box: The Ontology of Fetal Ultrasound Images“; van Dijk, José (2005): *The Transparent Body. A Cultural Analysis of Medical Imaging*, Seattle/London, insb. das Kapitel „Ultrasound and the Visible Fetus“. Die technikhistorischen und vor allem epistemischen Grundlagen der Sonographie werden in diesen Arbeiten allenfalls randständig erwähnt. Dies kann ihnen aber nicht zum Vorwurf gemacht werden, da sie ein anders gelagertes Erkenntnisinteresse verfolgen.

54 Volmar, Axel (2015): *Klang-Experimente: Die auditive Kultur der Naturwissenschaften 1761-1961*, Frankfurt a.M.

der bedingen, um Bilder und Daten zu produzieren. Dabei ließ ein singuläres Datum keine valide diagnostische Aussage zu, da sich buchstäblich nicht deutlich konturierte, was geortet worden war. Vielmehr erforderte ein Datum weitere Daten, um in der medizinischen Diagnostik einen praktischen Wert zu erlangen. Beim Radar waren im historischen Kontext ebenso kontinuierliche Ortungen notwendig, um Flugbahnen in Echtzeit zu tracken; ein singuläres Echo war jedoch bereits hinreichendes Indiz für die Präsenz eines fliegenden Körpers im Luftraum. Dahingegen verlangten die praktischen Erfordernisse der medizinischen Diagnostik nach einer sonographischen Datendichte, um Aussagen über körperimmanente Strukturen statt schlicht die singuläre Angabe der Entfernung zu einem Ding zuzulassen. Nur eine Vielzahl an Daten erlaubte Vagheiten zu reduzieren, was eigentlich gewebeimmanent geortet worden war. Sonographische Messungen forderten ihre Wiederholung geradezu heraus, denn erst eine gewisse Datendichte konsolidierte die Sonographie. Die Möglichkeit der Diagnostik war aus ihrer Praxis heraus irreduzibel auf ein Mindestmaß an Daten als Bedingung verwiesen: Sonographische Daten traten damit immer als Assemblagen auf.⁵⁵ Zudem waren die erzeugten Ultraschallbilder im historischen Kontext keinesfalls voraussetzungsfrei lesbar. Sie verlangten nach einer Interpretation durch Ärzt:innen, die auf dem Stand der neuartigen technischen Bilder sein musste. Dementsprechend hieß es im oben erwähnten Bericht der US-amerikanischen *Atomic Energy Commission*:

„Probably the most difficult aspect of the problem is to interpret the data yielded by the echo-ranging system. The familiar ‚A-scope‘ presentation, which is a plot of reflected sound amplitude versus distance along the sound beam, is quite seriously limited in its information. It is necessary to integrate or scan a whole series of probe positions in order to consolidate the data so that any analysis can be performed on it. (...) The problem is so difficult because we are not used to mentally interpreting data which shows not only the exterior details, but all internal configurations of an opaque solid presented in three dimensions.“⁵⁶

Es wurde ein Universum technischer Bilder biologischer Körper eröffnet, das auf einer semantischen Operationssyntax des medientechnischen Stands jener Bilder insistierte. Der nunmehr notwendig sonographisch geschulte Blick verlangte von diagnostischen Mediziner:innen eine Dateninterpretation auf Bildschirmen, welche die Ergebnisse gewebeimmanenter Echoortungen visualisierten. Die Konsolidierung von Daten durch eine Serie von Ortungen – wie es andernorts und zu an-

55 Vgl. Boyd, Ceilyn (2022): „Data as Assemblage“, in: *Journal of Documentation* 78(6), 1338-1352.

56 United States Atomic Energy Commission (1955): *Studies in Methods in Instruments*, 23.

derer Zeit bereits der Fall bei den ‚Datenpfaden‘ der *Meteor*-Expedition war (vgl. Abb. 18 in Kap. 5) – fügte sich zu Profilbildern, die die Sichtbarkeitsregime der bis dato etablierten ärztlichen Praxis irritierten und in Konsequenz phänomenotechnisch ergänzten. Schließlich galt es fortan auf Kathodenstrahlröhren, mit Gaston Bachelard geschrieben, „Phänomene [zu] sortieren, filtrieren, reinigen, in die Gußform der Instrumente gießen“, da die Phänomene selbst „auf der Ebene der Instrumente erzeugt“⁵⁷ wurden. Die Ultraschallbilder der Sonographie wurden in Kooperation von technischem Medium und menschlichem Körper geschaffen. Das bedeutete zugleich, dass sich, im Sinne Karen Barads, die Dinge nur im Zusammenspiel von Körper und Apparat als Phänomen bildlich zu wissen und zu interpretieren gaben.⁵⁸

Was das vorige Langzitat zudem offenbart, ist ein technisch induziertes Wahrnehmungs- bzw. Interpretationsproblem der medizinischen Praxis, das ausgehend von neuen Apparaturen Mediziner:innen mit vormals unbekannten Bildern konfrontierte. Akustische Distanzmesser im Militär (vgl. Kap. 4) oder frühe Echolote in der Hydrographie (vgl. Kap. 5) hatten sich nach den Bedürfnissen ihrer Felder, d.h. der Praxis gerichtet. Sie fügten sich in bereits etablierte Ordnungen ein; sie bedurften keiner eingehenden Schulung seitens ihrer Bediener:innen; und sie wurden buchstäblich im Handumdrehen bzw. auf Knopfdruck wirksam. Dahingegen hatten die sonographischen Technobilder einen anderen Status. Sie irritierten bestehende diagnostische Praktiken und verlangten nach einer vormals unbekannten Medienkompetenz. Die Sonographie fügte sich nicht gehorsam in bestehende Operationsketten ein, sondern präfigurierte vollkommen neue Operationsketten der medizinischen Praxis. Während akustische Distanzmesser und frühe Echolote aus den praktischen, mitunter körpertechnischen Erfordernissen ihrer Situation heraus entstanden sind, diktierten die Medien der Sonographie eine neue Situation der medizinischen Praxis. Die Frage, ob Medien also Lagen bestimmen oder umgekehrt, Lagen Medien bestimmen,⁵⁹ kann nicht pauschalisierend beantwortet werden. Sie verlangt nach einer situierten Perspektive.

Bei aller Vielschichtigkeit der bisher in dieser Arbeit historisch untersuchten Medien des Delays eint sie ein Aspekt: Sie alle basierten auf Akustik, ganz gleich, in welchem Environment. In den 1930er Jahren hingegen wurde ein weiteres Medium des Delays praxisrelevant, das erstaunlich weitreichende Konsequenzen für

57 Bachelard, Gaston (1988 [1934]): *Der neue wissenschaftliche Geist*, übers. v. Michael Bischoff, Frankfurt a.M., 16.

58 Barad (1998): „Getting Real“.

59 Vgl. Kittler, Friedrich A. (1986): *Grammophon Film Typewriter*, Berlin, 3: „Medien bestimmen unsere Lage, die (trotzdem oder deshalb) eine Beschreibung verdient.“

aktuelle Medienkulturen hat und das im elektromagnetischen Wellenspektrum operiert: Radar. Dieses Medium steht im Zentrum der letzten, folgenden Fallgeschichte.

9. Radardenken

Radar als Trigger des Digitalen

„It is a truism that no data, however accurate,
can be of more than historical interest
if it reaches the military user too late or in the wrong form.“
– Robert Watson-Watt, 1940¹

„The problem of creating the most efficient
organization for the use of radar data,
in each functional situation involving radar,
is a very complicated one.“
– Louis N. Ridenour, 1947²

Bildwissen beim Radar

Im November 1944 hatte Joan Lancaster Nachtschicht in der britischen Bawdsey Radarstation.³ Der Begriff „Radar“ für ‚radio detection and ranging‘ wurde im No-

-
- 1 TNA [The National Archives] AVIA 10/50, Robert Watson-Watt (März 1940): „Notes on R.D.F. Research in War“.
 - 2 Ridenour, Louis N. (1947): „The Signal and Its Use“, in: ders. (Hrsg.), *Radar System Engineering* (MIT Radiation Laboratory Series 1), New York, 213-214, 214.
 - 3 Die folgende Situation basiert auf Joan Lancasters Beschreibung ihrer Aktivität, die in einer Autobiographie abgedruckt wurde: Lancaster, Joan (2002): „24 Hours at Bawdsey Radar Station, November 1944“, in: Gwen Arnold: *Radar Days. Wartime Memoir of a WAAF RDF Operator*, Oxford/Orlando, 132-140. Neben dieser Quelle war eine zweite Autobiographie für mich eine wesentliche Grundlage, die britische Radarpraxis im Zweiten Weltkrieg nachzeichnen zu können: Younghusband, Eileen (2013): *One Woman's War*, Cardiff. Es ist solchen raren Selbstdokumentationen zu verdanken, dass die konkrete Radararbeit in der Frühphase des Mediums historisch rekonstruiert werden kann. Für eine überblicksartige Darstellung der Tätigkeiten der WAAF im historischen Kontext vgl.

vember 1940 von der United States Navy für diese neue Medientechnik eingeführt, um die bis dato genutzten Bezeichnungen wie ‚radio echo location‘ oder ‚radio position finding‘ unter einen zentralen Begriff zu stellen.⁴ 1943 wurde der Name auf britischer Seite übernommen, wo Radar bis dato als RDF bezeichnet wurde, was für ‚radio direction finding‘ stand – und damit eigentlich ein anderes Verfahren bezeichnete, wie es der Name schon sagte: ein Richtungs-, aber nicht Entfernungsmessverfahren.

Lancaster war Teil der *Women's Auxiliary Air Force* (WAAF); ihre Berufsbezeichnung verdankte sich dem neuen Medium ihrer dienstlichen Praxis: Sie arbeitete als *radar operator*. Ihre Aufmerksamkeit galt dem Radardisplay und dem, was sie auf diesem als „Blip“ bzw. „Pip“ – als vertikalen Ausschlag auf einer horizontalen Zeitlinie des s.g. A-Scopes – ablesen konnte. Lancaster schaute beruflich auf solche Röhrenbildschirme; ihr Beruf war der erste, der eine dezidierte Bildschirmarbeit erforderte und eine frühe Form der Interaktion mit elektronischen Bildern etablierte. Die Blips auf Lancasters Bildschirm waren Visualisierungen von Radarechos und verwiesen auf durch Radar lokalisierte Objekte des Luftraums: Flugzeuge. Geortet wurden diese durch die Aussendung gebündelter Radioimpulse, die von ihnen reflektiert und nach einer gewissen Verzögerung wiederempfangen und auf dem Radarbildschirm, einer Kathodenstrahlröhre, visualisiert wurden. Grundsätzlich basiert das Prinzip von Radar mithin auf dem Messen von „delay between the transmission of a pulse and the reception of the echo from an object“.⁵ Die Position des Blips auf dem Radarbildschirm korrespondierte dabei mit der relativen Position georteter Flugzeuge zur Radarstation. Lancasters Dienstaufgabe bestand darin, die Visualisierungen elektromagnetischer Echos auf dem Radarbildschirm in „readable facts“⁶ zu übersetzen.

Lancasters Dienstbeginn war 23 Uhr, Dienstende ist 8 Uhr am Folgemorgen. Drei Flugzeug-Formationen der Royal Air Force (RAF) waren früher am Tag auf dem Flug Richtung Deutschland und waren bereits zurückgekehrt, nur vereinzelt Flugzeuge der Formation zeigen sich noch auf dem Bildschirm; viele von ihnen haben aufgrund ihrer geringen Flughöhe vermutlich technische Schwierigkeiten. Um 1:20 Uhr zeigt sich ein neues schwaches Echozeichen: ein Blip in 115 Meilen Entfernung laut Skala des A-Scopes. Lancasters Bildschirmarbeit wird nun manuell:

Narracott, A.H. (1941): *How the R.A.F. Works*, London, insb. Kapitel 9 „Women in Blue“, 107-113.

4 Vgl. Skolnik, Merrill I. (1962): *Introduction to Radar Systems*, New York et al., 2.

5 Ridenour, Louis N. (1947): „How Radar Works“, in: ders. (Hrsg.), *Radar System Engineering* (MIT Radiation Laboratory Series 1), New York, 3-6, 3.

6 Arnold (2002): *Radar Days*, 112.

„Find the bearing, press buttons and the grid reference plot number comes up on the display panel.“⁷ Sie setzt auf dem Display eine Markierung auf den Blip, dreht einen Winkelmesser (*goniometer*) und betätigt einen Knopf, um über einen elektromechanischen Analogrechner namens „fruit machine“ die relative Position der georteten Objekte halbautomatisch in eindeutige Koordinaten zu übersetzen (vgl. das Cover dieses Buchs). Diese werden auf einem Lichtpanel angezeigt.⁸ In diesem Fall verweisen die Koordinaten auf eine Position kurz vor der niederländischen Küste. „Switch over to the height aerals, find the height, press more buttons – height 20,000 feet. Study the blip and estimate 40+ aircraft.“⁹ In der Interpretation des elektronischen Radarbildes nimmt Lancasters empirisches Wissen eine zentrale Stellung ein: Allein durch fortwährende Praxis der Bildschirmarbeit wird das Bild ‚lesbar‘, insofern die Form des Blips Aussagen über die Qualität der Ortung zulässt, d.h. wie viele Flugzeuge vom Radar geortet worden waren.

Diese numerischen Daten – Positionskordinaten, Flughöhe und eine Schätzung, was geortet wurde – ergeben einen „Plot“. Lancaster oder eine Kollegin neben ihr, eine „Tellerin“, sendet diesen telefonisch an eine „Plotterin“ eines entfernten Filter Room. Kurze Zeit später kommt aus dem Filterraum die Rückmeldung: „Hostile“. Der Ortung wird eine Nummer zugewiesen: „Track No 153“.¹⁰ Nun gilt es, weitere Plots zu akkumulieren und fortwährend an den Filter Room zu senden, um dort einen „Track“ zu generieren. Als geübte *radar operator* kann Lancaster pro Minute etwa 6 Plots akquirieren.¹¹ Die georteten Flugzeuge befinden sich nun laut Bildschirmskala in einer Entfernung von 100 Meilen zur Radarstation, Lancaster schätzt ihre Anzahl auf nunmehr 60+. Ein nächster Plot: Entfernung 80 Meilen, Höhe 18.000 Fuß, nun 75+ geschätzte Flugzeuge. „Keep tracking. Keep tracking.“¹² Auf dem Bildschirm erscheint ein neuer Blip bei 3 Meilen, es sind vermutlich zwei Flugzeuge. Lancaster identifiziert sie als zwei Flugzeuge der RAF, da sich auf dem Radarbildschirm hinter ihrem Blip ein zweiter, deutlich konturierter Ausschlag auf dem Bildschirm zeigt. Langsam wandert der Blip über den Bildschirm und verweist auf eine zunehmende Entfernung der Flugzeuge von der Radarstation: 8 Meilen, 10 Meilen, 15 Meilen. Bei 20 Meilen scheinen die Flugzeuge zu wenden

7 Ebd., 133.

8 „[I]nformation was displayed in lights“ heißt es hierzu in der Quelle Bowden, Bertram Vivian (1947): „Radar in the RAF Fighter Command“, in: Ridenour (Hrsg.), *Radar System Engineering*, 226-228, 227.

9 Lancaster (2002): „24 Hours at Bawdsey Radar Station“, 133.

10 Ebd.

11 Vgl. Bowden, Bertram Vivian/Ridenour, Louis N. (1947): „Early Aircraft-warning Radar“, in: Ridenour: *Radar System Engineering*, 175-182, 179.

12 Lancaster (2002): „24 Hours at Bawdsey Radar Station“, 133.

und verbleiben in einer Entfernung zwischen 18 und 20 Meilen. Vermutlich handelt es sich um Flugzeuge der Seenotrettung auf der Suche nach einem abgestürzten RAF-Flugzeug vor der Küste Englands. Track 153: Entfernung nun 50 Meilen, Höhe 15.000 Fuß, 75+ Flugzeuge. Weitere Plots folgen: 40 Meilen, 30 Meilen, 20 Meilen. Bei einer Entfernung von 15 Meilen wird der Blip schwächer. Zwei weitere Plots zeigen: Die Formation hat ihren Kurs in südliche Richtung geändert und wird die britische Küste in Kürze erreichen. Circa 20 Minuten nach ihrer ersten Sichtung endet damit das Plotten der Formation – 20 Minuten „On the Tube“¹³ von insgesamt 9 Stunden Dienstzeit.

Lancaster war Teil eines komplexen Netzwerks: der britischen Radarkette „Chain Home“ des s.g. Dowding Systems.¹⁴ Von entscheidender Bedeutung war dieses hauptsächlich während des Zweiten Weltkriegs. Funktionaler Kern des Systems war die zentralisierte Her- und Darstellung und anschließende Zirkulation von Luftlagebildern auf Kartentischen („plotting tables“), d.h. die Anzeige der Positionen (Plots) und Flugbahnen (Tracks) britischer und feindlicher, d.h. deutscher Flugzeuge. Wichtig waren derartige Luftlagebilder für die Warnung der britischen Bevölkerung vor Luftangriffen; für die Anweisung der Sperrballonstellungen und der Flak; am wichtigsten jedoch für die gezielte Fernnavigation der Jagdflugzeuge der RAF in Richtung sich nähernder Bomber. Die Luftlagebilder speisten sich aus den Horch- und Sichtmeldungen des britischen Royal Observer Corps einerseits, den Ortungsdaten der britischen Radarstationen andererseits, wie sie u.a. Lancaster akquirierte. Das bedeutete, es galt an diversen Orten generierte Daten über Objekte des Luftraums zunächst kooperativ in *einem* Bild zu kombinieren; d.h. verteilte Daten zu zentralisieren und anschließend das entstandene Bild zu distribuieren. Dafür verfügte das Dowding System strukturell über einen zentralen Filter Room und einen Operations Room (Gefechtsstand) und mehrere untergeordnete Gruppen und Sektoren mit jeweils eigenen Hauptquartieren und Operations Rooms (vgl. Abb. 34), nach denen Großbritannien territorial aufgegliedert war.

13 Ebd., 135.

14 Benannt wurde das System retrospektiv nach dem ehemaligen Oberbefehlshaber des RAF Fighter Command Hugh Dowding, der sich – wie viele andere Systemtheoretiker ihrerzeit – um ihr System Design bemühte.

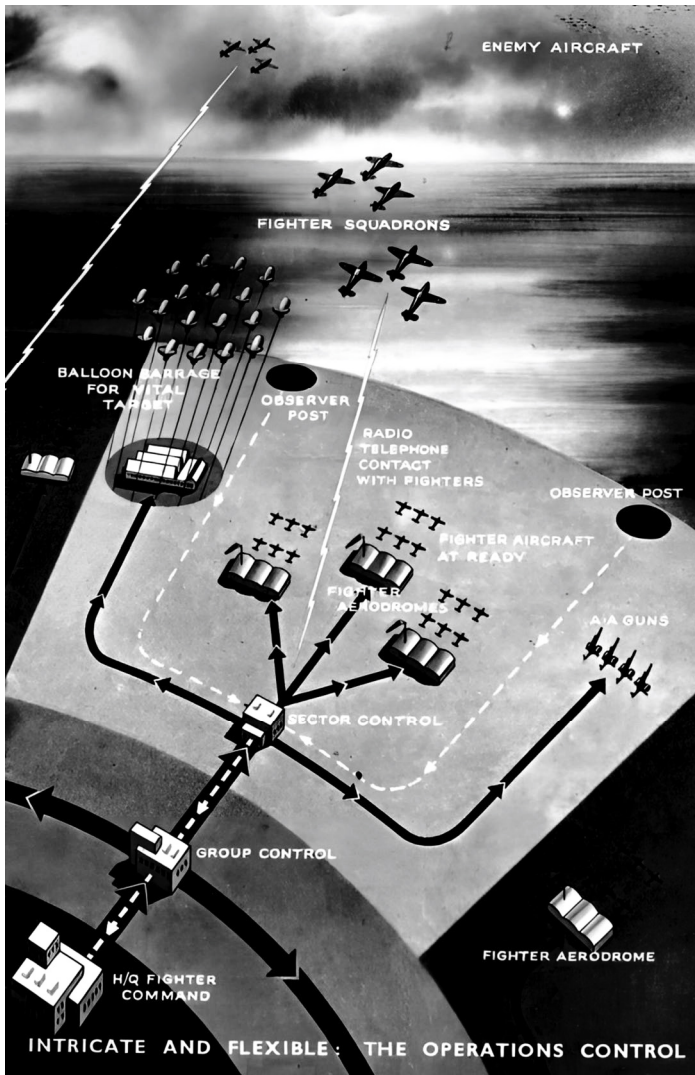


Abbildung 34: Darstellung der ‚operations control‘ des Dowding Systems aus einer Quelle von 1941.

Die technikhistorische Situation machte zwei Dinge erforderlich. Zum einen hatte die zentralisierte und anschließend verteilte Darstellung des Luftlagebildes durch menschliche Akteure zu geschehen. Es standen schließlich noch keine Computer zur Verfügung, an welche diese komplexe Ko-Operationskette der Datenprozessierung und -visualisierung hätte delegiert werden können. Zum anderen war Radar

seinerzeit eine neue Medientechnologie, die keineswegs perfektioniert war. Deshalb konnten in den Radarstationen von Chain Home allenfalls Wahrscheinlichkeiten der Positionen entfernter Flugzeuge produziert werden. Daher war der erwähnte Filter Room – in Bentley Priory in Stanmore bei London – notwendig, in welchem sämtliche ‚rohen Daten‘¹⁵ der Radarstationen zentralisiert wurden, um dort eine manuelle Datenglättung bzw. -filterung vorzunehmen.¹⁶ Erst anschließend wurde das Luftlagebild auf Basis der Radardaten an den benachbarten zentralen Operations Room geleitet, wo das nun korrigierte Bild mit den Daten der Horch- und Sichtposten des britischen Royal Observer Corps kombiniert wurde.

Wurde in einer Radarstation von Chain Home ein Plot generiert, bedeutete dies praktisch, dass eine Tellerin diesen an den Filter Room sendete. Jede Radarstation hatte hierfür eine telefonische Verbindung zu jeweils einer Plotterin im Filterraum, die entsprechend der Position der Radarstation um einen großen, gerasterten Tisch stand, der den Georaum der Radarabdeckung vor den Küsten Großbritanniens kartierte. Dort, in Stanmore, wurden die numerischen Radardaten durch Plotter:innen in farblich und geometrisch codierte Plättchen, mithin ‚handliche Daten‘ übersetzt, die auf die Karte gelegt wurden (vgl. Abb. 35). Die telefonische Meldung eines Plots lautete bspw. „Victor Willie 9-1, 4-3, 15 plus at 20, showing IFF.“¹⁷ Damit war das Kartenquadrat VW sowie die konkrete Position darin als auch die geschätzte Anzahl von Flugzeugen, deren Flughöhe und eine ‚Freund-Feind-Kennung‘¹⁸ benannt. Diese Inhaltsdimensionen des Plots wurden auf dem Plotting Table geometrisch unterschiedlich codiert: Kreise zeigten Positionen; Dreiecke die vermutete Anzahl von Flugzeugen; Vierecke die mutmaßliche Flughöhe.¹⁹ Die dafür nötige Ko-Operationskette zur Verflachung des Luftraums

15 Darauf, dass der Begriff der Rohdaten ein Oxymoron darstellt, ist bereits hingewiesen worden, vgl. den in Anlehnung an Geoffrey C. Bowkers gleichlautende Aussage erschienenen Sammelband Gitelman, Lisa (2013) (Hrsg.), „*Raw Data*“ is an Oxymoron, Cambridge, MA/London.

16 Der Filter Room war aufgrund der ‚messiness‘ der Radardaten notwendig, wie im historischen Kontext bescheinigt wurde: „In order to deliver intelligence obtained by Coastal Chain Stations to R.A.F. Operations Rooms in a form suitable for use, it has been found necessary to feed intelligence from R.D.F. Stations to a Filter Room before passing it on to Operations Rooms“, hieß es seitens der RAF, TNA AVIA 7/410 (27. August 1937).

17 Younghusband (2013): *One Woman's War*, 96.

18 „IFF“ – englisch für ‚identification of friend or foe“. Erfolgte die Meldung „IFF“, handelte es sich um ein Flugzeug der RAF, da bordseitig ein Transponder aktiviert war, der bei einer Radarortung durch Chain Home ein zusätzliches Signal auf gleicher Frequenz rücksendete, das der Identifikation von RAF-Flugzeugen diene. Dieses Transpondersignal war auf dem Radarbildschirm erkennbar.

19 Younghusband (2013): *One Woman's War*, 96.

arbeitete demgemäß mit „Inskriptionen“²⁰ detektierter Objekte und deren Kombination; erst die dadurch produzierten flachen Inskriptionen ermöglichten die anschließende Zirkulation von Luftlagebildern an die für sie relevanten Stellen.



Abbildung 35: Datendarstellung im zentralen Filterraum des Dowding Systems.

Beaufsichtigt wurde das Plotten – d.h. das Bestücken des Kartentisches mit Plättchen und numerischen Werten – von s.g. Filterern bzw. „Filter Officers“. Aus der visuellen ‚Unordnung der Dinge‘ extrahierten diese Informationen: War sich ein:e Filterer auf Basis der Plättchen sicher, aus vagen oder mitunter gar divergierenden Daten verschiedener Radarstationen hinreichende Indizien für eine tatsächliche Flugzeugformation zu identifizieren, ersetzte er oder sie die auf dem Tisch liegenden Plättchen durch eine kleine Tafel: „a little plaque that bore his [or her] best estimate of the identity, position, height, speed, and number of aircraft in the formation.“²¹ Datenglättung, also das Filtern, war genuin menschliche Fertigkeit manueller Praxis auf Basis empirisch erlernter Wahrscheinlichkeit.²² Im Filterraum

20 Latour, Bruno (1999): *Das Parlament der Dinge. Für eine politische Ökologie*, Frankfurt a.M., 41.

21 Bowden (1947): „Radar in the RAF Fighter Command“, 227.

22 TNA AVIA 7/183, E. C. Williams: „Filer Room Organization and Technique“. In dieser Studie von Beginn des Jahres 1940 hieß es über die menschliche Praxis des Filterns: „It cannot be too strongly emphasized that filtering is simply and solely an assessment of probability (...).“

befand sich zudem Personal der „Movement Liaison“, das über dem Kartentisch wie auf einem Balkon positioniert war, um möglichst freien Draufblick auf das sich ergebende Luftlagebild auf Radardatenbasis zu haben. Diese „Controller“ erhielten Informationen aller bekannten RAF-Operationen und konnten Tracks möglichst in binäre Freund-Feind-Kategorien differenzieren; sie informierten die Beteiligten, wenn ein Track als „Hostile“ eingestuft wurde, da diese Tracks beim weiteren Plotten priorisiert behandelt wurden.

Da sämtliche Stationen der Radarkette Chain Home ihre Daten in den Filterraum sendeten, ergab sich dort ein miniaturisiertes, annähernd echtzeitliches Bild des Luftraums vor den Küsten Englands: ein „real time picture of the battle.“²³ Dass dies qua Figuren und Plättchen, ihre geometrische und farbliche Codierung sowie numerische Werte, d.h. insgesamt über ein Bild gelöst wurde, hat nur bedingt etwas mit der Bildlichkeit des Luftlagebildes selbst zu tun – schließlich waren die prozessierten Daten allein als Koordinaten, mithin numerische Werte statt als Bilder relevant. Die kooperative, menschliche Verfasstheit der Datenverarbeitung machte jedoch Figuren und die symbolische Bestückung von Kartentischen geradezu notwendig, wäre doch eine derartige Datenmenge auf Papier nicht echtzeitlich ‚handhabbar‘ gewesen.

Problematisch war die zeitliche und räumliche Verfasstheit der Praktiken des Filterraums. So galt es, den Kartentisch per Hand symbolisch mit Daten zu bestücken, dabei den Tisch aber zugleich für andere Mitarbeiter:innen – und auch eine möglichst freie Draufsicht – freizuhalten. Als kritisch erwiesen sich also in der händischen Plotting- und Filter-Praxis vornehmlich zunächst trivial anmutende Aspekte. So war es bspw. kompliziert, für eine Vielzahl menschlicher Akteure im begrenzten architektonischen Raum um den Kartentisch herum Platz zu finden oder bereits auf dem Kartentisch stehende figürliche Plots beim Platzieren weiterer Plots nicht zu verschieben. Die Körper der beteiligten menschlichen Akteure stellten mithin die „limiting factors“²⁴ der manuellen Datenprozessierung dar. Zudem hatte sich die händische Datenprozessierung in ihrer Zeitlichkeit an der Geschwindigkeit anfliegender Flugzeuge auszurichten, um eine profitable Frühwarnzeit zu garantieren. „It was emphasised that speed was of the essence“, erinnerte sich die ehemalige Plotterin Eileen Younghusband: „There was no time for misunderstandings.“²⁵ Demgemäß glich der Filterraum, so schrieb sie weiter, aufgrund seiner architektonischen Verdichtung menschlicher Akteure einem

23 Younghusband (2013): *One Woman's War*, 99.

24 Bowden (1947): „Radar in the RAF Fighter Command“, 228.

25 Younghusband (2013): *One Woman's War*, 92.

„hive of activity; girls crowded around the table placing and removing many counters; officers having to push their way through them to put down their arrows or change the information on the metal raid plaques. They looked up to the balcony, answering questions from the officers above. There was constant movement. It looked like chaos but it worked. From the balcony the Controller, a senior RAF officer, was shouting instructions, identifying aircraft, always on the alert.“²⁶

Die auf dem Plotting Table identifizierten Flugbahnen wurden an den benachbarten Operations Room weitergeleitet, der nunmehr mit gefilterten Radardaten ein bestmöglich validiertes Bild der Luftlage vor den Küsten Englands erhielt. Kombiniert wurde das Luftlagebild dort mit den Meldungen der über dem Inland verteilten Horch- und Sichtposten, d.h. es galt dort, „the whole of the picture of the air war“²⁷ zu generieren. Dem Filterraum ähnlich war der Operations Room architektonisch derart gestaltet, dass sich zentral der Kartentisch befand, wobei Emporen den beteiligten menschlichen Akteuren eine möglichst freie Draufsicht auf den Tisch gewährten. Dadurch glied der Operations Room in den Worten seines wohl prominentesten Besuchers – Winston Churchill – einem „small theatre“.²⁸

Die architektonische Ausgestaltung des Operations Room war Bedingung und Resultat der sich in ihm ausgestalteten Praktiken. D.h. er war einerseits derart gestaltet, dass er Praktiken und Blickregime architektonisch determinierte, andererseits ist eben jenes architektonische Dispositiv Konsequenz der Praktiken der Her- und Darstellung des Luftlagebildes. Damit steht er programmatisch für das, was Susanne Jany als „Prozessarchitekturen“ identifizierte: Zweckbauten des Typs, „deren räumliche Disposition zugleich Voraussetzung wie Resultat der sich in ihnen vollziehenden und durch sie strukturierten Arbeits- und Betriebsabläufe darstellt.“²⁹ Das architektonische Setting des Operations Room war damit bilateral: durch Praktiken bestimmt und Praktiken bestimmend, die wiederum durch medientechnische Komponenten – Fernschreiber, Kopfhörer, Mikrophone, Telefone, Kabelnetze – ermöglicht wurden. Dadurch erwies sich der Operations Room als abgeschotteter, exklusiver und vor allem hybrider Ort, wie es Cormac Deane auch

26 Ebd., 93.

27 Bowden (1947): „Radar in the RAF Fighter Command“, 227.

28 Churchill, Winston (1985 [1949]): *The Second World War Volume II: Their Finest Hour*, Boston, 293. Dort schrieb Churchill: „The Operations Room was like a small theatre, about sixty feet across, and with two storeys. We took our seats in the Dress Circle. Below us was the large-scale map-table, around which perhaps twenty highly-trained young men and women, with their telephone assistants, were assembled.“

29 Jany, Susanne (2015): „Operative Räume. Prozessarchitekturen im späten 19. Jahrhundert“, in: *Zeitschrift für Medienwissenschaft* 7(1), 33-43, 34.

dem idealtypischen Control Room bescheinigt: „If ‚control room‘ signifies a particular combination of architecture and hardware, it also, in a single phrase, signifies a meshing of jurisprudence, communications, media technology, networks, sovereignty and space“,³⁰ wobei den menschlichen manuellen Datenpraktiken entscheidende Bedeutung zukam.

Die entstandenen Luftlagebilder auf dem Plotting Table des Operations Room – gleichwohl der Kartentisch horizontal ausgerichtet war – können als vertikale Bilder bezeichnet werden. Sie erlaubten Draufsichten, funktionalisierten eine Perspektive von oben und übersetzten den dreidimensionalen Luftraum in eine zweidimensionale Daten-Fläche. Wie von einem fiktiven Beobachtungspunkt weit im Luftraum über England sahen die beteiligten Akteure die Luftlagebilder in Form symbolischer Repräsentation realer Flugzeugformationen auf einem kartographischen Tisch. Insbesondere die Militärs in höheren Ebenen – sowohl vom Dienstgrad als auch buchstäblich, nämlich die Akteure auf der Empore über dem Kartentisch – sahen ein ins Symbolische übersetztes miniaturisiertes Geschehen des Luftraums und nahmen eine Blickposition ‚von oben‘ ein. Spannenderweise war dieser Blick von oben einer, der auf Daten basierte, die gerade nicht – wie im Falle von Drohnen, mit Kameras versehenen Lenkwaffen oder Heißluftballon-Fotographien – ‚aus der Luft‘ kamen, sondern bodengestützt generiert und akkumuliert wurden.

Von diesem zentralen Operations Room des s.g. Fighter Command Headquarters wurde das Luftlagebild an untergeordnete Gruppen- und Sektorenzentralen distribuiert, wo die als solche identifizierten Flugzeugformationen in ähnlicher Weise symbolisch-figürlich dargestellt wurden. Dafür waren die operativen Räume der Group Headquarters architektonisch ähnlich strukturiert wie der zentrale Operations Room und sie verfügten über dieselben Visualisierungsstrategien der Luftlage (vgl. Abb. 36). Zusätzlich wurden dort die Plots wiederholt mit den Angaben der „Observer Posts“ des Royal Observer Corps kombiniert. Diese vermeintliche Redundanz der erneuten Kombination von Radardaten mit Informationen des Observer Corps war insofern wichtig, als dass sich Sichtinformationen in der Zwischenzeit, begründet durch den Zeitverzug im Fighter Command Headquarters, vielleicht schon aktualisiert hatten. Aus den Operations Rooms der Sektoren wurden schließlich alle die Verteidigung betreffenden Operationen angewiesen: die Flak, Sperrballons und vor allem die Jägerleitung.

30 Deane, Cormac (2016): „The Control Room: A Media Archaeology“, <https://culturemachine.net/vol-16-drone-cultures/the-control-room/>, 14.10.2022.



Abbildung 36: Historischer Blick in den Operations Room der 10. RAF Fighter Group.

Besonders am Dowding System ist in der historischen Retrospektive seine Existenz als solche. Die Infrastruktur wurde in der Theorie bereits seit 1935 formalisiert, d.h. zu einer Zeit, in welcher ihr zentrales Medium – Radar – noch nicht funktional oder überhaupt verfügbar war. Schließlich fanden erste Radarversuche in Großbritannien erst im selben Jahr, 1935, statt. Im Folgenden will ich cursorisch auf diese Ursprünge des britischen Radars eingehen.

Das britische Air Ministry gab 1934 eine Untersuchung möglicher Gegenmaßnahmen für einen bevorstehenden Luftkrieg in Auftrag, zeichnete sich doch die Bedrohung durch Flugzeuge bereits am östlichen Horizont (Deutschland) ab.

Die Untersuchung kam zu dem Resümee, dass es auf britischer Seite keinerlei effektive Gegenmaßnahmen in Anbetracht der Schnelligkeit militärischer Flugzeuge gäbe. Bereits Anfang der 1930er Jahre war auf das Geschwindigkeitsproblem des Schalls im Vergleich zur Eigengeschwindigkeit detektierter Objekte hingewiesen worden: „the average time taken by sound to travel to a sound-locator from an aeroplane at 10,000 ft. is about 15 seconds and during this time the aeroplane moves along its course for a distance of about half a mile.“³¹ Damit erwiesen sich die Horchposten an der südglichen Küste – die parabolischen Sounddetektoren aus Stein und Beton, für die Judd Case den Begriff „macrophones“ prägte³² – als nutzlos. Diese basierten einerseits auf der Detektion von Flugzeuglärm – Schall – und zweitens auf passiven Verfahren der Lokalisation. Während des Winters 1934/35 gründete das britische Air Ministry daher das „Committee for the Scientific Survey of Air Defence“ zur Evaluierung alter und Erforschung neuer, mitunter elektromagnetischer Formen der Luftaufklärung. Es war in diesem Kontext, dass Radioingenieur Robert Watson-Watt einen Bericht verfasste, der als Gründungsdokument des britischen Radars gilt. In diesem diskutierte er die Möglichkeiten der militärischen Verwendung von Radiowellen zu Zwecken des direkten Einsatzes. In gängigen Radargeschichten wird allenfalls der Bericht, nicht aber sein Inhalt erwähnt. Deshalb lohnt es, diesen aus der Perspektive einer Mediengeschichte der Verzögerung vertiefend zu erörtern.

Bereits eröffnend hielt das Memorandum „Detection and Location of Aircraft by Radio Methods“ von Watson-Watt vom 27. Februar 1935 fest, dass es unsicher erscheine, Flugzeuglokalisationen oder zumindest -detektionen passiv auszugestalten, d.h. auf die Basis von Ausstrahlungen eines Flugzeuges selbst zu stellen („primary radiations“³³). Flugzeuglampen und etwaige Funksprüche würden nicht in einer Größenordnung verwendet, die eine Detektion erlaubten. Auch Flugzeuglärm von Propellern würde konstant lautstärkereduziert und erlaube aufgrund seiner Ausbreitungseigenschaften keine valide Detektion, so Watson-Watt. Aktive Verfahren der Ortung auf Basis von Licht oder Hitze erübrigten sich aufgrund atmosphärischer Absorptionen; eine Lokalisation auf Basis von Ultraschall sei da-

31 Paris, E. T. (1933): „Binaural Sound-Locators“, in: *Science Progress in the Twentieth Century (1919-1933)* 27(107), 457-469, 457. Infrastrukturprojekte der Ferndetektion im Luftraum auf Basis passiven Schallempfangs wurden später ad acta gelegt, vgl. TNA AIR 2/1849.

32 Case, Judd A. (2013): „Logistical Media: Fragments from Radar's Prehistory“, in: *Canadian Journal of Communication* 38(3), 379-396, 386-389. Vgl. Scarth, Richard N. (1999): *Echoes from the Sky: A Story of Acoustic Defence*, Kent.

33 Watson-Watt, Robert Alexander (1935): „Detection and Location of Aircraft by Radio Methods. Memorandum for C.S.S.A.D. dated 27th February, 1935“, o.A.

hingegen zwar potenziell möglich, aber aufgrund der Geschwindigkeit von Flugzeugen unvorteilhaft. Allein die Verwendung von Radiowellen zur Ortung sei methodisch vielversprechend, so Watson-Watt: „The most attractive scheme is that of setting up zones of short-wave radio ‚illumination‘ through which the approaching craft must fly.“³⁴

Watson-Watt erklärte Flugzeuge zu potenziellen Reflektoren elektromagnetischer Wellen. Die reflektorische Eigenschaft von Metall war durch die s.g. Spiegelversuche von Heinrich Hertz aus dem Jahr 1886 belegt worden³⁵ und wurde bereits zwischen 1902 und 1905 durch Christian Hülsmeyers (ökonomisch desaströses) „Telemobiloskop“ experimentell im Feld zu Zwecken der Schiffsortung ausgenutzt. Besonders am Memorandum war im Unterschied hierzu die Formalisierung der Radiodetektion, die Watson-Watt vorschlug. Ein zur hypothetischen Radioortung vorgesehener Sender solle „brief pulses, equally spaced in time“ aussenden, um Flugzeugdetektionen technologisch per Delay-Messung zu praktizieren. Die irreduzible Laufzeit von Radioimpulsen avancierte in diesem visionären Dispositiv zur Grundlage der Lokalisierung entfernter metallener Objekte des Luftraums. Die apparative Messung der Distanz sollte laut Watson-Watt durch ein visuelles Interface realisiert werden: Unsichtbare Verzögerungen von Radiowellen im Kontext einer Impuls-Echo-Lokalisation sollten auf einer Kathodenstrahlröhre bildlich werden. Bei entsprechender Skalierung des Bildschirms könnte sodann die Entfernung zu reflektierenden Objekten im Luftraum direkt abgelesen werden, wie Watson-Watt explizierte: „the distance between craft and sender may be measured directly by observation on a cathode-ray oscillograph directly calibrated with a linear distance scale“.

Besonders an dieser 1935er Wissenschaftsfiktion künftiger Radiolokalisation ist, dass sie das visuelle Dispositiv bildschirmbasierter Mensch-Maschine-Kommunikation des späteren Radars antizipierte. Sie deklarierte Bildschirme zu Medien der zeitkritischen Übersetzung des Makroraums in amplitudenmodulierte Semantiken des kalibrierten Mikroraums eines Screens. Dadurch fügten sich tendenziell unsichtbare Objekte des Luftraums, so Watson-Watt, qua „time-delay measurement“ in ein elektronisches Bild. In diesem visionären Setting fungierten Bildschirme – wie sie Watson-Watt bereits in der zweiten Hälfte der 1920er Jahre als „cathode-ray direction finders“³⁶ zur Detektion von Gewittern, s.g. Sferics nutzte³⁷ –

34 Ebd. Alle weiteren folgenden Bezugnahmen auf das Memorandum entstammen derselben Quelle.

35 Hertz, Heinrich (1888): „Über Strahlen elektrischer Kraft“, in: *Mathematische und Naturwissenschaftliche Mittheilungen aus den Sitzungsberichten der Königlichen Preussischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin*, 841-851.

36 TNA AIR 5/1349, Robert Watson-Watt: „Cathode Ray Direction Finder“.

zwischen technischen Apparaturen und Menschen als Schnittstellen der Visualisierung von Verzögerungen.

Dabei antizipierte Watson-Watt die spätere Mikrotemporalität der Impulstechniken des Radars: „I believe these times to be quite manageable within the technique, though they involve a very considerable shortening of the pulse durations now used (about 200 microsec.).“ Ebenso deutete sich bei Watson-Watt die neuartige Epistemologie der Technologie an. Künftiges Radar basiere erstens nicht allein auf Bildschirmpraktiken, sondern erlaube potenziell eine teilweise oder vollständige Automatisierung, so Watson-Watt. Zweitens sollten die Techniken zur Erzeugung geeigneter Wellenlängen – zum Zeitpunkt des Berichts gängigerweise 50 Meter – schnellstmöglich in kürzere Wellenbereiche vordringen. Drittens sei die „provision of a line of senders over a long front“ nicht kompliziert, wodurch sich ein radarspezifisches Denken in Netzwerken und Infrastrukturen andeutete (Watson-Watt schrieb diesbezüglich bereits von einem „central control room“ zur kartographischen Repräsentation von Radardaten). Und viertens antizipierte das Memorandum die epistemologische Tragweite der zum Zeitpunkt ihres Verfassens noch nicht existenten Technologie, da die Übersetzung von radiolokalisierten Positionen von Objekten im Luftraum in möglichst „accurate positional data“ des Netzwerks zum kritischen Parameter deklariert wurde.

Der in Watson-Watts Bericht konzipierte Einsatz von Radiowellen stand der Praxis des Rundfunks diametral gegenüber. Wurden Radiowellen beim Rundfunk als einem Unterhaltungsmedium zur Übertragung akustischer Ereignisse genutzt, kam der Zeitlichkeit der Übertragung selbst keinerlei Bedeutung zu. Dementsprechend finden sich in frühen Auseinandersetzungen mit dem Medium Rundfunk, wenn sie die Zeitlichkeit seiner Übertragung überhaupt berücksichtigen, Referenzen zu seiner Realisierung vermeintlicher Gleichzeitigkeit. Dies belegen die Schriften prominenter Radiotheoretiker wie Theodor W. Adorno³⁷ oder Rudolf Arn-

37 Watson-Watt, Robert/Herd, J. F. (1926): „An instantaneous direct-reading Radiogoniometer“, in: *Journal of the Institution of Electrical Engineers* 64, 611-622. Zum Problem der Wettervorhersage auf Radiobasis: Watson-Watt, Robert (1929): „Weather and Wireless“, in: *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 55(231), 273-301. Zu seinen frühen Versuchen: Watson-Watt, Robert (1923): „Directional observations of atmospherics 1916-1920“, in: *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science* 45(269), 1010-1026. Nach eigenen Angaben hatte Watson-Watt bereits im März 1916 in einem Memorandum „On a method of Determining the Direction of Distant Electrical Discharges“ an den Direktor des britischen Meteorological Office den Vorschlag gemacht, Kathodenstrahlröhren zur Gewitterdetektion zu nutzen. Jedoch standen zu jener Zeit noch keine geeigneten Oszillographen zur Verfügung, weshalb das Verfahren erst im Sommer des Jahres 1923 erprobt werden konnte, TNA AIR 2/10878.

38 Adorno bescheinigte dem Rundfunk einen räumlich verteilten gleichzeitigen Empfang von Inhalten: „(...) identical content appears at innumerable places at the same time

heim.³⁹ Demgegenüber basiert Radar genuin auf der Zeitlichkeit bzw. genauer: dem Delay elektromagnetischer Wellen und seiner Messung. Im Unterschied zum Unterhaltungsrundfunk stellt Radar ein Geomedium dar, wie ihm bereits im historischen Kontext attestiert wurde:

„Radar may well be considered a type of radio communication. It is like broadcasting in that it is one-way transmission of intelligence. It is unlike broadcasting in that it gathers intelligence from its surroundings rather than giving it out. The intelligence gathered is the distance and direction of objects within the range of the radar.“⁴⁰

Die Echoortung auf Basis von Radio-Delaymessungen stellte an sich kein neues Verfahren dar, sondern war die Applizierung einer bereits bekannten Methode auf ein neues Problem – dessen war sich Watson-Watt bewusst.⁴¹ Zwar beginnen Radargeschichten gern bei den bereits genannten Hertz und Hülsmeyer, schreiben sich über die Vorschläge des Radiopioniers Guglielmo Marconi zur Funkdetektion⁴² und über Praktiken des *radio direction finding*⁴³ seit den 1920er Jahren fort – sie vernachlässigen aber, dass sämtliche dieser Radioszenarien allein *raum-* statt *zeitkritisch* agierten. Entscheidendes Signum des Aktivradars ist dahingegen sein Operieren auf Basis von *Impulslaufzeiten*. Diesbezüglich konnte Watson-Watt seine Radarvision nur formulieren, weil er zum einen technische Expertise in der Visualisierung von elektrischen Spannungen auf Kathodenstrahlröhren hatte. Zum

(...)“, Adorno, Theodor W. (2006): *Current of Music: Elements of a Radio Theory*, hrsg. v. Robert Hullot-Kentor, Frankfurt a.M., 148.

39 Arnheim schrieb, das Radio sei eine „Apparatur, deren technische Eigenart in nichts anderem besteht als darin, daß Klänge, die an einem bestimmten Ort erzeugt worden sind, an beliebigen und beliebig vielen weiteren Orten gleichzeitig zum Wiederaufklingen gebracht werden können.“ Arnheim, Rudolf (2001 [1936]): *Rundfunk als Hörkunst und weitere Aufsätze zum Hörfunk*, Frankfurt a.M., 141.

40 Kelly, Marvin J. (1945): „Radar and Bell Laboratories“, in: *Bell Telephone Magazine* 24(4), 221-255, 224.

41 Vgl. Watson-Watt, Robert A. (1945): „Radar in War and in Peace“, in: *Nature* 156, 319-324.

42 Marconi vertauschte 1922 produktiv die Rundfunk-Dimensionen von Botschaft und Störung und deklarierte Schiffe zu Reflektoren elektromagnetischer Wellen, um eine Apparatur „of great value to navigators“ zu visionieren, Marconi, Guglielmo (1922): „Radio Telegraphy“, in: *Proceedings of the Institute of Radio Engineers* 10, 21, zit. n. Appleton, Edward (1945): „The Scientific Principles of Radiolocation“, in: *Journal of the Institution of Electrical Engineers* 92(57), 340-353, 340.

43 Hierzu Keen, R. (1922): *Direction and Position Finding by Wireless*, London.

anderen, weil er – wie sämtliche Initiator:innen von Radar⁴⁴ – mit Experimenten vertraut war, die zehn Jahre vor seinem Memorandum durchgeführt worden waren: Das Prinzip, auf dem Impulsradar basiert, geht zurück auf die ionosphärische Forschung⁴⁵ der US-amerikanischen Physiker Gregory Breit und Merle Anthony Tuve. Diese bestimmten 1925 die Höhe der Ionosphäre mit einer Radio-Impuls-Methode, die sie zuvor mit zwei Kollegen an der University of Minnesota basierend auf der Idee entwickelten, „to interrupt the continuous waves of a transmitting [radio] station“.⁴⁶ Durch eine Kooperation mit dem US Naval Research Laboratory konnte das technische Equipment für das Prinzip der elektromagnetischen Höhenbestimmung angefertigt werden,⁴⁷ sodass ihre technologische Umweltforschung bzw. ihre „oscillographic study of radio signals with the purpose of observing the echo from the [conducting] layer“⁴⁸ schließlich glückte. Damit stellte Breit und Tuves Experimentalanordnung die erste funktionale Entfernungsmessung per elektromagnetischer Impulse dar, deren Delayverhalten auf einer Kathodenstrahlröhre visualisiert wurde. Dieses Prinzip der Entfernungsmessung auf Basis von Impulslaufzeiten sollte in den darauffolgenden Jahren jedoch zunächst nicht weiter genutzt werden. Erst 1931 erschien in der Zeitschrift *Nature* ein seinerzeit unscheinbarer, lediglich eine Seite kurzer und singulärer Artikel unter dem Titel „A Simple Method of Investigating Wireless Echoes of Short Delay“.⁴⁹ Die Randstän-

44 Vgl. Guerlac, Henry (1950): „The Radio Background of Radar“, in: *Journal of the Franklin Institute* 250(4), 285-308, 304.

45 Als Luftschicht über dem Erdglobus mit hohem Anteil an ionisierten Partikeln reflektiert die Ionosphäre Radiowellen. Dass es diese Schicht geben muss, wurde im Dezember 1901 bei der ersten transatlantischen Funkübertragung des Morsebuchstabens „s“ zwischen England und Neufundland evident: Denn die Übertragung hätte nach damaligem Kenntnisstand nicht gelingen dürfen. Radiowellen wurde zu jenem Zeitpunkt noch unterstellt – in Folge der u.a. von Heinrich Hertz durchgeführten Experimente –, sich wie Licht zu verhalten. Dies tun sie allerdings nur bedingt.

46 Breit, Gregory/Tuve, Merle A. (1925): „Note on a Radio Method of Estimating the Height of the Conducting Layer“, in: *Terrestrial Magnetism and Atmospheric Electricity* 30(1), 15-16, 15.

47 Vgl. Breit, Gregory/Tuve, Merle A. (1925): „A Radio Method of Estimating the Height of the Conducting Layer“, in: *Nature* 116, 357.

48 Breit, Gregory/Tuve, Merle A. (1926): „A Test of the Existence of the Conducting Layer“, in: *Physical Review* 28, 554-575, 554. Hierzu auch Tuve, Merle A./Dahl, O. (1928): „A Transmitter Modulating Device for the Study of the Kennelly-Heaviside Layer by the Echo Method“, in: *Proceedings of the Institute of Radio Engineers* 16(6), 794-798. Der Aufsatz betonte die Bedeutung „of sending out ‚peaks‘ of very short duration and proper spacing for the study of the radio reflections from the ionized layer in the upper atmosphere by the echo method“, ebd., 794.

49 Appleton, Edward Victor/Builder, G. (1931): „A Simple Method of Investigating Wireless Echoes of Short Delay“, in: *Nature* 127, 970.

digkeit des Verfahrens lag darin begründet, dass es bis dato völlig unklar war, wofür Radioimpulse im Mikrosekunden-Bereich – im Unterschied zu kontinuierlichen Sendungen – überhaupt breite Anwendung finden sollten. Schließlich war die Höhenbestimmung der Ionosphäre ein vergleichsweise exklusives Anliegen.

Weiter will ich der Vorgeschichte von Radar in der umweltlichen Ionosphären-Forschung nicht nachspüren. Mir ging es um die kursorische Rekonstruktion der Begründung von Radar als Bildschirmmedium und mikrotemporal agierender Impulstechnik – dies wird im Laufe des Kapitels noch relevant werden. Zudem will ich keine weitere Geschichte des Radars liefern. An ihr besteht kein Mangel, im Gegenteil, die Fülle an Forschungsliteratur ist derart groß, dass hier allein exemplarisch auf ausgewählte Bücher verwiesen werden kann.⁵⁰ Es ist im Folgenden Anliegen, die historische Genealogie nationaler und disparater Radartechnologien gewissenhaft zu umgehen und aus medienwissenschaftlicher Perspektive, unter Berücksichtigung der historischen Rahmung dieser Arbeit, auf die durch Radartechnologie begründeten Elemente unserer aktuellen Kultur zu fokussieren.

Bereits in den 1940er Jahren prägte Radar Praktiken, Strukturen und Technologien aus, die in den nachfolgenden Jahrzehnten eine wesentliche Grundlage digitaler Kulturen darstellen sollten. Damit ist ein Ursprung aktueller Medienkulturen irreduzibel im Radar zu finden. Diese These ist nicht prinzipiell neu, da das nordamerikanische Luftverteidigungssystem SAGE (*Semi-Automatic Ground Environment*) – dessen Grundlage eine räumliche verteilte Radarinfrastruktur darstellte – bereits mehrfach als zentral für die medien- und netzwerktechnische Entwicklung des 21. Jahrhundert identifiziert worden ist.⁵¹ Allerdings war SAGE erst um

-
- 50 Jones, Reginald Victor (1978): *Most Secret War: British Scientific Intelligence 1939–1945*, London; Buder, Robert (1996): *The Invention That Changed the World. How a Small Group of Radar Pioneers Won the Second World War and Launched a Technological Revolution*, New York; Bowen, Edward George (1987): *Radar Days*, Bristol; Price, Alfred (1977): *Instruments of Darkness: The History of Electronic Warfare*, London; Reuter, Frank (1971): *Funkmaß: Die Entwicklung und der Einsatz des Radar-Verfahrens in Deutschland bis zum Ende des Zweiten Weltkrieges*, Opladen; zudem eher autobiographisch intendiert: Watson-Watt, Robert (1959): *The Pulse of Radar*, New York; Rowe, Albert Percival (1948): *One Story of Radar*, Cambridge; Wilkins, Arnold (2006): *The Birth of the British Radar. The Memoirs of Arnold „Skip“ Wilkins*, hrsg. v. Colin Latham u. Anne Stobbs, Bedford.
- 51 Everett, Robert R. (1983) (Hrsg.), *Annals of the History of Computing* 5(4), Special Issue: „SAGE (Semi-Automatic Ground Environment)“; Jacobs, John F. (1986): *The SAGE Air Defense System. A Personal History*, Bedford; Hughes, Thomas P. (1998): *Rescuing Prometheus: Four Monumental Projects That Changed the Modern World*, New York, insb. Kapitel 2 „MIT as System Builder: SAGE“; Redmond, Kent C./Smith, Thomas M. (2000): *From Whirlwind to MITRE: The R&D Story of The SAGE Air Defense Computer*, Cambridge, MA; Edwards, Paul N. (1996): *The Closed World: Computers and the Politics of Discourse in Cold War America*, Cambridge, MA.; Geoghegan, Bernard Dionysius (2019): „An Ecolo-

1960 einsatzbereit, wohingegen diese Untersuchung 1950 endet. Das wiederum ist besonders, da die Frühphase des Radars zwar mitunter erschöpfende technik-historische Aufmerksamkeit erfuhr,⁵² seine medienkulturwissenschaftliche Untersuchung aber aussteht. Grundsätzliche These ist, dass in dieser historischen Frühphase bereits die entscheidenden technischen, theoretischen und epistemischen Grundlagen zu finden sind, die seit den 1950er Jahren erst zum bspw. SAGE führen konnten. Ebenso können hier die Fundamente identifiziert werden, die später – bspw. auf den Macy-Konferenzen⁵³ – als wesentliche Momente des Digitalen definiert werden sollten. Ein durch Radartechnik evoziertes, zunächst technikspezifisches Denken wurde mithin zum Denken des Digitalen.

Diesem Desiderat widme ich mich im Folgenden anhand von acht Aspekten, die mir wesentlich erscheinen, die medienkulturelle Relevanz von Radar aufzuzeigen. Die ersten beiden Beispiele sind spezifisch für das Dowding System und die britische Radarkette Chain Home: die Infrastrukturierung von Radar und die Etablierung von System Design sowie Operations Research. Danach werde ich den größeren Medieneffekten im Sinne einer Epistemologie des Radars nachspüren. Konkret sind dies Radar Beacons; die Radio-Navigationsinfrastruktur LORAN; die US-amerikanische Radarindustrie; das Operieren von Radar als Impulstechnik; die Verwobenheit von Radar- und Digitalcomputer-Geschichte; Verfahren der Pulse-Code-Modulation; und schließlich der Transfer von Radarbildschirmen in andere Kontexte.

Die Infrastruktur des Mediums

Radar ist nicht *ein* Medium. Es ist eine medientechnische Funktion, die differente Ausprägungen erfahren konnte.⁵⁴ Es war das Verdienst der britischen Radarpioniere, die praktische Unbestimmtheit jener medialen Funktion zum gegebenen

gy of Operations: Vigilance, Radar, and the Birth of the Computer Screen“, in: *Representations* 147(1), 59-95.

52 Verwiesen sei an dieser Stelle auf die umfangreichen und spezifischen Arbeiten von Fritz Trenkle für das deutsche Radar bspw. (1979): *Die deutschen Funk-Navigations- und Funk-Führungsverfahren bis 1945*, Stuttgart; (1981): *Die deutschen Funkpeil- und -Horch-Verfahren bis 1945*, Ulm; (1982): *Die deutschen Funklenkverfahren bis 1945*, Heidelberg; (1987): *Die deutschen Funkführungsverfahren bis 1945*, Heidelberg.

53 Vgl. Pias, Claus (Hrsg.) (2003), *Cybernetics–Kybernetik. The Macy-Conferences 1946-1953. Band 1: Transactions/Protokolle*, Zürich.

54 Wie bei allen technischen Medien bezeichnet der Name „Radar“ nicht eine einzelne Apparatur, sondern eine technische Funktionalität, die mitunter sehr unterschiedliche praktische Implementierungen erfahren kann, wie bereits im historischen Kontext betont wurde, vgl. Kelly (1945): „Radar and Bell Laboratories“, 221.

Zeitpunkt angesichts der Luftkriegsbedrohung produktiver auszunutzen, als dies im historischen Kontext in Nazideutschland⁵⁵ oder andernorts geschah. Das britische Radar war seit seinen Anfängen grundlegend dazu intendiert, eine vernetzte Medientechnik zur Frühwarnung vor feindlichen Flugzeugen darzustellen. Radar konnte nur dann einen strategisch veritablen Vorteil im *Battle of Britain* zeitigen, wenn es in eine Infrastruktur integriert war, die menschliche und technische Akteure in einer kollaborativen Operationskette verschaltete, um die RAF ins buchstäbliche Bild der Luftsituation zu setzen. Im Dowding System stellten dabei zwei epistemische Dimensionen in ihrer Kombination ein historisches Novum dar: die *Verarbeitung großer Datenmengen* und die *Echtzeitlichkeit* dieser Prozessierung.

Der Zweite Weltkrieg war der erste militärische Konflikt, der eine umfassende Organisation, Infrastrukturierung und Koordination der Luftverteidigung auf Radardatenbasis ausprägte. Dies bestimmte das Wesen des Krieges entschieden mit. Anfang der 1930er Jahre war die „militärische Welt“, so Wolfgang Hagen,

„noch in einer mechanischen Raumvorstellung gefangen, bei der es um physische Massen an Material, ihre Beschleunigungen und Geschwindigkeiten ging, um eine Welt, in der in einem Guderian’schen Blitzkrieg aus raumgreifend schnellen Panzern, koordiniert über drahtlose Kommandoketten und taktisch unterstützt von Flugzeugen, die Gegner mit Masse und Schnelligkeit geschlagen werden sollten.“⁵⁶

Ähnlich schreibt John Shiga, dass sich im Ersten Weltkrieg das Potenzial einer Nation nach ihrer möglichen Produktion von Kohle und Stahl bemaß. Dahingegen war im Zweiten Weltkrieg die Geschwindigkeit von Datenverarbeitungen essenziell geworden: „Between the two world wars, speed became paramount in decision-making about the development and organization of both transportation and communication infrastructures.“⁵⁷ In der zweiten Hälfte der 1930er Jahre nahm die militärische Situation in England, induziert durch praktische Radarforschung, Abstand von mechanisch geprägten Raumkonzeptionen. Priorisiert wurde eine in-

55 Vgl. von Ardenne, Manfred (1988): *Sechzig Jahre für Forschung und Fortschritt*, Berlin, 158-160. Ardenne entwickelte bspw. bereits 1936 in Deutschland einen „Polarkoordinaten-Elektronenstrahl-Oszillograph“, der allerdings aufgrund der dortigen Skepsis gegenüber Radar zunächst keine Berücksichtigung fand.

56 Hagen, Wolfgang (2018): „Sunday Soviets und Blackett’s Circus. Zur Entstehung des Operations Research aus dem Geiste des Radars“, in: Lars Nowak (Hrsg.), *Medien – Krieg – Raum*, Paderborn, 235-260, 235.

57 Shiga, John (2016): „Ping and the Material Meanings of Ocean Sound“, in: Nicole Starosielski/Janet Walker (Hrsg.), *Sustainable Media: Critical Approaches to Media and Environment*, New York, 128-145, 136.

formatische Behandlung der Luftlage, da Radar als Technologie der Lokalisierung entfernter Präsenzen vormalige Momente der Überraschung berechenbar machte, wie es Zeitzeugen formulierten:

„In the past, surprise has been achieved by the deployment of forces in the darkness of night or under a covering of fog, cloud, or smoke. The early warning of enemy approach afforded by our ever-improving radar equipments and the increasingly effective techniques for their use deprived the enemy of the advantage of surprise attacks.“⁵⁸

Da die Jagdflugzeuge der RAF Bomberangriffe quantitativ nicht verhindern konnten, galt es, das Bomberproblem qualitativ auf Basis von Datenprozessierung zu parieren. Notwendig wurden Informationen, wann und wo sich Flugzeuge der britischen Küste näherten und welches Ziel sie womöglich ansteuerten. Bezeichnend ist, dass die Berechnung jener Zukünfte auf Basis von Radardaten im historischen Kontext nicht an Computer delegiert werden konnte – sie musste von menschlichen Akteuren praktiziert werden. Die Formalisierung vormaliger Überraschungsmomente war irreduzibel an menschliche Ko-Operationsketten zur Visualisierung von Luftlagebildern gekoppelt. Diese Luftlagebilder hatten Radardaten als Grundlage; allerdings galt es, diese Daten kooperativ zu zentralisieren, zu visualisieren, zu kombinieren, zu filtern, weiterzuleiten und zu distribuieren – und zwar in einem Tempo, das sich an der Einfluggeschwindigkeit etwaiger Bomber bemaß. Dies machte eine militärische Organisation notwendig, deren Schlagkraft sich an der Geschwindigkeit der Verarbeitung und Visualisierung großer Datenmengen ausrichtete. Die Echtzeitlichkeit der Prozessierung von Luftlagedaten wurde zum informativen Gehalt des Dowding Systems.

Liegt der Fokus beim *Battle of Britain* meist auf den als heroisch stilisierten Taten der RAF und den Spitfire- und Hurricane-Piloten oder allein auf der Technik des Radars, ist es aus wissens- und wissenschaftshistorischer sowie medienwissenschaftlicher Perspektive vielmehr Radar als Praxis, welche Aufmerksamkeit verdient. Die infrastrukturelle Arbeit, die Radar begründete und die in Luftlagebildern kulminierte, war buchstäblich entscheidend für die Luftschlacht um England. Die echtzeitliche Übersetzung des Luftkrieges in miniaturisierte Luftbilder als Ergebnis kooperativer Datenpraxis war der entscheidende Effekt der Radartechnologie in ihrer systemischen Verschaltung. Damit teile ich eine Annahme, die David Zimmerman äußerte: Radar als neue Wahrnehmungstechnologie konnte nur dann einen Vorteil für den Luftkrieg um England bringen, wenn es in eine Infrastruktur

58 Kelly (1945): „Radar and Bell Laboratories“, 222.

integriert war, die die einzelnen, räumlich verteilten Radardaten zentralisiert in Luftlagebildern darstellte.⁵⁹

Es lässt sich argumentieren, die Infrastruktur „Dowding System“ wurde überhaupt erst um die erforderliche Logistik der kollaborativen Datenprozessierung herum aufgebaut. Die ersten drei Radartürme von Chain Home wurden 1937 in Bawdsey, Canewdon und Dover errichtet.⁶⁰ Im September 1939, zum Ausbruch des Zweiten Weltkriegs, verfügte Chain Home über 18 Radarstationen. Sämtliche in den Radarstationen akquirierten Daten wurden – wie bereits dargelegt – in den erwähnten zentralen Filterraum in Stanmore gesendet. Anschließend wurde das dort entstandene Luftlagebild an den benachbarten Operations Room weitergeleitet, dort mit den Meldungen von Horch- und Sichtposten kombiniert und schließlich an die betreffenden untergeordneten Gruppen- und Sektoren-Gefechtsstände distribuiert. Für ein Verständnis der infrastrukturellen Kanalisierung des Datenflusses zur Darstellung und Verteilung von Luftlagebildern im Dowding System hilft es, sich – in Anlehnung an die Maxime der Akteur-Netzwerk-Theorie des „follow the actor“ – auf die dynamische Spur der historischen Daten zu begeben. Dadurch wird die Bedeutung menschlicher Akteure evident: Bei jedem Glied der Operationskette zur Her- und Darstellung umfassender Luftlagebilder waren es Praktiken, die über die Funktionalität der gesamten Infrastruktur entschieden.⁶¹

Bereits im November 1935 – dem Jahr des initialen Radar-Memorandums – machte sich Robert Watson-Watt Gedanken über die Darstellung von Radardaten und die infrastrukturelle Ausgestaltung kommunikativer Pfade; denn wie es ein am Dowding System beteiligter Akteur 1937 formulierte: „in full operations the communication problem is vital, and that communications are frequently, almost invariably, the weakest link in the operational chain.“⁶² Damit wurde der Begriff der ‚Operationskette‘ für die infrastrukturelle Ausgestaltung von Radar explizit. Es setzte ein Radardenken⁶³ ein, das bestrebt war, ein verteiltes Netz der Produktion,

59 Zimmerman schreibt: „Yet radar only provided raw data which was useful only if it could be distilled into a useful form of information which could be disseminated to the proper operational units quickly and accurately.“ Zimmerman, David (2004): „Information and the Air Defence Revolution, 1917-40“, in: *The Journal of Strategic Studies* 27(2), 370-394, 370.

60 Air Ministry (Hrsg.) (1950), *Signals Vol. IV: Radar in Raid Reporting*, London, 15.

61 Dieses historiographische „follow the data“ im Dowding System findet sich in Borbach, Christoph/Thielmann, Tristan (2019): „Über das Denken in Ko-Operationsketten. Arbeiten am Luftlagebild“, in: Sebastian Gießmann/Tobias Röhl/Ronja Trischler (Hrsg.), *Materi- alität der Kooperation*, Wiesbaden, 115-167.

62 TNA AVIA 10/47.

63 Das für dieses Kapitel titelgebende „Radardenken“ entlehne ich Gottfried Benns Traktat „Radardenker“, das bezeichnenderweise bereits 1949 erstveröffentlicht wurde. Für Benn

Übertragung, Visualisierung, Prozessierung und Verteilung von Daten zu konstruieren, das von der Maxime ‚das Ganze ist mehr als die Summe seiner Teile‘ gekennzeichnet war. Die Datenproduktion in den einzelnen Radarstationen – die 1935 noch nicht existierten – war angedacht, integrierter Teil eines systemisch-dynamischen Prozesses zu sein. Insbesondere die Verbindungen zwischen den für das Netzwerk relevanten „centers of calculation“⁶⁴ – wo Daten zu Bildern und mithin Wissen werden konnten –, wurde dabei zugunsten einer möglichst schnellen, d.h. zeitverlustfreien Datenpraxis als kritisch angesehen. Damit der Luftraum im Miniaturformat in Luftlagebildern auf Radarbasis beobachtbar werden konnte, wurde die datenlogistische Funktion des Dowding Systems bereits 1935 derart konzeptualisiert, möglichst in Echtzeit große Datenmengen des Luftraums, nämlich die Positionen von (feindlichen) Flugkörpern, zu akkumulieren und zu prozessieren.

Es formte sich ein Infrastrukturdenken, das im Unterschied zu vorigen elektrotechnischen Netzwerken, wie die Telegraphen- oder Telefonnetze, davon gekennzeichnet war, Signale und Daten nicht nur zu übertragen, sondern auch zu verarbeiten. Dies lässt das Dowding System postmodern erscheinen: Es war eine oder die erste Infrastruktur der Übertragung *und* Prozessierung – und zwar im Unterschied zu anderen kooperativen Datenpraktiken in *Echtzeit* und von *großen Datenmengen*. Denn in seiner Skalierung bestand ein Novum gegenüber vorigen Operationsketten zur (militärischen) Informationssammlung und -verarbeitung: Waren echtzeitliche Datenprozessierungen bereits im Ersten Weltkrieg praktiziert worden, handelte es sich dort um buchstäblich übersichtliche Räume, da sie bspw. von Ballons aus überschaubar waren.⁶⁵ Dahingegen war der gesamte Luftraum vor der britischen Küste im besten Sinne unsichtbar. Die für den Überblick auf Kartentischen in Operations Rooms erforderliche Anzahl an Radarstationen sowie Horch- und Sichtposten erzeugte dementsprechend *viele Daten*, modern gesprochen *Big Data*. Die notwendig echtzeitliche, mithin zeitkritische Verfasstheit der Infrastruktur ergab sich wiederum aus der militärischen Brisanz der Situation und wurde von ihren Akteuren intensiv betont. Das belegt schon das Eingangszitat dieses Ka-

war Radar mehr als ein technologisches Prinzip und evozierte einen Typus Mensch, der durch eine bestimmte ‚kalte‘ Wahrnehmungsweise gekennzeichnet sei, vgl. Benn, Gottfried (1991 [1949]): „Der Radardenker“, in: *Sämtliche Werke. Band V. Prosa 3*, hrsg. v. Gerhard Schuster, Stuttgart, 65-79. Ebenso ist es These dieses Kapitels, dass Radar nach dem Vorbild seines Mediums ein zeitkritisches Denken evozierte, das bei den ihrerzeit praktizierenden Akteuren zu identifizieren ist.

64 Latour, Bruno (1987): *Science in Action. How to Follow Scientists and Engineers through Society*, Cambridge, MA, insb. 215-257.

65 Vgl. Bender, Hendrik/Kanderske, Max (2022): „Co-Operative Aerial Images: A Geomedia History of the View from Above“, in: *New Media & Society* 24(11), 2468-2492.

pitels von Watson-Watt, der die notwendige Echtzeitlichkeit der Datenprozessierung in ihren epistemischen Mittelpunkt stellte. Solche fortwährenden Verweise auf die zeitkritische Bedingung finden sich in der Autobiographie von Eileen Younghusband, die als „Plotter“ und „Filterer“ arbeitete: „speed and accuracy were essential to give the maximum warning of the approach of enemy aircraft, thus ensuring fast interception by our fighters“;⁶⁶ „as Plotters, you always keep the information up-to-date.“⁶⁷

Schaut man sich die Praktiken der Datenprozessierung im Dowding System an, wird deutlich, dass es sich um eine manuelle Form des infrastrukturellen Analog-Computings handelte: eines, das sich an Plotting Tables symbolisch-figürlich ausgestaltete. Menschliche Akteure als Glieder einer komplexen Kette der Datenverarbeitung – in Quellen findet sich explizit die Rhetorik von Personen als „link in the chain“⁶⁸ – hatten je spezifische Aufgaben zu erfüllen, die wiederum die Grundlage für nachfolgende operative Praktiken des *data processing* waren. Ist die Bildlichkeit moderner, digitaler Screens eine Bedingung, Menschen interaktiv mit der Datenprozessierung digitaler Maschinen zu verschalten, war die Bildlichkeit beim Dowding System eine Bedingung für die figürlich ausgestaltete Datenprozessierung durch menschliche Akteure. Auch bildliche Prozessierungsleistungen auf Datenbasis in Echtzeit sind demnach kein Spezifikum digital-algorithmischer Prozesse, sondern können von Menschen Hand geleistet werden.

Die visualisierten Luftlagebilder waren keine Darstellung des Geschehens im Luftraum. Sie waren ein qua Infrastrukturarbeit echtzeitlich in Symbole und Figuren übersetztes Datenkonstrukt. Dieses hatte den Anspruch, ein reales Geschehen zu repräsentieren, seine potenzielle Vagheit musste jedoch unweigerlich akzeptiert werden. Die Luftlagebilder waren keine indexikalischen Dokumente des Luftraums – wie es analoge Photographien wären⁶⁹ –, sondern Ergebnis zeitkritischer Datenmanipulationen: Sie wurden kooperativ berechnet, gefiltert, kombiniert, korrigiert usw. Besonders ist im Unterschied zu digitaler Prozessierung, dass die

66 Younghusband (2013): *One Woman's War*, 105-106.

67 Ebd., 98.

68 TNA AVIA 7/183, E. C. Williams: „Filter Room Organization and Technique“.

69 Zum Medienunterschied zwischen Photographie und Radar hält Lev Manovich zudem hinsichtlich der Zeitdimension mit einem klassischen Verständnis von Delay fest: „Massively employed in World War II, it [radar] provided important advantages over photography. Previously, military commanders had to wait until pilots returned from surveillance missions and film was developed. The inevitable delay between time of surveillance and delivery of the finished image limited photography's usefulness because by the time a photograph was produced, enemy positions could have changed. However, with radar, imaging became instantaneous and this delay was eliminated.“ Manovich, Lev (2001): *The Language of New Media*, Cambridge, MA/London, 98-99.

Datenverarbeitung im Dowding System im Sinne einer historischen Praxeologie sichtbar gemacht werden kann. Es handelte sich bei dieser nicht um phänomenologisch unsichtbare, nämlich algorithmische Prozesse in vernetzten Digitalcomputern, sondern um menschliche Praxis (vgl. emblematisch Abb. 35 u. 36).

Das weibliche Personal der WAAF war entscheidend für die Her- und Darstellung der Luftlagebilder. Sie führten die essenziellen Praktiken der Datengenerierung, -filterung, -visualisierung, -prozessierung und -weiterleitung durch. Sie praktizierten als menschliche Akteure die Arbeit, die später – wie im Falle des US-amerikanischen SAGE – vollständig an Digitalcomputer ausgelagert, mithin automatisiert und rationalisiert wurde. Was Mar Hicks für *female labour* am Fallbeispiel der britischen History of Computing aufarbeitete,⁷⁰ zeigt sich auch hier: Die Arbeit der WAAF im Zweiten Weltkrieg kann als *invisible labour* bezeichnet werden. Sie erfuhr in der Nachkriegszeit keine systematische Aufarbeitung oder Dokumentation und dadurch gerieten die beteiligten weiblichen Akteure als menschliche proto-Computer in Vergessenheit.⁷¹ Es verhielt sich sogar so, dass die Protagonistinnen der WAAF nach Kriegsende den „Official Secrets Act“ unterzeichnen mussten. Das bedeutete, dass es ihnen 30 Jahre lang verboten war, über ihre dienstlichen Tätigkeiten während des Krieges zu berichten.⁷²

Die Verarbeitung großer Datenmengen ist bekanntlich kein Novum des Digitalcomputers. Techniken und Praktiken von Big Data „have histories, and (...) those histories stretch back well before the advent of electronic computing“.⁷³ Die klassischen historischen Beispiele hierfür wären Datenverarbeitungen im Kontext von Volks- oder nationalen Wahlauszählungen. Teils erfolgten diese bereits semi-automatisiert durch analog-mechanische Tabellier- bzw. Lochkartenmaschinen wie die s.g. Hollerith-Maschinen. Auch dass die Verarbeitung großer Datenmengen eng verzahnt mit händischen Praktiken war, d.h. gekoppelt an menschliche Leistungen des Zählens und des buchstäblichen Übertragens materieller Datenträger, hat Christine von Oertzen – für das Fallbeispiel des preußischen Zensus – aufgearbeitet.⁷⁴ Die Verarbeitung großer Datenmengen *in Echtzeit* ist dahingegen ein Si-

70 Hicks, Mar (2017): *Programmed Inequality. How Britain Discarded Women Technologists and Lost Its Edge in Computing*, Cambridge, MA/London.

71 Hierzu grundlegend – mit Referenz zum ENIAC – Light, Jennifer S. (1999): „When Computers Were Women“, in: *Technology and Culture* 40(3), 455-483.

72 Vgl. Younghusband (2013): *One Woman's War*, 267.

73 Aronova, Elena/von Oertzen, Christine/Sepkoski, David (2017): „Introduction: Historicizing Big Data“, in: *Osiris* 32, 1-17, 2.

74 von Oertzen, Christine (2017): „Die Historizität der Verdattung. Konzepte, Werkzeuge und Praktiken im 19. Jahrhundert“, in: *NTM Zeitschrift für Geschichte der Wissenschaften, Technik und Medizin* 25, 407-434.

gnum postmoderner Datenprozessierung. Hier scheidet sich die Verhandlung großer Datenmengen von analogen Formen der Prozessierung durch ihre Geschwindigkeit. Bei Volkszählungen oder Wahlen war es nicht zeitkritisch, wann ein Ergebnis vorlag – wenige Minuten, Stunden oder gar Tage schlugen nicht ins Gewicht. Der Shift zur zeitkritischen Verarbeitung von Big Data lässt sich historisch klar verorten: Es war im Dowding System, dass eine erste echtzeitliche Prozessierung großer Datenmengen praktiziert wurde. So hält auch David Zimmerman fest:

„Dowding’s air defence system was the first weapons system of the age of information. (...) With very little assistance from mechanical computers, the air defence system pushed the very limits of human ability to analyse and disseminate information to deal with a rapidly approaching air threat.“⁷⁵

Ähnlich wurde bereits im historischen Kontext dem Dowding System von US-amerikanischer Seite Folgendes bescheinigt:

„A fact that has been too little recognized when radar systems are discussed is that the organization which is to make use of the positional information afforded by radar is usually at least as important as is the radar itself. A good organization can make excellent use even of inferior radar information, as was proved by the success of the British Home Chain of radar stations, the first large-scale radar installation to be made.“⁷⁶

Demgegenüber fokussieren die überaus zahlreichen Geschichten von Radar zu meist auf militärische, politische oder rein technische Aspekte des Mediums, was insbesondere für technikhistorische Arbeiten gilt. So kritisiert Birgitta Godt, dass Bedienende selten vorkämen, was dem Mediensystem nicht gerecht werde. Vernachlässigt werde, dass sich die Funktionalität des Mediums nicht durch seine reine Technizität auszeichnete oder sich in dieser erschöpfte. Denn sowohl „bei der Entwicklung der Luftraumüberwachung mit Hilfe der Radargeräte als auch beim Einsatz wird deutlich, wie wichtig ein gutes Ineinandergreifen der verschiedenen Informationsempfänger – seien es Geräte oder Personen –, danach der Informationsweitergabe und schließlich der Informationsverarbeitung war.“⁷⁷ Das Dowding System als praktizierte Daten-Infrastruktur war für Radar essenziell – was nach

75 Zimmerman (2004): „Information and the Air Defence Revolution“, 391-392.

76 Ridenour, Louis N. (1947): „Radar Systems“, in: ders. (Hrsg): *Radar System Engineering*, 12-13.

77 Godt, Birgitta (2003): *Aspekte der Radarentwicklung und -anwendung im Zweiten Weltkrieg*, Konstanz, 8.

einer medienpraxeologischen Neuperspektivierung des frühen Radars geradezu verlangt. Einerseits war Radarpraxis in England maßgeblich für eine erfolgreiche Frühwarnung vor anfliegenden Bombern. Andererseits erlaubte das technische Gerät erst durch eine professionalisierte Nutzung eine Datenproduktion. In Anlehnung an Markus Krajewski ließe sich aussagen, dass das Medium Radar zunächst nicht menschlichen Akteuren diene, sondern nach einer qualifizierten Bedienung verlange.⁷⁸ Diese wiederum musste erlernt werden und die Besonderheiten des neuen Mediums berücksichtigen. Damit kam menschlichen Akteuren im Dowding System – *radar operators* –, aber ebenso den der konkreten Radardatenproduktion nachgelagerten Personen – *teller, filterer, filterer officers* usw. – eine mitunter buchstäblich entscheidende Bedeutung zu. Sie fungierten teils als menschliche Relais, nämlich als mündliche Weiterleiter:innen numerischer Daten.⁷⁹ Ebenso übernahmen Filterer entscheidungsträchtige Aufgaben, bspw. die Interpretationsleistung, ob etwaig ungenaue oder gar fehlerhafte Radardaten auf tatsächliche Flugzeugformationen verwiesen oder nicht. Dass menschliche Akteure eine essenzielle Bedingung für die Produktion veritabler Radardaten darstellten, wird demgemäß in Quellen intensiv betont bzw. wurde die Funktionalität des Mediums gar deziert an menschliche Bedienung gekoppelt:

„The amount of reliable data that can be obtained from any radar is dependent to a great extent on the proficiency of the operator. (...) Without an operator, a radar set is merely a large box of radio tubes. With a well-trained, alert, interested operator a radar set can become the most important equipment for determining information.“⁸⁰

78 Krajewski, Markus (2014): „Bedienen“, in Heiko Christians/Matthias Bickenbach/Nikolaus Wegmann (Hrsg.), *Historisches Wörterbuch des Mediengebrauchs*, Köln, 90-104.

79 „Prior to the advent of [automatic] radar relay such transmission was done by voice or not at all“, hieß es von Seiten des Rad Lab. Haworth, L. J./Tape, G. F. (1947): „The Uses of Radar Relay“, in: Ridenour (Hrsg.), *Radar System Engineering*, 680-681, 680.

80 Orman, Leonard M. (1947): „Training of Radar Operators“, in: *Coast Artillery Journal* 80(2), 22-27, 22 & 27. Sicher ist das Ungleichgewicht in bisherigen historischen Analysen von Radar, die seine Technizität überbetonen und Aspekte menschlicher Praxis im Kontext integrierter Feedbacksysteme vernachlässigen, einem Überlieferungsproblem geschuldet. Zum anderen tritt hier eine Spezifität von Archiven *ex negativo* zutage: Einzug in Archive konnte nur erfahren, was im historischen Kontext relevant erschien, dokumentiert zu werden – und dies war nicht die praktische Ausgestaltung der infrastrukturell-systematischen Kanalisierung von Daten für die Her- und Darstellung von Luftflagebildern. Vgl. hierzu auch Ernst, Wolfgang (2009): „Das Archiv als Gedächtnisort“, in: Knut Ebeling/Stephan Günzel (Hrsg.), *Archivologie. Theorien des Archivs in Philosophie, Medien und Künsten*, Berlin, 177-200. Zur Problematik (k)eines Archivs von Medienpraktiken vgl. Abend, Pablo (2013): „Schluss: Ergebnisse der Analyse und das Archiv der Medienpraktiken“, in: ders.: *Geobrowsing. Google Earth und Co. – Nutzungspraktiken einer digitalen Erde*, Bielefeld, 369-388.

Essenziell für eine fundierte historische Betrachtung von Radar sind mithin Aspekte der Radarpraxis und der Radar-Infrastruktur. Vor dem Hintergrund dieser für das Delaymedium Radar konstitutiven Infrastruktur-Dimension scheint es überhaupt sinnvoll, eine perspektivische Verschiebung der Analyse von ‚Medien‘ hin zu ‚Infrastrukturen‘ und ihren ‚Datenpraktiken‘ vorzunehmen. Damit käme eine ‚infrastrukturelle Kehre‘ zum Tragen, wie sie Friedrich Kittler ausgerechnet für dasselbe Medium beschrieb: „Infrastruktur ist ein Wort, das ich immer öfter verwende, um Medien zu umschreiben. Bei Medien fragt man immer: Ist dies oder das noch ein Medium? Ist das Radarsystem noch ein Medium? (...) Deshalb sage ich lieber Infrastruktur. Der Begriff schließt Dinge ein, die einen historischen Raum besser definieren als vieles andere.“⁸¹

System Design und Operations Research

„The presentation of echo signals on an indicator by no means completes the problem of designing an operationally useful radar system. It is necessary that action of some sort be taken on the basis of the information afforded by the radar. To enable this action to be taken promptly, intelligently, and correctly, an organization must be created. This organization begins with the radar indication and extends to the execution of commands that arise from the situation as displayed by the radar“⁸²

– so hieß es über die Nutzbarmachung von Radardaten und die Bedeutung organisationaler Radarkooperationen von Seiten des MIT Radiation Laboratory im Jahr 1947. Dabei wurde hinsichtlich des Aufbaus einer solchen im Zitat genannten „organization“ von Radar die Frage nach einem adäquaten „system design“⁸³ historisch früh explizit. Es galt, für die systemische Auswertung von räumlich verteilten erhobenen Radardaten ein zweckdienliches System zu gestalten. Kritisch wurde dabei ebenso die Frage nach Geräten, Medien und Methoden, „which have been worked out to translate into commands the decisions taken on the basis of radar

81 Barberi, Alessandro (2000): „Weil das Sein eine Geschichte hat: Ein Gespräch mit Friedrich A. Kittler“, in: *Österreichische Zeitschrift für Geschichtswissenschaften* 11(4), 109-123, 115.

82 Ridenour (1947): „The Signal and Its Use“, 213.

83 Ebd., 214. Es ließe sich dem entgegen, dass in der Telegraphie-, vor allem aber in der Telefontechnik bereits früher auf ein elektrotechnisches Systems Design umgeschaltet worden war, das von einem Denken in einzelnen Verbindungen zugunsten von Netzwerken absah. Im Unterschied zu diesen war die Infrastruktur des Dowding Systems allerdings ein Netzwerk der Übertragung und Prozessierung und damit komplexer, was die Frage nach dem System Design verschärfte.

information.“⁸⁴ Ganz in diesem Sinne nahm Watson-Watt nachdrücklich Bezug auf die notwendig systemische Mensch-Maschine-Kooperation, die für Radar essenziell war und nahm eine Egalisierung der Leistung von Mensch und Maschine vor: „The utility of R.D.F. data (...) depends no less on the quality and performance of the observer than on the quality and performance of the equipment.“⁸⁵ Versteht man das Dowding System dem Practice Turn in den Geisteswissenschaften⁸⁶ sowie später in der Technikgeschichte⁸⁷ und der Medienwissenschaft⁸⁸ folgend als praktizierte Infrastruktur, war es die fortwährende menschliche Praxis, die die Infrastruktur *in actu* und *in situ* stabilisierte – allerdings erst, nachdem ihr Design grundlegend formalisiert wurde.

Das Dowding System kann als moderne und infrastrukturelle Form von *Scientific Management* in der zweiten Hälfte der 1930er Jahre gelten. Oder wie es Dowding selbst im November 1940 formulierte, werde der Weltkrieg nur gewonnen, würde „science thoughtfully applied to operational requirements.“⁸⁹ Ebenso hielten Derek Wood und Derek Dempster in ihrem kanonischen Buch über das *Battle of Britain* fest, dass Dowding bereits 1936 realisierte, „that the country could never be defended against air attack unless the fighter forces could operate as part of an intricate but reliable system.“⁹⁰ Dieses ‚system‘ war aber keine Gegebenheit; es war nicht schlicht ‚da‘, sondern musste zunächst formalisiert und fortwährend analysiert, evaluiert und kontinuierlich auf die Anforderungen der Praxis hin angepasst werden. Immerhin handelte es sich sowohl beim Dowding System als auch beim Radar um ein Novum, das keineswegs perfektioniert war. Als programmatisch kann dies die Praxis der ‚drittbesten Lösung‘ illustrieren, die Watson-Watt dem Team von Konstrukteuren der Radarkette Chain Home bescheinigte: „They never turned aside from their cult of the third best – ,the best never co-

84 Ebd.

85 Ebd.

86 Schatzki, Theodore R./Knorr-Cetina, Karin/von Savigny, Eike (2001) (Hrsg.), *The Practice Turn in Contemporary Theory*, London.

87 Heßler, Martina/Liggieri, Kevin (2020) (Hrsg.), *Technikanthropologie. Handbuch für Wissenschaft und Studium*, Baden-Baden.

88 Schüttpelz, Erhard et al. (2021) (Hrsg.), *Connect and Divide. The Practice Turn in Media Studies*, Zürich.

89 Zit. n. Wood, Derek/Dempster, Derek (1961): *The Narrow Margin. The Battle of Britain and the Rise of Air Power 1930-1940*, London, 170. Die Autoren ergänzten: „Such ideas are now [1961] commonplace but in 1940 they represented an astounding co-ordination of design and organization which was without parallel in the world“, ebd.

90 Ebd.

mes, the second best comes too late‘.“⁹¹ Das zeigt sich auch daran, dass sich keine der Chain Home-Radarstationen zum Ausbruch der Kriege im finalen Status ihrer Installation befand, da es als wichtiger erachtet wurde, eine größtmögliche Radarabdeckung zu erzielen, statt über technisch elaborierte, dafür aber spärliche Stationen zu verfügen.⁹²

Blieb die Bedeutung menschlicher Akteure für das Gelingen von Radar in der bisherigen Forschung zur Frühphase des Mediums weitgehend unterreflektiert, so nahm das notwendige System Design eine ebenso nachgeordnete Stellung ein. Allerdings war es neben der Notwendigkeit menschlicher Interaktion mit der Medientechnik ebenso die Konzeption spezifischer Radarmethoden, die entscheidend für den nachhaltigen Erfolg des Mediums war. So hält David Zimmerman fest:

„The importance of technique, rather than hardware, is often lost in histories of the development of radar. Radar is, however, simply a tool that provides information which is useful only if procedures are developed to allow for a successful interception of an approaching aircraft.“⁹³

Die medienwissenschaftliche Brisanz von Radar erschöpft sich nicht an den materiellen Grenzen des Mediums; sie beginnt dort mitunter erst. Bezeichnend ist, dass eines der ersten britischen Dokumente zur Implementierung von Radar nicht das eigentliche Medium diskutierte: Einer der Initiatoren des britischen Committee for the Scientific Survey of Air Defence – das nach dem Namen ihres Vorsitzenden als Tizard Committee bekannt werden sollte –, Harry Egerton Wimperis, behandelte in seinem ersten praktischen Radarvorschlag vielmehr, wie die mit Radar generierten Daten *Verwendung* finden könnten.⁹⁴ Ebenso wurde die erste britische Radarkonferenz im Oktober 1935 nicht mit Diskussionen um das Design von Radar selbst, sondern um das Design seiner infrastrukturellen Datenpraxis eröffnet. Dort wurde problematisiert, *welche* Radarinformationen in Operations Rooms benötigt würden und *wie* und in *welcher Form* diese dorthin übertragen werden könnten. Diese logistischen Fragen wurden nicht allein von Militärs evaluiert, sondern mit Wissenschaftler:innen besprochen. In diesem Kontext des System Designs von Chain Home war es, dass sich das Operational bzw. Operations Research (OR) im Jahr 1937 formierte, da sich u.a. Edward Christopher Williams und Kollegen nicht

91 Watson-Watt (1945): „Radar in War and in Peace“, 322.

92 Air Ministry (1950) (Hrsg.), *Signals Vol. IV: Radar in Raid Reporting*, 79.

93 Zimmerman (2004): „Information and the Air Defence Revolution, 1917-40“, 370.

94 TNA AIR 2/163, „Note on proposed method of plotting information received from R.D.F. Stations“, 24.09.1935.

mit der Verbesserung der Radargeräte selbst beschäftigten, sondern mit der Optimierung ihrer Infrastrukturierung und Datenlogistik. Knapp 30 Jahre nach Begründung der Disziplin fasste Williams ihren Radarursprung wie folgt zusammen:

„Now [1937] we had to have a name to describe us and what we were doing. The rest of the establishment was engaged on the normal work of research and development and design of radar equipment. We were beginning to find out how best to use them. The term ‚operations‘ has a specific connotation in the Armed Services, and we were now beginning to be concerned with operations.“⁹⁵

Dass das OR im Kontext der Verbesserung der Auswertung von Radardaten entstand, stärkt die These, dass das Dowding System als Novum seinerzeit eine Infrastruktur der Datenprozessierung in Echtzeit etablierte – d.h. etwas, das zunächst konzeptualisiert werden musste. Damit war Radar nicht nur in England, aber dort zuerst, von einer dualen Entwicklung gekennzeichnet: Einerseits waren es Elektroingenieure, die sich der Verbesserung des technischen Geräts widmeten, andererseits Systemdesigner,⁹⁶ die die datenlogistische Prozessarchitektur des Radarnetzwerks und seine Kooperationsbedingungen konzipierten. Es waren Belange der Verwendung von Daten, mithin Aspekte der dem technischen Medium nachgelagerten informatischen Datenpraxis, die für die weitere Entwicklung des Mediums maßgeblich wurden. Datenökonomisch reformuliert wurden im OR die Optionen evaluiert, den größtmöglichen Nutzen aus begrenzten Ressourcen zu ziehen. Es galt, durch nachgelagerte Praktiken etwaig ungenaue Radar-Daten infrastrukturell derart zu optimieren, dass sie sich im militärischen Feld als nutzbringend erweisen konnten. Alles Wissen mag lokal sein⁹⁷ und die singulären Radarstationen von Chain Home orteten Flugzeuge zumindest hinreichend exakt. Es war aber gerade die Problematik des Lokalen, an dem sich das Dowding System bemaß: Prämisse war es, die örtliche Situierung von Daten zu überwinden und ein landesweites Netzwerk der echtzeitlichen Prozessierung zu formalisieren, in dem ebenso Daten landesweit zirkulieren konnten.

95 Williams, Edward Christopher (1968): „The Origin of the Term ‚Operational Research‘ and the Early Development of the Military Work“, in: *Operational Research Quarterly* 19(2), 111-113, 112.

96 Das generische Maskulinum muss verwendet werden, da es Frauen systematisch verwehrt war, zum System Design beizutragen. Als Teil der WAAF waren sie essenzieller Teil des Dowding Systems – nur die Prozessarchitektur mitkonzipieren durften sie nicht.

97 Bowker, Geoffrey C. (2010): „All Knowledge is Local“, in: *Learning Communities: Journal of Learning in Social Contexts* 6(2), 138-149.

Demgemäß hatte sich das zu implementierende britische Radarnetzwerk konsequent in Praxistests zu erproben. Bereits im August 1936 begannen die „Biggin Hill Experimente“.⁹⁸ Diese sollten die künftige Funktionalität und Ausgestaltung der Luftverteidigung auf Radarbasis klären, insofern optimale Prozeduren im Praxistest evaluiert wurden – wohlgermerkt bei simulierten Radarortungen, denn betriebsbereite Radargeräte waren zu diesem Zeitpunkt noch nicht verfügbar. Auch wenn dies in der Retrospektive wenig erstaunen mag, war eine im historischen Kontext epistemologisch nachhaltige Essenz der Praxistests, dass die Qualität der britischen Luftverteidigung eine Konsequenz ihrer zugrundeliegenden Datenpraxis war: Als kritisch für die Infrastruktur erwies sich einerseits die Präzision der vorhandenen Daten über Objekte des Luftraums; andererseits die Schnelligkeit ihrer Verarbeitung und Weiterleitung.

Bereits diese schließlich über zwei Jahre durchgeführten Experimente können als frühe Form des OR angesehen werden, da nicht ein starres, in der Theorie entstandenes Systemkonzept in der Praxis Implementierung erfuhr. Genau umgekehrt kristallisierte sich sukzessive aus der wissenschaftlichen Analyse des simulierten Ernstfalls ein fortwährend optimiertes Systemdesign, welches in der Simulation entdeckte Praxisprobleme bereits prospektiv in der Prozessarchitektur bedachte. In diesem Kontext verfasste Edmund Dixon an der Bawdsey Research Station im April 1938 seine „Suggested Tactical Analysis of Large Scale Air Defence Operations in Relation to RDF“. Diese kann als ein offizielles Gründungsdokument der OR angesehen werden, da – Zitat Dixon – eine „detailed theoretical analysis“⁹⁹ als essenziell für die Praktikabilität der systemisch-echtzeitlich operierenden Luftverteidigung angesehen wurde.

Zur Immaterialität von Radarnetzwerken gehörte im historischen Kontext bspw. die Formatierung, wie Radarplots telefonisch weitergeleitet werden sollten, um sie in Figuren und Plättchen auf zentralen Kartentischen zu übersetzen. Eine materielle Dimension des System Designs stellte eben dieses Plotten dar. Im Folgenden mag dieses als kursorisches Fallbeispiel dienen, die Notwendigkeit und Praxis von System Design an der materiellen Ausgestaltung eines vermeintlich banalen Nebenschauplatzes zu illustrieren.

Bereits im September 1935 begann man sich auf britischer Seite Gedanken über die materielle Formatierung des Plottens zu machen. Einerseits wurden die

98 Vgl. Osborne, Peter (2015): *RAF Biggin Hill. The Other Side of the Bump*, Bromley, 224-243.

99 Zit. n. Zimmerman (2004): „Information and the Air Defence Revolution, 1917-40“, 382. Vgl. weiterhin Kirby, M./Capey, R. (1997): „The Air Defence of Great Britain, 1920-1940: An Operational Research Perspective“, in: *The Journal of the Operational Research Society* 48(6), 555-568.

horizontalen Plotting Tables problematisiert: Als kritisch wurde das manuelle Bestücken des Tisches bei weitgehendem Freihalten für eine uneingeschränkte Draufsicht auf das sich ergebende Bild angesehen.¹⁰⁰ Gelöst wurde dies schließlich durch die zentrale Positionierung der Kartentische in mehrgeschossigen Gefechtsständen (vgl. Abb. 36), die eine architektonische Verdichtung der beteiligten Akteure erlaubte und eine Beobachtung der Luftlagebilder ‚von oben‘ funktionalisierte. Andererseits wurde diskutiert, wie die Radardaten auf diesen Kartentischen zu visualisieren waren. In einem Memorandum vom 24. November 1935 findet sich bereits der Vorschlag, die Datendarstellung auf Basis von „counters on a large horizontal map“ zu praktizieren, welche geometrisch codiert seien und mit weiteren numerischen Werten versehen werden könnten. Diese materielle Formatierung der Datendarstellung entfernter Präsenzen sollte eine ausreichende Frühwarnzeit vor einfliegenden Bombern gewährleisten, wie es hieß:

„As in our new scheme the counters will begin to take up their positions well out to sea, and appear at equal intervals of time, it would be simple for the A.O.C. [Air officer commanding] to deduce the probable landfall and the probable time of arrival. He can then instruct an interceptor squadron to patrol at that place and height (...).“¹⁰¹

Das Plotten der Positionen entfernter Schiffe wurde von der britischen Admiralität schon früher praktiziert. Deshalb wurde die etwaige Möglichkeit der Adaption der damit verbundenen Techniken evaluiert: Nach einem Besuch eines Beteiligten der Bawdsey Research Station im Admiralty Research Laboratory wurde im Oktober 1937 jedoch auf die massiven Differenzen beim Plotten von Schiffen und Flugzeugen hingewiesen. Bei der Marine gestaltete sich das Plotten derart, dass als zentrales Problem galt, die exakte Position eines Schiffes auf Basis des Schiffslogbuchs, Kompasskurses oder anderweitigen Fixpunkten zu identifizieren. Das Plotten des Kurses erfolgte dem nachgelagert schlicht in „form of a simple pencil trace.“¹⁰² Die eher langsame Geschwindigkeit von Schiffen und der Fakt, dass meist nur *ein* feindliches Schiff geplottet wurde, erlaubte den Gebrauch sehr schlichter Plottingverfahren. Über die Anwendbarkeit von Plottingtechniken der Admiralität zu Zwe-

100 TNA AIR 2/1638. Ebenso wurde die „General Co-Ordination of Air Defence“ diskutiert und als Glieder der Ko-Operationskette „Observation, Reporting (or Telling), Plotting, Operations Control, Fighting Instructions“ identifiziert. Der Aufbau der Infrastruktur wurde hierbei als „communications problem of the greatest difficulty“ bezeichnet, TNA AVIA 10/47.

101 TNA AIR 2/1638. „Note on proposed method of plotting information received from R.D.F. Stations“, 24. November 1935.

102 TNA AIR 2/1638, H. S. Young: „Plotting of R.D.F. Observations“, 7. Oktober 1937.

cken der Luftaufklärung hieß es daher resümierend, „it may be said that the Naval problem ends where our begins.“¹⁰³

Eine Darstellung und Beschreibung, wie sich das Plotten bei der britischen Admiralität ausgestaltete und wie es noch in den 1930er Jahren praktiziert wurde, findet sich in Henry W. Ruoffs *Book of the War* von 1918, das eine Chronologie der militärischen Auseinandersetzungen des Ersten Weltkriegs lieferte. Grundlegend zeichnete Ruoff darin das Bild eines per se elektronisch vernetzten Krieges, bei dem Ereignisse zugleich in Daten übersetzt wurden, damit sich ein dupliziertes, symbolisches Bild des Konflikts an einem zweiten, potenziell beliebigen Ort ergab.¹⁰⁴ Allerdings wird in der Quelle explizit, dass die Position entfernter Schiffe lediglich stündlich per Funk nach London gesendet wurde. Die Geschwindigkeit von Flugzeugen machte hingegen ein möglichst kontinuierliches Plotten erforderlich. Dieses konnte zwar im historischen Kontext noch nicht geleistet werden, aber erfolgte immerhin mit sechs Plots pro Minute – d.h. etwa 360 Mal häufiger als noch im Ersten Weltkrieg.

Notwendig wurden zwei Dinge. Das Plotten im Dowding System erfolgte einerseits farbcodiert, sodass die figürlichen Plots auf den Kartentischen einen Zeitindex trugen. Die Farbe der verwendeten Figuren hatte alle fünf Minuten zu wechseln und sämtliche Plots, die älter als 15 Minuten waren, wurden von den Kartentischen entfernt. Zweitens genügte eine symbolische Anzeige der Position einer Flugzeugformation nicht aus und es galt, diese um Flughöhe und die geschätzte Anzahl der per Radar georteten Flugzeuge zu ergänzen.

Da die Zentralisierung von Daten ausgehend von diversen Radarstationen erfolgte, galt es zudem, die einzelnen datengenerierenden und -empfangenden stationären Knoten der Infrastruktur mit Telefonkabeln zu vernetzen und damit zu fixieren. Realisiert wurde ein in den Georaum integriertes Netzwerk, mithin ein „communications net based on buried telephone lines to tie Chain Home together,

103 Ebd.

104 Die Vision der Übersetzung eines Geschehens im verteilten militärischen Georaum in repräsentative Daten eines prototypischen, zentralen Gefechtsstands und damit in ein Kartenwissen findet sich bereits vor Ausbruch des Ersten Weltkriegs. Im Jahr 1909 visionierte Generalfeldmarschall Graf Alfred von Schlieffen das logistische Erscheinungsbild des technisch-medialen Krieges derart, dass es zu einer doppelten Bildlichkeit käme. In seiner romantischen Verklärung des modernen Feldherrn gab es das Bild des militärischen Konflikts zweifach: Am geographischen Ort als dreidimensionales Geschehen im Realen sowie, möglichst in Echtzeit, in seiner repräsentierten Form in sicherer Distanz in einem separierten Kontrollraum, von welchem aus die Befehlsgewalt erfolgte, vgl. von Schlieffen, Alfred (1913): „Der Krieg in der Gegenwart“, in: ders.: *Gesammelte Schriften Band 1*, Berlin, 11-22, insb. 15-16.

and most of the ‚moving parts‘ (...) were human beings“¹⁰⁵ sowie die Plots und Tracks der Luftlagebilder. Waren Radarstationen, Telefonleitungen und Operations Rooms fest im Raum verankert, waren die Daten der Luftlage durch ihre Mobilität gekennzeichnet.

Insgesamt erwiesen sich die „operational limitations“¹⁰⁶ der Dateninfrastruktur in der Praxis des Zweiten Weltkriegs als mitunter massiv. Unter Bedingungen eines mäßigen Aufkommens von Flugzeugen konnten Plots mit einer Genauigkeit von 70% gefiltert werden. Ein hohes Flugzeugaufkommen überstieg hingegen die Grenze der Prozessierungskapazität der menschlichen Akteure und es war gängige Praxis, in Gebieten eines massiven Einflugs die Meldungen – d.h. die Datenzentralisierung – einzustellen. Außerdem war das Dowding System zwar eine erste Infrastruktur der Datenprozessierung in annähernder Echtzeit, allerdings eben nur *annähernd*. Deshalb korrespondierten die auf Kartentischen visualisierten Luftlagen nie mit der tatsächlichen Luftlage, sondern mit einer zwischen einer und fünf Minuten *vergangenen*. Daher wurde für künftige Radarsysteme bereits im historischen Kontext zusehends von der Implementierung menschlicher Software abgesehen. Das zeigt sich an der tendenziell mobilen infrastrukturellen Installation des US-amerikanischen Radars in Europa im Zweiten Weltkrieg, dessen Operations Rooms als wegweisend für das Setting der Kontrollräume des späteren SAGE gelten dürfen.¹⁰⁷

Die zahlreichen Mensch-Maschine-Kooperationen des Dowding Systems, die enge Kopplungen und eine möglichst kontinuierliche Kommunikation unter den beteiligten Akteuren ausprägten, wurden nicht allein technisch formatiert. Sie wurden durch OR wissenschaftlich analysiert. Deshalb erstaunt es nicht, dass die Methoden zur Analyse und Formalisierung der Feuerleitung und Luftverteidigung wesentlich zur Begründung der Kybernetik beitragen sollten. Diese untersuchte die Performanz der Regelungstechnik und Nachrichtenübertragung als solche – gleich, ob von Menschen oder Maschinen ausgeführt – und hinterfragte damit die Grenzen zwischen Hard-, Soft- und Wetware vollständig.¹⁰⁸ Friedrich-Wilhelm Hagemeyer verweist darauf, *dass* und *wie* Radarforschung das Systemdenken ihrer beteiligten Akteure beeinflusste. Das ließe sich auch daran sehen, dass das Zen-

105 Boslough, David L. (1999): *When Computers Went to Sea. The Digitization of the United States Navy*, Los Alamitos et al., 18.

106 Bowden (1947): „Radar in the RAF Fighter Command“, 228.

107 Vgl. Zimmerman, C. L. (1947): „The U.S. Tactical Air Commands“, in: Ridenour (Hrsg.), *Radar Systems Engineering*, 229-238, 234.

108 Vgl. zu diesem Motiv bereits titelgebend das kybernetische Grundlagenwerk Wiener, Norbert (1948): *Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine*, Cambridge, MA.

trum für Kybernetik und Informationstheorie in den USA der 1950er Jahre – das Research Laboratory of Electronics (RLE) am MIT – 1946 aus der Division of Basic Research des Ende 1945 geschlossenen MIT Radiation Laboratory (Rad Lab) gebildet wurde.¹⁰⁹ Da das Rad Lab theoretische wie praktische Radarforschung institutionalisierte, steht es programmatisch für eine wissenschaftliche Umgebung, in welcher sich Strukturen für die Lösung nachrichtentechnischer Probleme ausbilden konnten. Jene Strukturen wurden im RLE angewandt, nicht mehr radarspezifische, sondern allgemeine elektronische Probleme zu lösen. Im Gegensatz zu kapitalistischen Industrieforschungslaboren – für welche neben der Technikinnovation vornehmlich die Patentproduktion im Fokus steht, um Forschung zu kapitalisieren¹¹⁰ – sind Labore wie das RLE Orte, an welchen Theorieproduktion strukturell erleichtert wurde. Norbert Wiener, Claude Shannon, Dennis Gabor, Colin Cherry, Jerome Wiesner oder Peter Elias gehörten zu den Personen, die für eine gewisse Zeit am RLE beschäftigt waren.¹¹¹

System Design blieb nicht auf Prozessarchitekturen im infrastrukturellen Maßstab beschränkt. Ebenso entfaltete es Wirkmächtigkeit auf der Ebene der technischen Geräte selbst. Radar als Technologie markierte einen Paradigmenwechsel in der Konstruktion technischer Medien, die fortwährend komplexere Prozessarchitekturen wurden – bestehend aus diversen Modulen und Sub-Architekturen –, die nunmehr durch eine Systemorientierung gekennzeichnet waren. So hieß es bspw. 1945 seitens der Bell Labs programmatisch in Bezug auf die einzelnen Komponenten und Schaltungselemente von Radar, diese seien „designed to meet its functional part of the system’s operation. The interconnection is engineered so that the integration of the operations of the individual elements produces the desired system performance.“¹¹² Dieses integrative Design der gesamten Systemperformanz statt einer Priorisierung einzelner Bauteile tangierte wesentlich die Anfänge elektronischer Automatisierung. Denn es war Intention, menschliche Feedbackakteure in integrierten Radarsystemen – den „human servomechanism“¹¹³ – maschinell zu ersetzen. Demgemäß verortet David Mindell die Wurzeln

109 Hagemeyer, Friedrich-Wilhelm (1979): *Die Entstehung von Informationskonzepten in der Nachrichtentechnik. Eine Fallstudie zur Theoriebildung in der Technik in Industrie- und Kriegsforschung*, Dissertation, Berlin, 214.

110 Vgl. Taha, Nadine (2012): „Patent in Action. Das US-amerikanische Patent aus der Perspektive der Science and Technology Studies“, in: *Zeitschrift für Medienwissenschaft* 4(1), 36-47.

111 Hagemeyer (1979): *Die Entstehung von Informationskonzepten*, 214.

112 Kelly (1945): „Radar and Bell Laboratories“, 246.

113 Mindell, David A. (2000): „Automation’s Finest Hour: Radar and System Integration in World War II“, in: Agatha C. Hughes/Thomas P. Hughes (Hrsg.), *Systems, Experts, and*

eines „Systems Approach“ und „Automation’s Finest Hour“ in den Praxisgemeinschaften von Ingenieuren und Wissenschaftlern, die sich während des Zweiten Weltkriegs mit Feuerleitproblemen und -anlagen beschäftigten.¹¹⁴ In einer Fallstudie, die beim US-amerikanischen Radartechniker Ivan Getting ansetzt, rekonstruiert er den Beginn, Feuerleitanlagen statt als Assemblagen vermeintlich separater Glieder – Radar, Menschen, FLAK, analoge Rechenmaschinen – konzeptuell als integrierte Systeme zu betrachten. Die beteiligten Akteure, schreibt Mindell, „learned to engineer the entire system’s behavior from the beginning, rather than just connecting individual, separately-designed components.“¹¹⁵ Neben der thematischen, personalen und institutionellen Spezifität der Fallstudie ist Mindells Argument entscheidend: Ein ganzheitliches Verständnis von Systemen emergierte zunächst in einem ingenieurwissenschaftlichen Spezialbereich – der Beschuss per Radar georteter Flugzeuge –, in welchem die Performanz von Systemen wissenschaftlich reflektiert wurde; später wurde dieses Verständnis zum allgemein akzeptierten systemtheoretischen Paradigma auch anderer Disziplinen. Demgemäß kann das Systemdenken des Radars als implizite Computer Science verstanden werden. Diese beschäftigt sich im Unterschied zum Computer Engineering mit der nicht-materiellen, d.h. der logischen, informatischen Seite des Computings.¹¹⁶ Die Emergenz des System Designs aus der Praxistheorie des Radars kann als nachhaltiger Effekt der medientechnischen Operationalisierung des Delays von Radiowellen gelten. Nunmehr wurden nicht mehr einzelne Komponenten priorisiert – „seien diese Artefakte, Personen und Zeichen, oder technische Objekte, Praktiken und Wissensformen“¹¹⁷ –, sondern prospektiv sämtliche Bestandteile eines Systems in eine ganzheitliche Struktur integriert.

Computers: The Systems Approach in Management and Engineering, World War II and After, Cambridge, MA., 27-56, 30.

- 114 Ebd. Mechanische Analogcomputer für die Automatisierung der Feuerleitung sind kein Novum des Radars. Aufgrund der durch Radar ermöglichten Maximierung der Ferndetektion verschärfte es jedoch die Praxis der Feuerleitung. Für eine Übersicht mechanischer Analogcomputer im Kontext von „fire control“, d.h. der Feuerleitung zur u.a. Zielberechnung siehe Clymer, A. Ben (1993): „The Mechanical Analog Computers of Hannibal Ford and William Newell“, in: *IEEE Annals of the History of Computing* 15(2), 19-34; hierzu ebenso die Quelle Boyce, Joseph C. (1947) (Hrsg.), *New Weapons for Air Warfare. Fire-Control Equipment, Proximity Fuzes, and Guided Missiles*, Boston.
- 115 Mindell, David D. (1996): „*Datum for its Own Annihilation*“: *Feedback, Control, and Computing, 1916-1945*, Dissertation, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA, 377.
- 116 Vgl. Gorokhov, Vitaly (2006): „The Historical Development of Radar Science and Technology as the Prelude to the Modern Information Revolution“, in: *Icon* 12, 168-189.
- 117 Schüttpelz, Erhard (2006): „Die medienanthropologische Kehre der Kulturtechniken“, in: *Archiv für Mediengeschichte* 6, 87-110, 91.

Beacons: Elektronische Identifikation

Radarpraxis beschränkte sich im Zweiten Weltkrieg nicht allein auf die Detektion entfernter Präsenzen. Eine darüber hinausgehende Funktionalität des Mediums bestand in der nachgelagerten Identifikation der georteten metallenen Objekte. Da Radar grundsätzlich über den sinnlichen Wahrnehmungsbereich von Menschen hinaus operiert, hatten sich diese Identifikationen unweigerlich elektronisch und automatisiert auszugestalten. Radar verlangte nach einer interpretatorischen Signalarbeit, die der eigentlichen Radarortung nachgelagert war. Radar als Ortungsmedium evozierte mithin weitere medial verfasste Praktiken der Bewertung und Manipulation von Radiowellen.

Das binäre Prinzip von Radar, welches in den frühen Quellen als Qualität der Medientechnik herausgestellt wurde, da es Aussagen über das ‚ob‘ oder ‚ob-nicht‘ von metallischen Körpern im Raum zuließ, war Ende der 1930er Jahren aufgrund der schieren Menge an Flugzeugen problematisch geworden. Der originäre Vorteil von Radar hatte sich zu seinem inhärenten Defizit gewendet. Das grundlegende Problem von Radar war nunmehr, dass es sämtliche Objekte des luftigen Georums, die elektromagnetische Impulse zu reflektieren imstande waren, lokalisierte – ganz gleich, ob diese von Relevanz für die Nutzenden waren oder nicht. Demgemäß fasste man am Rad Lab zusammen: „Radar waves are reflected by targets of different sizes regardless of their importance to the user of a radar set.“¹¹⁸ Notwendig wurde eine Unterscheidung georteter Objekte nach ihrer Wichtigkeit, d.h. gemäß der Kriegssituation in Kategorien von ‚freundlich‘ oder ‚feindlich‘. Es wurde eine Signalarbeit virulent, um bestimmte Echos „distinguishable from other confusing ones“ zu machen, denn schließlich ist ein „echo from a friendly aircraft (...) like that from a hostile one.“¹¹⁹ Problematisch geworden war diese Ununterscheidbarkeit von Radarechos bereits mehrfach. So wurden bspw. am 6. September 1939 20 RAF-Flugzeuge in der Themsemündung von Chain Home geortet und von den menschlichen Akteuren des Dowding Systems fälschlicherweise als feindlich klassifiziert, sodass sich diese mit den eingesetzten Jagdflugzeugen der RAF gegenseitig attackierten.¹²⁰

Gelöst wurde das Problem mit s.g. Beacons, auf deutsch Radar- oder Funkbaken, die im historischen Kontext auch „responder beacons“, „racons“ oder „transponder“ genannt wurden – letzterer Begriff sollte sich später etablieren. Um deut-

118 Turner, L. A. (1947): „Radar Beacons“, in: Ridenour (Hrsg.), *Radar System Engineering*, 243-270, 243.

119 Ebd.

120 Air Ministry (1950) (Hrsg.), *Signals Vol. IV: Radar in Raid Reporting*, London, 80.

sche Bomber von RAF-Flugzeugen zu unterscheiden, mithin Ziele von Nicht-Zielen zu differenzieren, wurden erste Transponder zugunsten einer Freund-Feind-Kennung – englisch „IFF“ für *identification friend or foe* – konstruiert und in Flugzeuge der RAF integriert.¹²¹ IFF-Transponder basierten darauf, dass sie auf einen in seiner Frequenz festgelegten Radarimpuls (*trigger impulse*) nach einer bestimmten Verzögerung einen Antwortimpuls (*reply signal*) aussendeten. Dieser kam auf Radarbildschirmen zur Anzeige und erlaubte eine Identifizierung als ‚freundlich‘. Diesem Prinzip gemäß erklärt sich der Neologismus des Transponders, der sich aus den Begriffen Transmitter und Responder zusammensetzt.

Der Begriff der ‚Identifikation‘ im Kontext der frühen Radarpraxis animierte also wiederum ein binäres Prinzip, da allein eine Unterscheidung in ‚Freund‘ und ‚Feind‘ – um die historische Rhetorik aufzugreifen – vorgenommen werden konnte. Bei diesem Vorgang, der „interrogation“ genannt wurde, wurden feindliche Flugzeuge in diesem Sinne nicht aktiv identifiziert, sondern aufgrund ihrer Nicht-Identifikation als ‚feindlich‘ klassifiziert. Weitere Aussagen darüber, um welchen ‚Freund‘ es sich handelte, der geortet wurde, ließen sich nicht treffen. Beacons realisierten damit prinzipiell automatisierte Zwei-Wege-Kommunikationssysteme, ohne, dass eine menschliche Interaktion oder Intervention im Kommunikationsprozess notwendig war. Dies wurde bereits von Seiten des Rad Lab in einer Minimaldefinition von Beacons hinsichtlich des Nachrichtenaustauschs betont:

„By its very nature, the radar-beacon combination involves two send-receive links as does any two-way communication system. The two links are ordinarily connected automatically in a simple regular way and are uninfluenced by human reactions. Since the channels exist, however, they afford the basis for a communications system.“¹²²

Damit waren „radar beacons“ als Transponder halb-passiv; eigeninitiativ waren sie nicht fähig, etwas zu senden, und taten ohne externe Aufforderung überhaupt nichts, wie vom Rad Lab lakonisch kommentiert wurde: „Without external stimulation, a radar beacon does nothing of any interest whatever.“¹²³

Was den Transpondern grundlegend eingeschrieben war, ist ein Denken in elektromagnetischen Netzwerken der Lokalisierung, Identifizierung und Fernnavigation. Dienlich war dieses einer Logistik des Luftraums, nämlich der struktu-

121 Vgl. Bowden, Bertram Vivian (1985): „The Story of IFF (identification friend or foe)“, in: *IEE Proceedings* 132(6), 435-437.

122 Turner (1947): „Radar Beacons“, 244.

123 Turner, L.A./Roberts A. (1947): „The Echo and the Beacon“, in: Arthur Roberts (Hrsg.), *Radar Beacons* (MIT Radiation Laboratory Series 3), New York, 2.

rierten Generierung von Wissen um Positionen räumlich verteilter, relevanter Objekte.¹²⁴ Dabei wird in den Quellen zu Radar Beacons einerseits der Begriff der ‚identification‘ explizit; andererseits, dass es sich um eine automatisierte Kommunikation zwischen technischen Objekten, mithin ein autonomes Kommunikationssystem aus elektronischen Geräten handelte. Ist das aktuelle Internet der Dinge dadurch charakterisiert, dass räumlich verteilte Objekte untereinander autonom kommunizieren und die Positionen identifizierbarer Objekte eindeutig und automatisiert bestimmt wird, deutete sich hier eine elektromagnetische Objektidentifikation auf Basis von *machine-to-machine-communication* an. Diese antizipierte aufgrund ihrer Funktionalität des „remote control“¹²⁵ eine heutige globale logistische Dingvernetzung, da ein elektromagnetisches, d.h. zwischen den Objekten kabelloses Kommunikationsnetz aufgespannt wurde. Ganz in diesem Sinne war es der Kontext der IFF, in welchem Harry Stockman das Paper „Communication by Means of Reflected Power“ schrieb, das zumindest als *eine* Grundlage der modernen RFID (Radio Frequency Identification) gilt.¹²⁶ Stockman war im Zweiten Weltkrieg als Mitarbeiter des Physik-Departments an der Harvard University als Ausbilder für Radarpersonal der US Army tätig. Folglich war er mit den theoretischen, technischen und praktischen Fragen von Radar vertraut. An diesen Radarkontext erinnerte Stockman im genannten Aufsatz: „the reflected-power principle has already proven its value in the well-known radar application, i.e., for simple on-off modulation.“¹²⁷ Allerdings galt es ihm, über konventionelle Radarortungen hinauszugehen: „In the method presented we modulate the target with any time function“,¹²⁸ um – mit den Worten von Christoph Rosol – ein „Programm elektronischer Daseins-Identifikation“ zu realisieren, „in welcher die Natur zur SigNatur wird.“¹²⁹ Damit steht die IFF begrifflich nicht nur für eine radiofrequenzbasierte Identifikation, sondern auch genealogisch am Beginn einer Mediengeschichte, die sich – über Umwege – bis in das heute ubiquitäre RFID fort schreibt.¹³⁰

Modern an IFF-Transpondern ist weiterhin, dass diese seit ihrer ersten umfangreichen Implementierung – wie bspw. im Fall des US-amerikanischen „Mark

124 Vgl. Turner (1947): „Radar Beacons“, 250.

125 Ebd., 246.

126 Stockman, Harry (1948): „Communication by Means of Reflected Power“, in: *Proceedings of the IRE* 36(10), 1196-1204.

127 Ebd., 1204.

128 Ebd.

129 Rosol, Christoph (2007): *RFID. Vom Ursprung einer (all)gegenwärtigen Kulturtechnologie*, Berlin, Klappentext.

130 Ausführlicher zu den Ursprüngen des RFID im Radar vgl. ebd., insb. 113-132.

III IFF“ – einer Tendenz folgten, die heute mit dem Akronym „SWaP“ bezeichnet wird. Mit diesem werden drei Dimensionen von Sensoren benannt, die es fortwährend zu reduzieren gilt: Seize, Weight and Power consumption.¹³¹ Bereits im historischen Kontext wurde an der Reduzierung dieser drei Faktoren von technischem Gerät gearbeitet, wie das Rad Lab berichtete: „For airborne equipment the requirements of light weight and small size are severe. (...) [T]hese requirements are recognized, and an effort has been made to reduce the weight, size, and power consumption as far as practical.“¹³²

Sind Transponder heute durch ihre Ubiquität und Eingebundenheit in Umwelten gekennzeichnet – womit ein Umweltwerden von Medien bei gleichzeitigem Medienwerden von Umwelten zu verzeichnen ist¹³³ –, können diese Transponder nach Mark Hansen als ‚atmosphärische Medien‘¹³⁴ gelten. Sie durchdringen Umwelten immer unmerklicher und ‚unsichtbarer‘. Damit geht eine neue Akzentuierung von Handlungsmacht kleiner Dinge einher, wie Florian Sprenger betont: „[W]enn Objekte nicht nur in der Übertragung Adressen zugesprochen bekommen, sondern innerhalb von Netzwerken aus Positionen anderer Objekte lokalisiert werden, die selbst allesamt Akteure der Vermittlung geworden sind“,¹³⁵ lokalisieren und identifizieren sich nunmehr Medien gegenseitig. RFID-Tags generieren Daten um die globale Position des jeweils getaggten Dings oder Subjekts. Einen Ursprung findet diese Logik der automatisierten Identifikation technischer Objekte durch andere technische Objekte in der IFF, wo Transponder tatsächlich ‚atmosphärische‘ Elektrotechniken materialisierten, da sie in der Erdatmosphäre der Flugzeugidentifikation dienten.

131 Vgl. Jones, Kennie H./Gross, Jason (2014): „Reducing Size, Weight, and Power (SWaP) of Perception Systems in Small Autonomous Aerial Systems“, Conference Paper, Atlanta, GA, <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20140011416.pdf>, 26. 07.2018.

132 Woodward, Richard Horace (1948): „Receiver-Indicators“, in: John Alvin Pierce/A.A. McKenzie/ Richard Horace Woodward (Hrsg.), *The LORAN System* (MIT Radiation Laboratory Series 4), New York, 345-385, 363.

133 Vgl. Scholz, Sebastian (2021): „Sensing the ‚Contemporary Condition‘: The Chronopolitics of Sensor-Media“, in: *Krisis | Journal for Contemporary Philosophy* 41(1), 135-156, 143.

134 Hansen, Mark B. N. (2011): „Medien des 21. Jahrhunderts, technisches Empfinden und unsere originäre Umweltbedingung“, in: Erich Hörl (Hrsg.), *Die technologische Bedingung. Beiträge zur Beschreibung der technischen Welt*, Frankfurt a.M., 365-409, 367.

135 Sprenger, Florian (2012): *Medien des Immediaten. Elektrizität, Telegraphie, McLuhan*, Berlin, 397.

LORAN: Navigation

Die praktischen Unbestimmtheitsspielräume der Radartechnologie erlaubten zudem eine Infrastrukturierung, die sich vom Format von Chain Home oder dem späteren SAGE unterschied – und damit einen eigenständigen Typus „Radar“ begründete. Eine grundlegende Typisierung von Radar kann hierbei auf Basis eines historischen Akteurs vorgenommen werden: Bereits Watson-Watt wies zwar auf die Schwierigkeiten hin, Radar einer trennscharfen Definition zu unterziehen, differenzierte dieses dennoch in drei Klassen. Zum einen sei dies Radar „which does not require the co-operation of the object to be located“, d.h. die aktive Ortung eines Objekts auf Basis des Delays eines Radioimpulses. Als zweite Kategorie identifizierte er Radar mit „small measure of co-operation“, namentlich durch einen Transponder seitens des georteten Objekts – d.h. das zuvor geschilderte IFF-Verfahren: „The responder sends back, when interrogated by radar pulses, reply pulses on a different wave-length (...) coded with information about the ‚personal identity‘ of the craft carrying the responder“.¹³⁶ Zur dritten Klasse zählte er Techniken der Radarnavigation, die Objekte des Georaums nicht als potenzielle Reflektoren von Radarimpulsen interpretierten: „Radar navigation does not depend essentially on the return of an echo, amplified or unaltered, from the craft to be located.“¹³⁷ Solche Verfahren der Radarnavigation basierten nicht auf der Delay-Messung eines Radarimpulses, sondern auf dem relativen Delay beim bordseitigen Empfangen von synchronisiert ausgesendeten Signalen *mehrerer* Bodenstationen. Praktiziert wurde dies mit elektromagnetischen Navigationssystemen wie dem Oboe (*Observer Bombing Over Enemy*), Gee, Rebecca-Eureka oder LORAN.¹³⁸ Aufgrund der Anzahl an Nutzenden und der globalen Netzabdeckung seinerzeit, widme ich im Folgenden dem Loran, um – nach dem Radar in seiner Funktion zur Ortung und Fernidentifikation – jenen dritten Typus des Mediums kursorisch zu beleuchten.

Während des Zweiten Weltkriegs wurden unterschiedliche Systeme der Radar- bzw. Radionavigation implementiert – in den USA das Loran. Dieses basierte, wie das heutige GPS, auf dem zeitversetzten Empfang von ursprünglich an mindes-

136 Watson-Watt (1945): „Radar in War and in Peace“, 323-324.

137 Ebd., 324.

138 LORAN steht als Akronym für *Long Range Navigation* bzw. *Long Range Aid to Navigation*. Im Folgenden verwende ich die Schreibweise „Loran“. Für eine umfangreichere Darstellung von Loran, als dies hier gegeben werden kann, auch im Vergleich zu anderen Infrastrukturen der Radionavigation, siehe Rankin, William (2016): „Inhabiting the Grid: Radionavigation and Electronic Coordinates, 1920–1965“, in: ders.: *After the Map: Cartography, Navigation, and the Transformation of Territory in the Twentieth Century*, Chicago, Ill., 205-252.

tens drei örtlich bekannten Stationen synchronisiert ausgesendeten Signalen (vgl. Abb. 37 und 38). Auf Basis des relativen Delays beim Empfangen jeweils zweier Signale – welches in Abhängigkeit der eigenen relativen Geoposition zu den Sendestationen stand –, konnte die eigene Position auf dem Globus bestimmt werden. Für die Navigation mit Loran waren vier Dinge erforderlich: Ein Loran-kompatibler Radioempfänger; ein Radarbildschirm; eine Loran-Karte; und medienpraktische Expertise, wie die eigene Position auf Basis dieser drei technischen Komponenten ermittelt werden konnte.

Die eigene Geoposition wurde durch eine Kombination von Bildschirmoperation und Referenzierung auf einer Loran-Karte ermittelt. Zunächst galt es, auf einer Kathodenstrahlröhre, d.h. einem Radarbildschirm, die Signale eines Paares an Loran-Sendern als unterschiedliche Blips zu visualisieren, anschließend manuell zur Deckung zu bringen und ihre Amplituden anzugleichen. Dadurch konnte die relative Verzögerung im Empfang beider Signale auf dem Bildschirm abgelesen und eine erste s.g. Hyperbel ermittelt werden. Anschließend galt es, das Verfahren mit den ausgesendeten Impulsen eines anderen Paares an Loran-Stationen zu wiederholen. Die eigene Position korrelierte schließlich mit dem Schnittpunkt beider Hyperbeln auf einer Loran-Karte. Diese Praxis der Loran-basierten Selbstverortung nahm circa drei Minuten in Anspruch.¹³⁹

139 Einen Einblick in die technische Expertise, die notwendig war, um mit Loran zu navigieren, geben Bedienungsanleitungen aus dem historischen Kontext wie bspw. Command of the Air Council (1944) (Hrsg.), *Loran Airborne Equipment (AN/APN4). Operator's Manual of Instruction*, TNA AIR 10/4170.

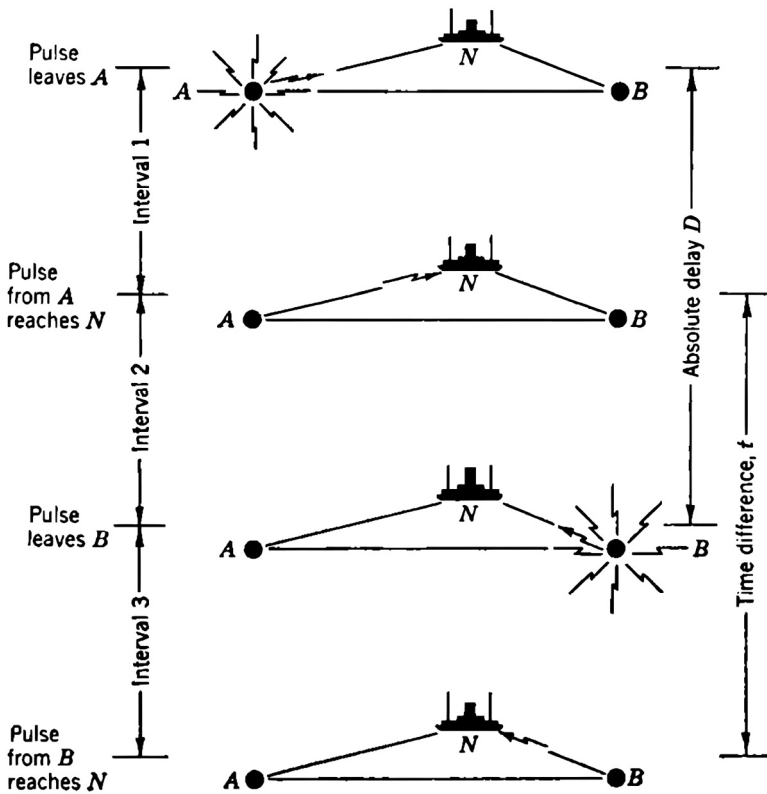


Abbildung 37: Funktionsprinzip von Loran: Station „A“ sendet einen Impuls, der nach einer gewissen Verzögerung das navigierende Ziel „N“ und eine Station „B“ erreicht, welche daraufhin wiederum einen Impuls sendet. Dieser zweite Impuls erreicht „N“ ebenso mit einem räumlich bedingten Delay. Aus dem zeitversetzten Empfang beider Impulse konnte die eigene Position mittels manueller Bildschirmoperation ermittelt und auf einer Karte auf einer Hyperbel identifiziert werden.

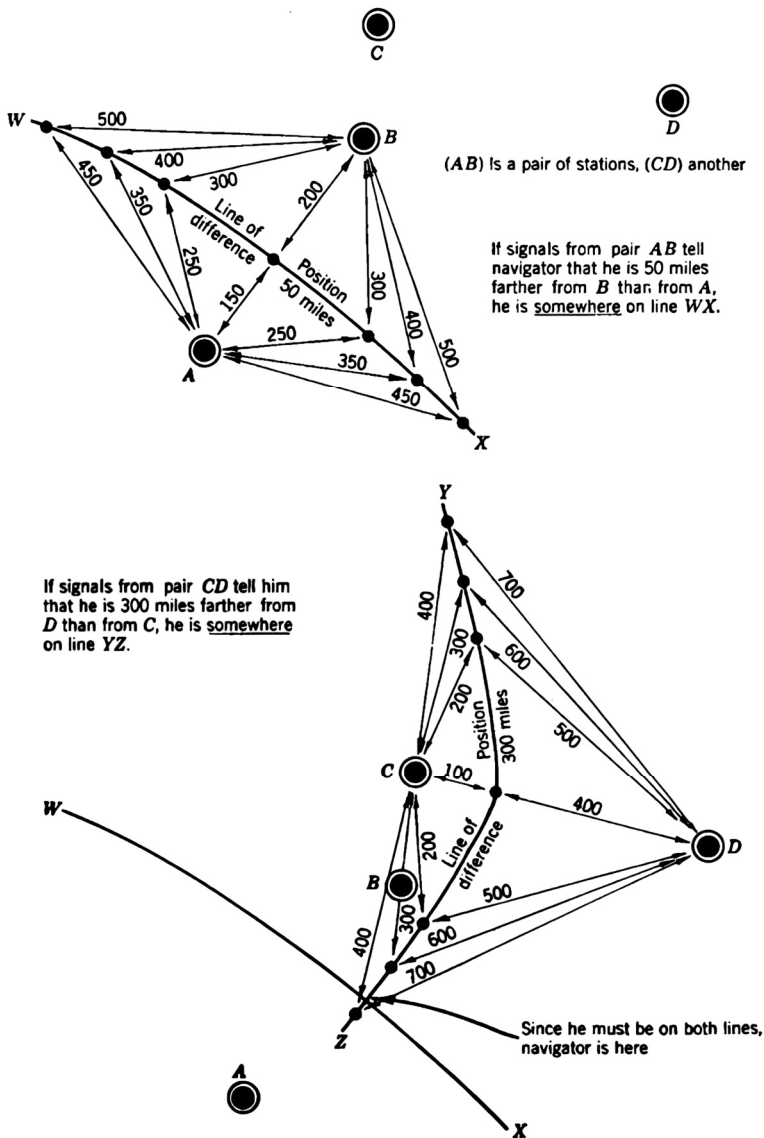


Abbildung 38: Die Medienpraktik zur Ermittlung einer Hyperbel auf einer Loran-Karte wurde anschließend mit einem zweiten Paar an Loran-Sendern wiederholt. Die eigene Geoposition korrelierte schließlich mit dem Schnittpunkt beider Hyperbeln auf der Karte.

Das Prinzip dieses Navigationssystems wurde im Oktober 1940 vom Vorsitzenden des US-amerikanischen Microwave Committee, Alfred Lee Loomis, vorgeschlagen.¹⁴⁰ Seit 1941 führte die Radiation Laboratory Navigation Group die hierfür erforderlichen Forschungsarbeiten durch. Im Juni 1942 fanden erste Tests mit zwei Sendestationen in Montauk auf Long Island und in Fenwick Island in Delaware statt.¹⁴¹ Einsatzfähig wurde Loran im Frühjahr 1943, als Karten für die ersten vier bis dato errichteten Loran-Sendestationen erstellt wurden. Waren zu diesem Zeitpunkt lediglich rund 40 Schiffe der US-Marineflotte mit Empfangsgeräten für Loran ausgestattet, waren es zum Ende des Zweiten Weltkriegs bereits sämtliche relevanten Schiffe der US-Marine und die Schiffe der britischen Royal Navy; seit Mitte des Jahres 1944 wurden Loran-Empfänger zudem in Flugzeugen integriert.¹⁴² Zu diesem Zeitpunkt war die Senderkette um europäische Stationen in Island, den Färöer Inseln, den schottischen Hebriden und Shetlandinseln sowie weitere Stationen u.a. auf Hawaii, den Phoenixinseln und im indischen Bundesstaat Assam erweitert worden.¹⁴³ Zum Ende des Zweiten Weltkriegs waren 70 Loran-Sendestationen in Betrieb, die global insgesamt 60 Millionen Quadratmeilen – d.h. insgesamt rund 30% der Erdoberfläche – mit einem elektromagnetischen Navigationsnetz überzogen. Zu diesem Zeitpunkt waren 75.000 Loran-Empfänger ausgeliefert worden und das US Hydrographic Office hatte über 2 Millionen Karten für die Navigation mit Loran-Hyperbeln distribuiert.¹⁴⁴

Im Gegensatz zum damaligen deutschen Radionavigationsverfahren „Sonne“, später „Consol“ genannt – das auf Kreuzpeilung basierte und raumkritisch angelegt war –, operierte Loran, ebenso wie das britische Gee, explizit zeitkritisch auf Delaybasis. Ihnen galt die Maxime: „Pulse transmission is preferred“.¹⁴⁵ Einerseits erlaubte diese eine leichtere Identifizierung sendender Stationen im Vergleich zu Systemen mit kontinuierlichen Wellen. Andererseits vereinfachte diese die Delay-

140 Baxter, James Phinney (1946): *Scientists Against Time*, Boston, 151.

141 Vgl. United States Department of Commerce, Civil Aeronautics Administration (1949) (Hrsg.), *LORAN (Long Range Navigation)* (Bulletin No. 7), Washington, D.C., 1.

142 Halford, J.H./Davidson, D./Waldschmitt, J.A. (1948): „History of Loran“, in: J.A. Pierce/A.A. McKenzie/R.H. Woodward (Hrsg.), *Loran* (MIT Radiation Laboratory Series 4), New York, 19–51, 28.

143 Eine Auflistung sämtlicher Loran-Stationen im historischen Kontext findet sich in Pierce/McKenzie/Woodward (Hrsg.), *Loran*, 419–424.

144 Pierce, J. A. et al. (1948): „Preface“, in: Pierce/McKenzie/Woodward (Hrsg.), *Loran*, ix–x, ix. Allein im April 1945 wurden über 230.000 Loran-Karten vom US Hydrographic Office verbreitet, Halford/Davidson/Waldschmitt (1948): „History of Loran“, 41.

145 Pierce, J.A. (1947): „Hyperbolic Systems“, in: John S. Hall (Hrsg.), *Radar Aids to Navigation* (MIT Radiation Laboratory Series 2), New York, 56–60, 56.

messung. Loran spannte mithin einen *electromagnetic space* auf, der in mikrotemporalen Ökonomien operierte, da es galt, Delays von 20.000 Mikrosekunden mit einer Genauigkeit von $\pm 1/2$ Mikrosekunde zu messen. Interessant ist das Verfahren, wie ihm auch William Rankin bescheinigt,¹⁴⁶ weil es die Bedeutung von Radartechnologie jenseits der originären Intention der Frühwarnung vor feindlichen Flugzeugen im potenziell zivilen Kontext der Radionavigation aufzeigt. Damit ist Loran mehr als ein Nebenschauplatz der Radarentwicklung. Es ist Teil einer Geschichte der elektromagnetischen Verzeitlichung geographischer Räume auf Basis von Delay zum Zwecke der zielgerichteten Wegfindung, die sich in heute ubiquitären Medientechnologien globaler Satellitennavigationssysteme wie dem GPS fort schreibt.

Entscheidend für die Praktikabilität von Loran war nur bedingt das radar-technische Equipment. Wie das Rad Lab betonte, waren es kartographische Repräsentationen der derart aufgespannten elektromagnetischen Räume, die notwendig wurden und die es aufwendig zu berechnen und zu erstellen galt: „The labor involved in computing these lines of position is so large that several hundred thousand man-hours have already been spent in the construction of Loran charts and tables.“¹⁴⁷ Loran als technologisches und bildschirmbasiertes Navigationsverfahren machte Landkarten also nicht obsolet, sondern die Produktion neuen Kartenmaterials erforderlich: von Karten, die nun kartierten, was zuvor nicht verzeichnet worden war. Loran-Karten, die den geographischen Raum gemäß Differenzen von Delays mit Linien durchzogen, visualisierten, dass sich Navigation auf Basis zeitkritisch operierender Mediensysteme nicht nach Landesgrenzen richtet, sondern in Signalmräumen statthat. Loran stellte mithin ein Navigationssystem kartenbasierter Verortung dar. Es unterschied sich aber von klassischen Verfahren kartenbasierter Navigation dahingehend, dass es Medien feingerasterter Zeitmessung verwendete (Bildschirme) und sich medienpraktisch als ‚screen operation‘ ausgestaltete, wie sie für postmoderne Navigation konstitutiv ist.

Bereits vor Loran gab es elektromagnetische Verfahren der Positionsbestimmung zur Navigation. Davon zeugt das bereits 1922 veröffentlichte Buch *Direction and Position Finding by Wireless*.¹⁴⁸ Diese Verfahren waren jedoch auf die aktive Involvierung von Personal in lokalisierenden Bodenstationen angewiesen.¹⁴⁹ Über die Vorteile von Loran hieß es von Seiten des Rad Lab daher, dass „no correlation

146 Rankin, William (2014): „The Geography of Radionavigation and the Politics of Intangible Artifacts“, in: *Technology and Culture* 55(3), 622-674, insb. 626.

147 Pierce (1947): „Hyperbolic Systems“, 59.

148 Keen, Ronald (1922): *Direction and Position Finding by Wireless*, London.

149 Hierzu Rankin (2014): „The Geography of Radionavigation“, 636.

between the activities of the navigators and those of the operators of the transmitters“¹⁵⁰ erforderlich sei. Dadurch war es möglich, dass eine potenziell unbegrenzte Anzahl von Teilnehmer:innen an Loran partizipieren konnte. Das System operierte seitens der Empfänger:innen so passiv wie das GPS heutzutage. Es galt, Signale von Bodenstationen ausschließlich zu empfangen, was Navigierenden ein größtmögliches Maß an Freiheit in den derart aufgespannten elektromagnetischen Räumen der Loran-„navigable world“¹⁵¹ zugestand, wie von Seiten des Rad Lab betont wurde: „the behavior of the system does not depend upon whether one or ten or thousands of navigators are making use of the service it provides.“¹⁵²

Keines der um 1950 insgesamt existierenden terrestrischen Radionavigationssysteme – die sich als technisch, funktional, aber auch medienpraktisch heterogen erwiesen – führte direkt zum späteren satellitengestützten GPS als einem navigatorischen Standard. Trotzdem kann Loran in einer medienepistemologischen Lesart als dessen genealogischer Vorfahre gelten.¹⁵³ Es spannte elektromagnetische Impulsräume im tendenziell globalen Maßstab auf, die zeitkritisch generierte Aussagen über georäumliche Positionen in ihrem Abdeckungsbereich zuließen. Positionsbestimmung war medienpraktisches Resultat elektromagnetischer Übertragungen geworden, da sonische Verzögerungen zum zeitkritischen Messinstrument avancierten und – wie im Falle von Echolot, Sonar oder Radar – Übertragungszeiten rekursiv Übertragungsräume bestimmten. Diese temporale, geomediale Selbstreflexivität von Übertragungen zugunsten von Positionsbestimmungen wurde am Rad Lab expliziert. Dort hielt man grundlegend fest, „[t]he primary fact upon which Loran is based is that the transmission time taken by a radio pulse to travel over a distance measures the distance.“¹⁵⁴ Dementsprechend wurde als Einheit für Loran-Berechnungen 983,24 Fuß (das entspricht 299,69 m) als vorteilhaft erachtet. Nicht, weil dies eine leicht zu merkende Zahl wäre, sondern da dies der

150 Pierce (1947): „Hyperbolic Systems“, 60.

151 Halford/Davidson/Waldschmitt (1948): „History of Loran“, 40.

152 Pierce (1947): „Hyperbolic Systems“, 60.

153 Aus medienpraxeologischer Perspektive müsste diesem Attest widersprochen werden. Die Integration von Loran-Empfängern machte in der Praxis umfangreiche Schulungen notwendig, damit das technische Equipment überhaupt genutzt werden konnte, vgl. Halford/Davidson/Waldschmitt (1948): „History of Loran“, 45–49. Während die GPS-Navigation durch die automatisierte Ermittlung der Standortkoordinaten und ein Paradigma intuitiver Interfaces gekennzeichnet ist, erforderte Loran eine technische Professionalisierung der Navigierenden. Dies zeigt sich auch in der Rhetorik von „operator“ statt „user“: Das technische Equipment verlangte nach fähiger Bedienung statt schlichter Nutzung.

154 Sitterly, B.W. (1948): „Principles of Loran“, in: Pierce/McKenzie/Woodward (Hrsg.), *Loran*, 52–106, 52.

Entfernung entspricht, die ein elektromagnetischer Impuls binnen einer Mikrosekunde durchquert. Daher durfte mit dieser Einheit im Sinne praktischer Belange der Navigation gelten: „distance is numerically equal to transmission time“.¹⁵⁵

Das indexikalische Verhältnis der Zeitlichkeit und Räumlichkeit von Radiowellen wurde navigatorisch produktiv. Auf Basis des Zeit-Raum-Regimes elektromagnetischer Delays war es möglich geworden, nicht nur andere Objekte zu lokalisieren, sondern die *eigene* Position auf der Erdoberfläche zu bestimmen. Elektromagnetische Praktiken der Positionsbestimmung waren in den 1930er Jahren, wie erwähnt, auf die aktive Involvierung zweier Bodenstationen nach dem Prinzip der Kreuzpeilung angewiesen. Dies limitierte die Möglichkeit von Positionsbestimmungen quantitativ. Andererseits gaben navigatorische Infrastrukturen auf Radiobasis, wie die des US-amerikanischen „beam flying“,¹⁵⁶ lediglich vorab definierte Routen vor. Dahingegen gewährte Loran seinen Navigierenden eine Autonomie in zweifacher Weise: Die Anzahl potenzieller Teilnehmer:innen war unbeschränkt (zumindest nach der Freigabe für die zivile Nutzung nach dem Zweiten Weltkrieg) und es wurden keine statischen Wege vordefiniert.

Wird von Navigations-Historiker:innen meist eine Diskontinuität von terrestrischer zur Satelliten-Navigation betont, zeigt sich, dass diese für einen Fokus auf die der Infrastruktur zugrundeliegenden Signalprozesse weniger entscheidend ist. Gleich ob Signale von GPS-Satelliten oder Loran-Bodenstationen ausgesendet werden: Bei beiden ist das zeitkritische Delay die entscheidende Größe der Selbstverortung. In Bezug auf postmoderne Navigation sind es vier Dimensionen von Loran, die als ‚obligatorische Passagepunkte‘¹⁵⁷ für künftige radiobasierte Navigationssysteme gelten durften: 1.) Navigation wurde bei Loran auf Basis von ‚screen operations‘ ausgeführt, wodurch bereits ein bildschirmbasiertes ‚visual regime of navigation‘¹⁵⁸ zu identifizieren ist; 2.) Navigierende verwendeten passives technisches Equipment, das allein empfing, ohne aktiv zu senden; 3.) Navigierenden wurde eine tendenziell unbegrenzte Bewegung im Signalraum der Infrastruktur zugestanden; 4.) Loran basierte auf Signallaufzeiten und ist damit irreduzibel an

155 Ebd.

156 Vgl. Kear, F.G./Jackson, W.E. (1930): „Applying the Radio Range to the Airways“, in: *Bureau of Standards Journal of Research* 4, 371-381. Als Forschungsliteratur mit Fokus auf die US-amerikanische Post vgl. Lehrer, Henry R. (2014): *Flying the Beam. Navigating the Early US Airmail Airways, 1917-1941*, West Lafayette.

157 Vgl. zum Begriff Callon, Michel (1986): „Some Elements of a Sociology of Translation. Domestication of the Scallops and the Fishermen of Saint Brieuc Bay“, in: John Law (Hrsg.), *Power, Action and Belief. A new Sociology of Knowledge?*, London, 196-233, 205.

158 Vgl. Verhoeff, Nanna (2012): *Mobile Screens: The Visual Regime of Navigation*, Amsterdam.

einer elektromagnetischen Verzeitlichung des Georaums zu Zwecken der Navigation beteiligt, die sich im GPS fort schreibt.

Radarindustrie

Was gängige Radargeschichten meist verschweigen, sind vier Dimensionen des Mediums. Wie ich bereits schilderte, war es in den ersten Jahren des Mediums der kritische Anteil menschlicher Praxis, der für das Gelingen von Radarortungen entscheidend war. Zweitens war es das notwendige System Design, das ein Denken in Netzwerken der Daten-Übertragung und -Prozessierung evozierte, das den Praxiserfolg von Radar garantierte. Drittens war es die praktische Varianz der Radartechnik, die nicht nur zur Flugzeuglokalisierung verwendet wurde, sondern auch Implementierung in Infrastrukturen der Navigation erfuhr. Und viertens, wie ich im Folgenden darlegen will, war es eine eigenständige elektronische Industrie, die durch Radar begründet wurde. D.h. einerseits wurde die institutionalisierte Erforschung, andererseits die massive Produktion von Radargerät im großen Maßstab finanziert und praktiziert.

Radar unterschied sich quantitativ vom Forschungs- und Produktionsumfang sämtlicher elektronischer Medien zuvor. Ein medienhistorisches Desiderat stellt dies insofern dar, als dass die Analyse der Anfänge der Radarproduktion ebenso die Ursprünge dessen zu identifizieren hilft, was später in digitalen Medienkulturen münden sollte. Schließlich muss – auch wenn dies zunächst banal klingt – das elektronische Equipment, das wiederum die Grundlage digitaler Medienkulturen darstellt, erst im industriellen Umfang erforscht, modularisiert, prototypisiert, verbessert, standardisiert usw. werden – und nicht zuletzt auch produziert. Die institutionellen und epistemischen Strukturen sowie finanziellen Ressourcen zur Initiierung einer solchen Elektroindustrie erweisen sich als verwoben mit den Anfängen des Radars. Radar prägte eine Quantität in der Produktion elektronischer Medien aus, die vormals unbekannt war und damit einen qualitativen Wechsel darstellte. Der Fokus liegt im Folgenden auf dem US-amerikanischen Radar, da die Produktion seiner zugrundeliegenden Elektrotechnik dort im historischen Kontext extensiver praktiziert wurde als in anderen Ländern – zumindest nachdem ein apparativer Technologientransfer aus England stattfand.

Nachdem sich die Radarkette Chain Home sowie das Dowding System in England zum Ausbruch des Zweiten Weltkriegs nicht im perfekten, aber doch funktionalen Zustand befand, fokussierte die Radarforschung dort auf die Implementierung von Bordradar in Flugzeugen. Einerseits wurden dafür Radarantennen notwendig, die klein genug waren, um sie an Flugzeugen anzubringen; andererseits mussten diese Radioimpulse unter einer Wellenlänge von 1,5 m aussenden, um

einen zumindest hinreichend scharf gerichteten Radarstrahl zu generieren. Es war in diesem Kontext, dass in England 1940 das ‚multicavity magnetron‘, das s.g. Hohlraummagnetron entwickelt wurde, welches leistungsstarke Zentimeterwellen zu produzieren imstande war. Der Leiter des britischen Committee for the Scientific Survey of Air Defence, Henry Tizard, überzeugte Winston Churchill, dieses neue epistemische Ding der Radarforschung in einem Akt von Technologietransfer und Form der Wissenschaftskooperation in die USA zu überführen. Diese Gesandtschaft, bekannt geworden als „Tizard Mission“,¹⁵⁹ erreichte die USA im September 1940 und besuchte dort bspw. das Naval Research Laboratory. Die Mission wirkte wie ein Katalysator für die US-amerikanische Radarforschung. So bescheinigte Vannevar Bush dem in einer unscheinbaren schwarzen Box mitgeführten Magnetron, es sei „the most valuable cargo ever brought to our shores“.¹⁶⁰

Die britische Mission machte in den USA konkrete Vorschläge für die Ausrichtung der künftigen Radarforschung, bspw. wurde die Entwicklung eines Mikrowellenradars vorgeschlagen. Noch 1940 wurde in den USA das Microwave Committee als Teil des National Defense Research Committee gegründet und es wurde die Einrichtung eines eigenen Instituts zur Radarentwicklung beschlossen. Das Massachusetts Institute of Technology (MIT) willigte ein, die Verantwortlichkeit der Administration eines solchen Vorhabens zu übernehmen. Dort wurde im November 1940 das Radiation Laboratory gegründet. Dieses Rad Lab sollte letztlich 62 Monate bestehen: anfangs mit lediglich 40, zum Kriegsende mit knapp 4.000 Mitarbeitenden.¹⁶¹ An dieser massiven Personalsteigerung lässt sich bereits ablesen, wie stark die Institutionalisierung der wissenschaftlichen Radarforschung in den USA priorisiert und forciert worden war.

Es war dieses ‚Strahlungslabor‘,¹⁶² das maßgeblich für die US-amerikanische Radarindustrie werden und Formen vollumfänglicher elektronischer Grundlagenforschung ausprägen sollte. Von der am Rad Lab stattgefundenen Arbeit zeugt eine nahezu einzigartige Form der Selbstdokumentation: die nach Kriegsende publizierte 28-bändige *Radiation Laboratory Series*. Bereits die Titel der Reihe geben anschauliches Zeugnis davon, womit sich Radarforschung im historischen Kontext beschäftigte. Die ingenieurtechnische Entwicklungsarbeit hatte sich dezidiert *nicht*

159 Hierzu vertiefend Zimmerman, David (1996): *Top Secret Exchange: The Tizard Mission and the Scientific War*, Montreal.

160 Zit. n. Hagen (2018): „Sunday Soviets und Blackett’s Circus“, 252.

161 Ridenour, Louis N. (1947): „Wartime Radar Development in the United States“, in: ders. (Hrsg.), *Radar System Engineering* (MIT Radiation Laboratory Series 1), New York, 15-17, 17.

162 Im November 1940, d.h. vor den verheerenden atomaren Strahlen des Atombombenabwurfs, war es nicht anstößig, ein wissenschaftlicher Labor derart zu benennen.

auf Radar allein zu beschränken, sondern es galt, sämtliche erforderlichen elektronischen Grundlagen, Schnittstellen, Schwingungseigenschaften usw. gemäß des erwähnten modularen System Designs mitzuberücksichtigen. Genannt seien hierfür programmatisch neben dem Band 1 der Serie, *Radar System Engineering*, die Bände *Pulse Generators*, *Microwave Magnetrons*, *Microwave Transmission Circuits*, *Waveguide Handbook*, *Microwave Duplexers*, *Vacuum Tube Amplifiers*, *Waveforms*, *Electronic Time Measurements*, *Cathode Ray Tube Displays*, *Theory of Servomechanisms* oder *Computing Mechanisms and Linkages*.

Während des Bestehens des Rad Lab erreichte Radar den Status einer eigenständigen Industrie. Bereits im initialen Jahr des Labors wurde in den USA ein Budget von 25.000.000\$ für Radarproduktion investiert.¹⁶³ „The growth of radar industry, which scarcely existed before 1940“, so urteilte Louis N. Ridenour vom Rad Lab in der Retrospektive, lasse sich auch anhand anderer Zahlen belegen: Bis zum Juni 1945 wurde Radarequipment im Wert von rund 2.700.000.000\$ an die US Army und Navy ausgeliefert; zu diesem Zeitpunkt wurde in den USA monatlich Radargerät im Wert von über 100.000.000\$ produziert¹⁶⁴ – dies entspräche heute rund 1.745.000.000\$. Das US-amerikanische Unternehmen Western Electric allein produzierte nach eigenen Angaben im Kriegsjahr 1943 Radargerät im Wert von 340.000.000\$; im Zweiten Weltkrieg insgesamt Radargeräte im Wert von annähernd 900.000.000\$.¹⁶⁵ „[T]he technical achievement represented by the wartime development of radar“, so führte Ridenour weiter aus, „seems very nearly unparalleled.“¹⁶⁶ Radarindustrie, die eine „new industry“ war und noch wenige Jahre zuvor nicht existierte, hatte sich derart rapide entwickelt, dass sie zum Kriegsende die Industrie eines Signums des *american dream* überholt hatte: die Automobilindustrie¹⁶⁷ – von der industriellen Fertigung anderer Medien wie Radios oder Fernseher ganz zu schweigen.

Besonders ist das auch deshalb, weil die Produktion von Radar unter erschwerten Bedingungen stattzufinden hatte. Die Sonderstellung von Radar war Konsequenz seines Status als Kriegstechnik. Die neue „billion-dollar industry“ war „surrounded by a wall of secrecy“,¹⁶⁸ weshalb sie im Geheimen stattfinden musste

163 Kelly (1945): „Radar and Bell Laboratories“, 223.

164 Ridenour (1947): „Wartime Radar Development in the United States“, 17.

165 Lack, Frederick R. (1945): „Radar and Western Electric“, in: *Bell Telephone Magazine* 24(4), 283-294, 284.

166 Ridenour (1947): „Wartime Radar Development in the United States“, 17.

167 Das schrieb L.A. DuBridge in einer Selbsthistorisierung der Forschung des Rad Lab (1946): „History and Activities of the Radiation Laboratory of the Massachusetts Institute of Technology“, in: *Review of Scientific Instruments* 17(1), 1-5, 3.

168 Baxter (1946): *Scientists Against Time*, 142.

und nicht an ein großes Netzwerk privater Unternehmen mit eigenen Produktionsstätten ausgelagert werden durfte. Nur wenige Firmen bekamen das Privileg der Produktion zugesprochen. Im Falle des US-amerikanischen Radars war dies zum Großteil die für die Bell Telephone Company tätige Western Electric Inc.¹⁶⁹ Dementsprechend nahmen die Bell Labs und Western Electric eine zentrale Stellung hinsichtlich des US-amerikanischen Radars ein: Dort fand die industrielle Prototypisierung und Produktion der Apparaturen und Module statt, für welche das Rad Lab die Grundlagenforschung betrieb. Dabei wurde eine Vielzahl elektronischer Komponenten konstruiert, prototypisiert, verbessert und schließlich standardisiert, darunter u.a. Magnetrons, Oszillatoren, ‚Pulse Power Tubes‘ und Verstärkerröhren. Damit wirkte sich die Radarproduktion entschieden positiv auf die Bell Labs aus, wie 1945 dargelegt wurde:

„Bell Laboratories was a major contributor of new electronic devices of almost all varieties which determined the speed of radar’s advance. During the 1940-1945 period, the Laboratories designed and standardized some 175 different electronic devices essential to radar. Western [Electric] supplied them in large quantity. The dollar volume of their deliveries exceeded \$100,000,000; almost twice the dollar volume of all electronic devices manufactured for Bell System use from 1915 to 1940.“¹⁷⁰

Im Gegensatz zu anderen technischen Medien war beim Radar das Zeitfenster zwischen der Entwicklung und breiten Verwendung in der Praxis aufgrund der Dringlichkeit der Weltkriegssituation minimal. Das brachte für die produzierenden Betriebe die Komplikation mit sich, dass ihr Personal nicht ausreichte und massiv aufgestockt werden musste. Das Personal der Produktionsstätten der Bell Laboratories wurde im Vergleich zu den Vorkriegsjahren verdoppelt; „integrating tens of thousands of new, untrained workers into a unit of long and specialized experience“¹⁷¹ war dabei dahingehend problematisch, als dass eine mindestnotwendige elektronische Expertise für die Produktion erfordert wurde, die bei den Produzierenden jedoch zunächst nicht vorhanden war. Entdeckte die kulturwissenschaftlich orientierte Medienforschung jüngst die kritische Frage nach den Rohstoffen

169 Diese produzierten mehr als die Hälfte des US-amerikanischen Radargeräts, siehe Kelly (1945): „Radar and Bell Laboratories“, 223. Zur Firmengeschichte von Western Electric vgl. Adams, Stephen B./Butler, Orville R. (1999): *Manufacturing the Future: A History of Western Electric*, Cambridge; Iardella, Albert B. (1964) (Hrsg.), *Western Electric and the Bell System. A Survey of Service*, New York.

170 Kelly (1945): „Radar and Bell Laboratories“, 247.

171 Anonym (1945): „Radar: A Story in Pictures“, in: *Bell Telephone Magazine* 24(4), 256-282, 278.

der Medien, ihren Liefer- und ökonomischen Wertschöpfungsketten für sich,¹⁷² müsste in einem notwendigerweise folgenden Schritt darauf fokussiert werden, *wie* diese Rohstoffe zu Medien wurden. D.h. *wo* Materialien zu Modulen verarbeitet und diese Module zu technischen Medien zusammengebaut, gelötet, verschaltet usw. wurden – und *wer* dies unter welchen (mitunter prekären) Bedingungen zu leisten hat und hatte.¹⁷³ Im Jahr 1941 – dem Jahr, in dem die USA im Dezember in den Zweiten Weltkrieg eintraten – waren über 20% des Personals von Western Electric Frauen. Im August 1944, als das Personal von Western Electric 97.416 betrug, hatte sich der Anteil von Frauen auf 60% erhöht. Dabei war die Zahl männlicher Angestellter nahezu gleich geblieben. Dementsprechend wurden fast ausschließlich Frauen *neu* eingestellt, die Radargeräte in Fabriken zu produzieren hatten (vgl. Abb. 39). Radar als vermeintlich rein technisches Gerät trägt mithin irreduzible Genderaspekte, die Radar als massenmediale Apparatur bedingen.

172 Vgl. Parikka, Jussi (2015): *A Geology of Media*, Minneapolis et al.

173 Eine historische Production Study des US-amerikanischen Radars wäre aufgrund der vorhandenen Quellen höchst lohnenswert. Aufgrund der Erfordernisse des Kriegs wurde in kurzer Zeit implementiert, was unter Friedensbedingungen ungleich länger gedauert hätte. Deswegen ist dies ausführlicher dokumentiert worden, als dies der Fall gewesen wäre, wenn sich Neuerungen derart langsam realisieren, dass sie nicht mehr neu erscheinen – und dementsprechend nicht reflektiert werden. Seitens Western Electric wurden daher Komplikationen, die sonst eher historisch rekonstruiert werden müssen, bereits im Kontext expliziert. Dies betraf bspw. die Problematik der Vielzahl der Einzelteile von Radargeräten; wie diese geliefert wurden; wo diese zusammengebaut wurden; wer dies beruflich tat; wie Module standardisiert wurden; die Bedeutung von Zulieferern; die Wichtigkeit von Prüf- und Testverfahren usw., vgl. Lack (1945): „Radar and Western Electric“, 283-294.



Abbildung 39: Arbeiterinnen montieren Radarmodule in einer Radarfabrik. Konkret handelte es sich um Bordradare für das Präzisionsbombardement durch Langstreckenflugzeuge des Typs Boeing B-29.

„Radar appears different to the eyes of each beholder“, hielt man von Seiten von Western Electric fest:

„To the fighting man of World War II, it was a weapon of imperative necessity. The public saw it as a dark miracle wrought by the magic of science. To the manufacturer, radar was an overwhelming complexity of intricate peace-parts. (...) It is only by thinking in terms of these numerous and varied piece-parts, and the many individual manufacturing processes behind each one, that the true perspective of the Western Electric radar project begins to emerge.“¹⁷⁴

Manche Radargeräte bestanden aus bis zu 7.000 Einzelteilen, die miteinander verschaltet werden mussten (vgl. emblematisch Abb. 40). Und so profund die Vorteile des Magnetrons für praktische Radarbelange auch gewesen sein mögen, musste auch dieses zunächst produziert werden. Das Hohlraummagnetron, so schrieb man seitens Western Electric, sei besonders aufwendig zu produzieren. Eines seiner Bestandteile sei nicht größer als ein Fingerhut, erfordere aber 58 verschiedene Operationen zu seiner Produktion.¹⁷⁵

174 Lack (1945): „Radar and Western Electric“, 283-294, 287.

175 Vgl. ebd.

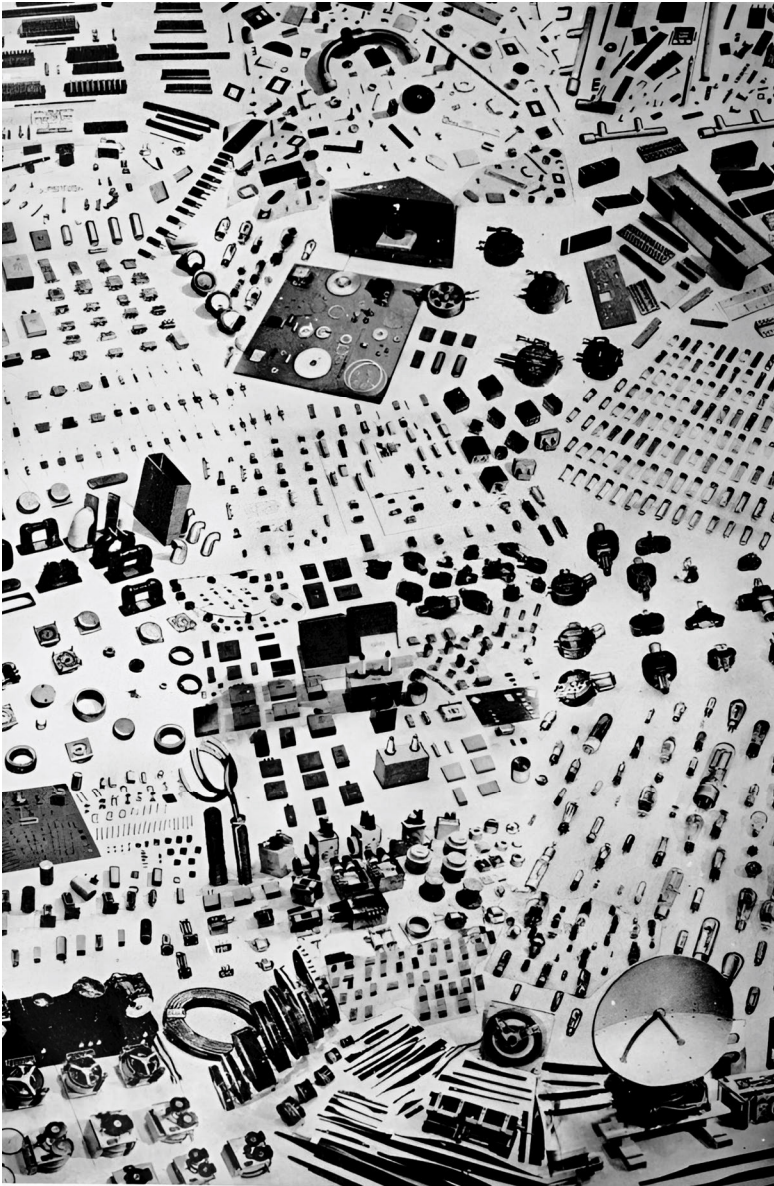


Abbildung 40: Einzelteile eines Radargeräts. Die Bildunterschrift der Quelle lautet: „A Manufacturer's-Eye View of Radar“, womit auf die heterogenen Bedeutungen von Radar für unterschiedliche Akteure hingewiesen wurde. Im Sinne der Radarproduktion waren Radare zu- vorderst ein Konglomerat kleinteiliger, zu verbauender Bestandteile dessen, was in der Praxis als Black Box Funktionalität entfalten konnte. Radar bedeutete in diesem Kontext vor- nehmlich eines: Handarbeit.

Allein der Bedarf an geeigneten Spulen stieg durch die extensive Radarproduktion während des Zweiten Weltkriegs quasi exponentiell an. Western Electric richtete für ihre Produktion eine provisorische Spulen- in einer ehemaligen Schuhfabrik in Haverhill, MA, ein, die binnen kürzester Zeit eine Belegschaft von 2.000 Personen aufwies. Insgesamt eröffnete Western Electric 16 neue Fabriken, um die Produktion der gesteigerten Nachfrage an Radarmodulen anzupassen. Dies führte aufgrund des Zeitdrucks – wie schon im Fall der Schuhfabrik – mitunter zur zweckentfremdenden Einrichtung von Produktionsstätten:

„Ex-garages, warehouses, engine-parts plants – almost any building with a roof that did not leak, or which had one that could be repaired – qualified as a radar shop if the community could provide people enough to staff it with workers. By the war’s end the Company’s [Western Electric] total manufacturing space had increased to 329 acres.“¹⁷⁶

Der Faktor Zeit war dabei in mehrfacher Weise kritisch. Mit einem Fokus auf Produktionszeiten insofern, da sich während der Kriegsjahre die Radarforschung so rapide entwickelte, dass es nicht das eine ideale Radar gab, sondern eine Vielzahl variierender Ausfertigungen – je nach aktuellem Stand der verwendeten Frequenzen und Wellenlängen. Zwischen 1940 und 1945 wurden in den Bell Labs über 200 verschiedene Radar-Prototypen entwickelt und konstruiert. Dabei sah sich die Radarproduktion fortwährend mit dem Problem konfrontiert, dass aufgrund des extremen Forschungstempos ein aktuell getesteter Prototyp schon während seiner Testphase aus technischer Perspektive veraltet erscheinen konnte.¹⁷⁷

Von besonderer Bedeutung war es für Western Electric, über möglichst viele Subunternehmen zu verfügen, um die Produktion einzelner Module größtmöglich an Zulieferer auszulagern. Trotz der kriegsgeheimen Produktion von Radar war dies erlaubt, da mitunter Bauteile gebraucht wurden, die nicht spezifisch für Radar waren. Zu diesem Zweck wurden über 6.000 Hersteller elektronischer Geräte im Umkreis jeder größeren Western Electric-Produktionsstätte geprüft, um festzustellen, welche technischen Bauteile diese produzierten. Aufgrund der erheblichen Modularisierung von Radargeräten – damit diese von ungelernten Arbeiter:innen zusammengebaut werden konnten – stellte sich heraus, dass scheinbar radarferne Hersteller durchaus geeignete Module zu liefern in der Lage waren:

„A manufacturer of slot machines, for example, turned out a light-weight precision antenna for an air-borne radar. The manufacturer of cabinets to house the radar which controls the

176 Ebd., 289.

177 Kelly (1945): „Radar and Bell Laboratories“, 251.

firing of the biggest guns on the heaviest battleships was formerly a maker of metal clothes lockers. The precision antenna drive for a large ground radar came from a maker of laundry machinery. A producer of pots and pans made tail sections for the bomb-shaped radar carried beneath the wings of air fighters. The metal frame for this same radar came from the shop of a bicycle manufacturer in Chicago. Finely made mechanical parts came, surprisingly enough, from a nationally known cereal firm, which maintains a precision machine shop for the peacetime production of packaging machinery.“¹⁷⁸

Radarindustrie wurde zum Modell für strukturell erfolgreiche „coordination“ und „cooperation“¹⁷⁹ in der Herstellung ungeheurer Mengen an elektronischem Gerät. Radar evozierte mithin nicht nur eine Elektrotechnisierung der Kriegsführung, sondern eine massive Steigerung der elektronischen Produktion insgesamt. Damit stellte die Radarindustrie eine wesentliche strukturelle Grundlage für die Herstellung an elektronischen Geräten dar, die in den darauffolgenden Jahrzehnten zur Produktion anderer technischer Objekte genutzt werden konnte. Der Effekt von Radar(produktion) für spätere Medien(kulturen) ist damit essenziell auch jenseits der konkreten Radartechnologie vorhanden. Es sollte sich eine 1945 geäußerte Vision bewahrheiten, die aufgrund ihrer epistemischen Nachhaltigkeit in Bezug auf die Wahrnehmung der kulturellen Implikationen von Radartechnologie erstaunt. Radarproduktion habe die Grenzen der Möglichkeiten in Bezug auf Elektrotechnik neu gesetzt und werde damit indirekte Alltagsrelevanz entfalten, wie man darlegte:

„The biggest influence radar will have after the war is indirect. The thousands of man-years which have gone into the improvement of the detailed components which make up a radar set (...) have made obsolete many of our prewar ideas about what could and could not be done in electronics. Furthermore, radar has made the electronic industry one of America's major ones, now comparable in size to the prewar automobile industry. This new industry, through its enormous laboratories, can be expected to find innumerable applications in a wide variety of fields. (...) Altogether, it is fair to say that radar, as radar, will have a mild immediate beneficial effect on all our lives, by making it safer to travel by sea or by air. But the impact on electronics generally of techniques developed during the war because of radar will have profound and far-reaching effects on the shape of our daily life.“¹⁸⁰

178 Lack (1945): „Radar and Western Electric“, 290-291.

179 Kelly (1945): „Radar and Bell Laboratories“, 254.

180 Joint Board on Scientific Information Policy (1945): *Radar. A Report on Science at War*, Washington, D.C., 50.

Das Rad Lab am MIT bestand insgesamt nur 62 Monate – es wurde zum Jahresende 1945 geschlossen. Es hatte aber strukturell nachhaltige Auswirkungen auf die Formatierung zukünftiger Medienkulturen und ihrer Produktion. Und es war institutionell nachhaltig. Das 1951 ebenfalls am MIT gegründete Lincoln Laboratory steht in seiner Tradition und mit Ivan Getting und Louis Ridenour waren zwei für das Rad Lab zentrale Persönlichkeiten Fürsprecher seiner Einrichtung. Im Lincoln Laboratory wurde die umfassende elektronische Radar-Grundlagenforschung, die ebenso das Design von Interfacetechnologien mitbedachte, fortgeführt – allerdings nur noch bedingt im Kontext von Radar. Das Lab leistete zentrale Pionierarbeit für den Whirlwind-Rechner und das SAGE; ebenso für Programme von Computergraphiken, die eine bildschirmbasierte Mensch-Computer-Kommunikation qua bidirektionalem Interface etablierten wie Ivan Sutherlands „Sketchpad“.¹⁸¹ Dieses entstand 1963 und liegt außerhalb der historischen Rahmung dieser Arbeit, verschärft jedoch die epistemische Tragweite des originären Rad Lab zur Etablierung von elektronischer Grundlagenforschung und Forschungs Kooperation. Außerdem bestärkt es exemplarisch die These, dass es die Radarforschung und -industrie der 1940er Jahre war, die für die Grundlegung elektrotechnisierter Medienkulturen wegbereitend werden sollte.

Binarität: Radar als Impulstechnik

Definitionen von Radar fallen komplizierter aus, als man es zunächst vermuten würde. So versuchte sich der Radarpionier Watson-Watt 1945 an einer Zusammenfassung, die sämtliche möglichen praktischen Implementierungen von Radartechnik mitberücksichtigte:

„So in practical life radar is a group of techniques which enable the position of one object among many to be measured by radio means, involving essentially the measurement of relative time-delays and thence the total paths or difference of paths, in the travel of suitably labelled radio waves between the object to be located and the radio station or stations (which may be transmitting, receiving or receiving-and-retransmitting stations) which provide reference points for the location.“¹⁸²

Den Grund für die potenzielle Heterogenität praktischer Radarimplementierungen lieferte Watson-Watt mit: Die tendenzielle Universalität des Radars sei durch die

181 Vgl. hierzu Sutherland, Ivan (2012): „The TX-2 Computer and Sketchpad“, in: *Lincoln Laboratory Journal* 19(1), 82-84.

182 Watson-Watt (1945): „Radar in War and in Peace“, 319.

verwendeten Impulstechniken erreicht worden. Hierzu muss man sich das grundlegende Prinzip von Aktivradar vergegenwärtigen. Beim Impulsradar wird der Sender derart moduliert, dass er sehr kurze, ausreichend starke Radioimpulse aussendet. In der Zeit zwischen den Impulsen fungiert die Radarantenne als bloßer Empfänger für etwaige Echos, die entsprechend der Position potenzieller Reflektoren im Raum mit geringerer oder größerer Verzögerung wieder dort eintreffen. Entsprechend des Ortungsradius einer Radarstation wird der nächste Impuls ausgesendet, wenn „echoes from the most distant objects of interest“¹⁸³ angelangt sind. Dies bedeutete im Rückschluss für die Technik des Radars, dass sie sich an der Geschwindigkeit von Radiowellen bemessen musste. Gemäß Lichtgeschwindigkeit entspricht das Delay einer Radiowelle von einer Mikrosekunde einer räumlichen Entfernung von circa 300 m. Von Seiten des Rad Lab wurde – unter Berücksichtigung, dass es sich beim Radar um Echos handelt, d.h. jeweils doppelte Wegstrecke – eine Ortungsgenauigkeit von 5 m gefordert, wie es bereits in den 1940er Jahren technisch möglich war. Demgemäß widmete sich das Rad Lab Impulsen mit Längen zwischen 0,03 und 5 μ s (Mikrosekunden, also millionstel Sekunden), d.h. Impulsen eines Zeitmaßes zwischen 0,00000003 und 0,000005 Sekunden.¹⁸⁴

Während der originären Radarexperimente des Teams um Watson-Watt wurden Impulslängen von etwa einer halben Millisekunde verwendet. Bereits bei diesen wurde die Notwendigkeit deutlich, dass künftig für eine exakte Lokalisierung von Flugzeugen „a very drastic shortening“¹⁸⁵ der Impulsdauer erzielt werden musste. Dadurch wurde – wieder in den Worten Watson-Watts – „a ‚squaring‘ of the pulse shape“ erforderlich, um Echos als solche deutlich und zeitlich exakt zu identifizieren: „A sharp leading edge was vital to accurate range-finding; a long trailing edge was fatal to echo separation.“¹⁸⁶ Radar erforderte die ‚Erfindung‘ elektromagnetischer, mikrotemporaler Impulse, d.h. hinsichtlich ihrer zeitkontinuierlichen Visualisierung: der Rechteckwelle. Für deren Erzeugung gab es im historischen Kontext noch keine adäquaten elektronischen Module. Dies bedeutete für den Anbeginn von Radartechnik eine zentrale Arbeitsaufgabe: „it had to be developed.“¹⁸⁷ Die Anforderung an den Radar-Ortungsimpuls wurde bereits 1937 derart formalisiert, dass 90% seiner Maximalamplitude binnen einer Mikrosekun-

183 Ridenour (1947): „How Radar Works“, 3.

184 Glasoe, G.N. (1948): „Introduction“, in: G. N. Glasoe/J. V. Lebacqz (Hrsg.), *Pulse Generators* (MIT Radiation Laboratory Series 5), New York, 1-17, 2.

185 Watson-Watt (1945): „Radar in War and in Peace“, 320.

186 Ebd.

187 Ebd.

de erreicht werden und der Impuls anschließend binnen zweier Mikrosekunden auf 1% dieser Maximalamplitude zurückfallen sollte.¹⁸⁸

Bisherige Betrachtungen von Schwingungsverläufen, „previous treatment of waveforms“ – schrieb Frederic Calland Williams vom Rad Lab 1949 in der Retrospektive über die kritischen Anfängen der Radarforschung –, beschränkten sich vornehmlich auf Sinuswellen und die verschiedenen Manipulationen, die auf ihnen durchgeführt werden konnten: Addition, Subtraktion, Verstärkung, Modulation und Demodulation in Amplitude, Frequenz und Phase. Grundlegendes Konzept und methodisches Vorgehen des Buchs, welches die elektronische Forschungsarbeit des Rad Lab zur Erzeugung und zeitlichen Manipulation von Spannungen dokumentierte – der Band *Waveforms* der *Rad Lab Series* – sei es daher, „to make a clean break with the traditional approach. (...) The waveforms that will be considered are not sine waves, but square waves, pulses, and even more complicated shapes.“¹⁸⁹ Damit verkündete Williams nicht weniger als einen radarepistemischen ‚new approach‘ für das prozessarchitektonische Design von Elektrotechnik. Als das Radiation Laboratory im Herbst 1940 initiiert wurde, um Grundlagenforschung für das US-amerikanische Militär mit Radar im Mikrowellen-Bereich zu betreiben, stellte sich als ein grundlegendes Problem der Mangel an elektrotechnischem Gerät zur Erzeugung leistungsstarker Impulse heraus, wie Watson-Watt es zuvor ebenso für die britische Situation berichtete. Die Erfordernisse des Radars – nämlich hohe Impulsstärke, kurze Impulsdauer und eine hohe Wiederholungsfrequenz der Impulse – machten die Entwicklung neuer Impulstechniken notwendig, wie man am Rad Lab darlegte: „Besides the improvement of existing techniques, it was necessary to devise entirely new methods and to design new components to provide satisfactory pulse generators for radar applications.“¹⁹⁰ Und nicht nur die Radarortungen verlangten nach adäquater Impulstechnik; auch die ‚indicating‘

188 So hieß es von Seiten der britischen Bawdsey Research Station, Bawdsey Manor, Woodbridge, Suffolk, TNA AIR 2/1969: „R.D.F. Chain“, 9. Mai 1937.

189 Williams, Frederic C. (1949): „Basic Concepts and the Method of Approach“, in: Britton Chance/Vernon Hughes/Edward MacNichol/David Sayre/Frederic C. Williams (Hrsg.), *Waveforms* (MIT Radiation Laboratory Series 19), New York, 8-16, 8. Diese radikale Abkehr von kontinuierlichen Wellen im Kontext von Radar findet sich pointiert beim Pionier der Ionenforschung Edward Appleton: „We must picture the radio-waves as travelling from the sender to the reflecting object and back with a definite, known speed. If, therefore, we can time them on their journey to and fro, we can measure the distance travelled and so find the distance of the object from the observing station. The first question, therefore, is: Can we measure the time of travel using continuous waves?—the answer is definitely No.“ Appleton, Edward (1945): „The Scientific Principles of Radiolocation“, in: *Journal of the Institution of Electrical Engineers* 92(57), 340-353, 342.

190 Glasoe, G. N./Lebacqz, J. V. (1948): „Preface“, in: dies. (Hrsg.), *Pulse Generators*, ix-x, ix.

und ‚ranging circuits‘ brauchten diese, wenngleich mit weitaus geringerer Spannung. Demgemäß kann es nicht verwundern, dass das Rad Lab nicht allein dem Design des technischen Geräts zur Impulserzeugung gehaltvolle Aufmerksamkeit widmete, sondern ebenso dem anvisierten Design der Impulse selbst – nämlich wenn diese als Funktionen der Zeit gedacht wurden. Programmatisch dafür mag das folgende Zitat aus dem Band *Pulse Generators* der *Rad Lab Series* sein. Trotz seiner Länge wird es hier vollständig wiedergegeben, da in ihm eine buchstäbliche Schärfung von Wellenformen zugunsten einer größtmöglich binär-diskreten Formatierung vorgenommen wurde:

„In its broadest aspects, the term ‚pulse duration‘ is the time during which a voltage or current maintains a value different from zero or some other initial and final value. The term ‚pulse shape‘ is used to refer to the form obtained when the pulse amplitude is plotted as a function of time. When referring to such a plot, it is convenient to discuss the details of a particular pulse shape in terms of the ‚leading edge‘, the ‚top‘, and the ‚trailing edge‘ of the pulse. If a pulse of voltage or current is truly rectangular in shape, that is, has a negligible time of rise and fall and is of constant amplitude for the intervening time interval, the pulse duration is simply the time elapsed between the deviation from and the return to the initial value. The term ‚negligible time‘ is, of course, relative and no strict boundaries can be attached. For most practical purposes, however, if the rise and fall times for a pulse are about a tenth or less of the pulse duration, the pulse is considered substantially rectangular.“¹⁹¹

Kritisch für Radar sollte die Rechteckwelle, d.h. die Begrenzung kontinuierlicher Schwingungen auf zwei eindeutig voneinander unterscheidbare Zustände werden. Rechteckimpulse konnten dabei durch unterschiedliche elektrotechnische Operationen erzeugt werden. Eine Möglichkeit bestand in der intendierten Überladung eines Verstärkers, wobei das nicht-lineare Verhalten von Elektronenröhren ausgenutzt wurde (vgl. schematisch in Abb. 41). Diese Nichtlinearitäten wurden vormals als Defekt von Röhren interpretiert, wie das Rad Lab betonte, aber im Kontext der Erzeugung von Rechteckschwingungen kam dieser Eigenschaft wesentliche Bedeutung zu. Dabei wurde das lineare Verhalten einer Röhre größtmöglich begrenzt, um zu möglichst steilen Impulsflanken zu gelangen, d.h. die Linearität wurde mit einem phantasmatischen Grenzwert $\lim \Delta t \rightarrow 0$ definiert:

„The shorter the linear part, in terms of grid voltage, the steeper the sides [of the rectangular wave] will be; the ideal would be to reduce it to zero. In this example the nonlinear charac-

191 Glasoe, G. N. (1948): „Parameters Fundamental to the Design of Pulse Generators“, in: Glasoe/Lebacqz: *Pulse Generators*, 1-5, 2.

teristic is regarded as having abrupt transitions between separate linear states rather than as a continuous nonlinear curve.”¹⁹²

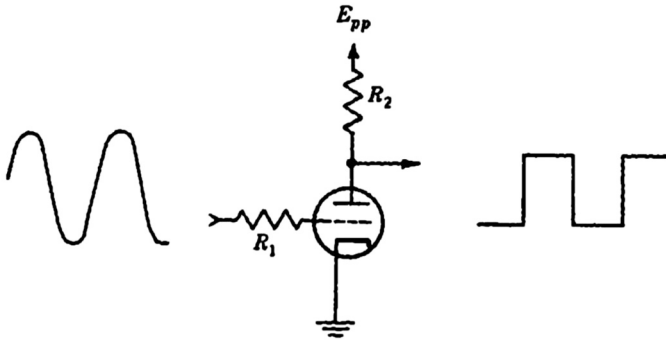


Abbildung 41: Erzeugung einer Rechteckwelle durch Begrenzung des linearen Verhaltens einer Elektronenröhre. Abgesehen von der konkreten Elektronik zur Erzeugung von Rechteckwellen, ist das Prinzip emblematisch für den durch Radar evozierten Paradigmenwechsel und buchstäblichen Zeitenbruch in der Behandlung von Wellenformen: Aus dem kontinuierlichen Schwingungsverhalten von Wellen galt es, durch elektrotechnische Operationen Diskontinuitäten zu erzeugen.

Der Zweck dieser möglichst steilen Impulsflanken ergab sich aus der Praxis des Radars: Sie waren konsequentes Resultat des Zeit-Raum-Regimes elektromagnetischer Delays. Einerseits haben Radiowellen eine immense Geschwindigkeit, andererseits mussten Radarortungen möglichst exakt sein, um bspw. für Flugabwehrkanonen Ergebnisse von praktischer Relevanz zu erzielen. Dabei führten unscharfe Impulsflanken zu temporalen, mithin geographischen Unbestimmtheitsräumen. Zwischen Signal und Rauschen konnte nicht deutlich differenziert werden, wenn Echos nicht eindeutig als solche detektiert werden konnten bzw. wenn nicht klar war, wann ein Grundrauschen endete und ein Echosignal begann – entsprechend konnte anschließend die Entfernung zu einem georteten Objekt nicht exakt ermittelt werden. Notwendigerweise mussten die Impulse von Radarortungen diesen ‚Ungewissheitsspielraum‘ zwischen Nicht-Impuls und Impulsmaximum tunlichst vermeiden. In zeitlinearisierter Darstellung ergab sich damit eine binär-diskrete Erscheinung von Impulsen, die sich scharf auf zwei eindeutig voneinander abgrenzbare Zustände zu beschränken hatten: Rechteckwellen (vgl. Abb. 41 rechts).

192 Glasoe, G. N. (1948): „Line-type Pulsers“, in: Glasoe/Lebacqz: *Pulse Generators*, 8-12, 10.

Das Rauschen des Realen, d.h. die Linearitäten des kontinuierlich Analogen, galt es zu vermeiden, um Unschärfe aus den Ortungen zu extrahieren. Radar als Medientechnik, die in geographischen, mithin analogen Umwelten agierte, operierte dadurch grundlegend in der symbolischen Ordnung diskreter Werte. Kontinuität, das Kennzeichen des Analogen, galt es größtmöglich zu limitieren. Radar übersetzte analoge Umwelten in wertdiskrete, binäre Zustände aufgrund wiederum binärer Ortungsimpulse. Oder um Worte des Rad Lab zu verwenden: es ist „essential that the nonlinear component [of radar] should comprise separate linear states and not exhibit continuous nonlinearity over any considerable range of operation.“¹⁹³ Dass sich das Rad Lab mit der Erzeugung von diskontinuierlichen Wellenformen beschäftigte, lag am Radar als einem genuin zeitkritischen Medium. Denn aus zeitkritischer Perspektive sind Diskontinuitäten besser voneinander unterscheidbar als kontinuierliche Spannungsverläufe. Diskontinuierliche Wellen, so das Rad Lab,

„are useful primarily in *timing* applications because a definite instant in time can be associated much more accurately and unequivocally with the moment of ‚abruptness‘ in such waveforms than with any portion of a ‚smooth‘ waveform. Speed, relative of course to the time scale being used, is therefore a most valuable property of such waveforms.“¹⁹⁴

Die Signalgrundlage des Radars nahm damit eine deutliche Kontur an. Radar konnte als Wahrnehmungstechnologie nur dann zu einer ‚Rationalisierung der Sicht‘¹⁹⁵ führen, wenn ein binäres Schema appliziert wurde, das sich dadurch auszeichnete, Präsenzen im Raum möglichst scharf von Nicht-Präsenzen zu unterscheiden. Radar basierte mithin logisch und technisch auf einem binären Prinzip. Daran erinnerte auch Harry Stockman in seinem Aufsatz „Communication by Means of Reflected Power“ von 1948: „In the conventional radar application, the return from the target carries the information that the target exists. In the simplest case, therefore, the radar receiver response indicates a ‚yes‘ or ‚no‘.“¹⁹⁶ Diese binäre Logik von Radarortungen fand ihr Äquivalent im Binären der technischen Grundlage.

193 Glasoe, G. N. (1948): „Method of Approach“, in: Glasoe/Lebacqz: *Pulse Generators*, 15-16, 16.

194 Sayre, David (1948): „Generation of Fast Waveforms“, in: Glasoe/Lebacqz: *Pulse Generators*, 159-204, 159.

195 „Radar is the best example of the rationalization of sight in the twentieth century“, da Radar allein Positionen lokalisieren und Farbe oder Form des Georteten vernachlässigen, schreibt Lev Manovich diesbezüglich (1993): „The Mapping of Space: Perspective, Radar, and 3-D Computer Graphics“, <http://manovich.net/content/old/03-articles/01-article-1993/01-article-1993.pdf>, 17.10.2022.

196 Stockman, Harry (1948): „Communication by Means of Reflected Power“, 1196.

Zum Maß an Exaktheit einer Radarortung wurde ein Denken im Binären, das auf einer elektrotechnischen Basis möglichst steiler Impulsflanken fußte.¹⁹⁷ Was diesbezüglich während der Macy-Konferenzen nach dem Zweiten Weltkrieg ausgiebig diskutiert wurde – die Differenzierung und Charakterisierung des Analogen und Digitalen¹⁹⁸ –, wurde hier bereits vor jener Metawissenschaft Kybernetik elektromechanisch praktiziert und diskutiert. Eine Epistemologie digitaler Kulturen, die ihrem elektrotechnischen Unterbau gerecht werden will, sollte deshalb bei der Theorie des Impulsradars ansetzen und nicht bei den digitalen Rechenmaschinen, die ein Radardenken in Diskontinuitäten erst adaptieren sollten – hierzu später mehr. Bereits für das frühe Radar durfte gelten, was Jörg Pflüger einer ins Symbolische transferierten Signalökonomie bescheinigte, die Kennzeichen des Digitalen ist:

„Sinn und Nutzen dieses ganzen Aufwandes der diskreten Kodierung bestehen darin, durch die Kapselung der Unschärfe in abgeschlossenen Lokalitäten zu vermeiden, daß sich Ungenauigkeiten fortpflanzen und wechselseitig beeinflussen. Analoge Systeme verhalten sich bezüglich Präzision und Fehlerverhalten wie Messungen, digitale Systeme kann man dagegen mit Stellensystemen vergleichen.“¹⁹⁹

Norbert Wiener führte bekanntermaßen eine Unterscheidung des Analogen vom Digitalen wie folgt ein: „Every digital device is really an analogical device which distinguishes region of attraction rather than by a direct measurement. In other words, a certain time of non-reality pushed far enough will make any device digital.“²⁰⁰ Wiener folgend ließe sich aussagen, dass der epistemische wie elektrotechnische Kern von Impulsradar bereits genuin digital ist: Radar war bereits ein ‚digital device‘, das im Mikrotemporalen operierte und sich von Manipulationen konti-

197 Diese Rhetorik des „Denkens“ von Radar in binären Kategorien findet sich bereits in den Quellen. Nach der Erwähnung, dass Radar in und mit Mikrozeitlichkeiten operiert, ergänzte Baxter: „It is on that scale that the student of radar learns to think.“ Baxter (1946): *Scientists Against Time*, Boston, 136.

198 Vgl. Pias, Claus (2009): „Time of Non-Reality. Miszellen zum Thema Zeit und Auflösung“, in: Axel Volmar (Hrsg.), *Zeitkritische Medien*, Berlin, 267-279; und ders. (2004): „Elektronenhirn und verbotene Zone. Zur kybernetischen Ökonomie des Digitalen“, in: Jens Schröter/Alexander Böhnke (Hrsg.), *Analog/Digital – Opposition oder Kontinuum? Zur Theorie und Geschichte einer Unterscheidung*, Bielefeld, 295-309.

199 Pflüger, Jörg (2005): „Wo die Quantität in Qualität umschlägt. Notizen zum Verhältnis von Analogem und Digitalem“, in: Martin Warnke/Wolfgang Coy/Georg Christoph Tholen (Hrsg.): *HyperKult II. Zur Ortsbestimmung analoger und digitaler Medien*, Bielefeld, 27-94, 45.

200 Zit. n. Pias, Claus (2003): *Cybernetics – Kybernetik. The Macy-Conferences 1946-1953, Band 1: Transactions/Protokolle*, Zürich, 158.

nuierlicher Wellen löste. Ganz in diesem Sinne unterscheidet Alexander Galloway das Analoge vom Digitalen: „the analog is found most readily in technologies of curves and waves, in an aesthetic of smoothness and unbroken lines, planes, or volumes“; dahingegen zeichne sich das Digitale durch diskrete Zeichen oder Zustände aus.²⁰¹ Derartige Diskontinuitäten – des Digitalen *avant la lettre* – wurden bereits in den Bänden der *Rad Lab Series* verhandelt. Dies illustrieren die vorigen Zitate ebenso wie die Betonung von „abrupt discontinuities“,²⁰² „nonlinear elements“,²⁰³ „pulse trains“ und „time selection“, „time discrimination“, „time comparison“²⁰⁴ oder „waveforms that are as abrupt as possible“²⁰⁵ im Band *Waveforms*.

Das Digitale gilt gemeinhin als Ergebnis eines Vorgangs der Diskretisierung, d.h. einer Codierung beliebiger Signalamplituden in eine Reihe binärer Spannungszustände, die mit „0“ und „1“ ihre numerische Repräsentation erfahren. Dabei werden etwaige Zwischenzustände strategisch vermieden. Spannend ist es daher, das am Rad Lab stattgefundenen Ringen um ideale Rechteckwellen einer Beschreibung des Digitalen gegenüberzustellen, wie sie Jörg Pflüger gibt:

„Auf der physikalischen Ebene der Signale läuft im Computer und in jedem anderen digitalen Medium alles analog ab, oder besser ausgedrückt: Es verläuft kontinuierlich in Raum und Zeit. Wenn bspw. die diskreten Werte 0 und 1 durch unterschiedliche Spannungspotentiale realisiert werden, dann ist ein Zustandswechsel in Wirklichkeit kein instantaner Schaltvorgang, sondern wird durch einen Spannungsanstieg oder -abfall mit einer sehr steilen Flanke erzielt. Je kürzer die Übergangsphasen und je ferner die physikalischen Größen der stabilen Zustände sind, umso besser sind sie auseinanderzuhalten und umso fehlerfreier kann das digitale System arbeiten.“²⁰⁶

Die mit der Spannungsflanke auf physikalischer Ebene einhergehende „time of non-reality“ (Norbert Wiener) bzw. den „forbidden ground in between“ (Julian Bigelow) gilt es im Digitalen produktiv zu vermeiden, woran Pflüger erinnert.²⁰⁷ Damit ist ein Prinzip des Binärdigitalen beschrieben, wie es im Radar der frühen 1940er Jahre bereits umfassend erforscht und praktiziert wurde.

201 Galloway, Alexander R. (2022): „Golden Age of Analog“, in: *Critical Inquiry* 48(2), 211-232, 230.

202 Williams (1949): „Basic Concepts and the Method of Approach“, 11.

203 Ebd., 8.

204 Ebd., 12.

205 Sayre, David (1948): „Generation of Fast Waveforms“, 159.

206 Pflüger (2005): „Wo die Quantität in Qualität umschlägt“, 41-42.

207 Vgl. ebd., 43.

Das Novum jener Impulstechniken des Radars war im historischen Kontext explizit. Am Rad Lab war man sich darüber hinaus bewusst, dass diese neuen Impulstechniken wiederum nicht auf den Radarbereich beschränkt bleiben brauchten, sondern breites Anwendungspotenzial hatten. Ganz in diesem Sinne hielt der Band *Pulse Generators* der *Rad Lab Series* einleitend fest, dass Mikrowellenradar die Entwicklung adäquater Impulsgeneratoren zwar erforderte, diese wiederum aber für eine Vielzahl anderer Anwendungen, die nichts mit Radar zu tun hatten, Verwendung finden konnten:

„The tremendous research and development effort that went into the development of radar and related techniques during World War II resulted not only in hundreds of radar sets for military (and some for possible peacetime) use but also in a great body of information and new techniques in the electronics and high-frequency fields.“²⁰⁸

Als künftige Anwendungsbereiche vorgesehen – neben dem erwähnten Loran zur Navigation – waren Synchronisierungen von Zeitgeberschaltungen für Frequenzmultiplikation und -division; die Synchronisation der Bilddarstellung in Kathodenstrahlröhren; hochauflösendes Fernsehen; die Codierung von auditiven oder Positions-Daten; Anwendungen im Bereich von Timingverfahren in der Elektrophysiologie; Messtechniken in der Physik, Chemie und Biologie; sowie präzise Zeitmesstechniken in der Kernphysik.²⁰⁹

Zudem gäbe es einen weiteren Anwendungsbereich, über welchen – so hieß es 1949 – „very little has been done as yet.“²¹⁰ Denn „the more promising use of these pulse techniques“, wie es in medienwissenschaftlicher Retrospektive angesichts der ingenieurmäßiger Nüchternheit der Aussage im Unterschied zu ihrer epistemischen Tragweite verblüfft, „appears to be in the sequential or digital computers.“²¹¹ Fast beiläufig erschien diese Aussage in der *Rad Lab Series* – schließlich ließ sich 1949 nicht absehen, dass digitalen Computern künftig überhaupt irgendeine Relevanz jenseits exklusiver Laboranwendungen zukommen würde. Daher

208 Glasoe/Lebacqz (1948): „Preface“, ix. Der Vollständigkeit halber sei erwähnt, dass kurze Radioimpulse bereits bei der technischen Erforschung der Höhe der Ionosphäre Verwendung fanden, Appleton, Edward Victor/Builder, G. (1931): „A Simple Method of Investigating Wireless Echoes of Short Delay“, in: *Nature* 127, 970. Allerdings blieb die Verwendung von Impulstechniken in den Folgejahren vornehmlich auf diese exklusive Anwendung beschränkt.

209 Vgl. Glasoe/Lebacqz (1948): „Preface“, ix-x.

210 Chance, Britton (1949): „Uses of Waveforms“, in: Chance/Hughes/MacNichol/Sayre/Williams: *Waveforms*, 7-8, 7.

211 Ebd., 8.

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.

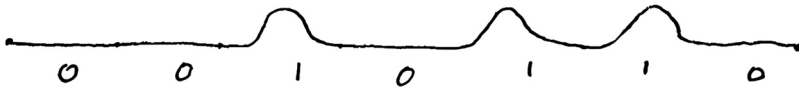


Abbildung 42: Hinreichende Unterscheidbarkeit von Spannungsunterschieden ‚in the scale of two‘ (Turing). Eine Computer Clock diktiert Zeitpunkte, zu welchen geprüft wird, ob eine höhere oder niedrigere Spannung vorliegt – basierend auf einer kontinuierlichen Schwingung.

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 Computing*²²⁴ 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 Illustration 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.: *Drahtlose Vermächtnis. Technische Schriften*, Leipzig, 182-206, 205.

welches im November 1939 eingereicht wurde.²³⁹ Reeves beschäftigte sich originär mit der Rauschreduzierung in der Telefontechnik. In der Langstreckentelefonie ihrerzeit addierte sich Rauschen, wenn ein fortwährend schwächer werdendes Sprachsignal während einer langen Übertragungsstrecke mitunter mehrfach verstärkt werden musste. Dabei wurde das irreduzible Grundrauschen ebenso verstärkt – womöglich bis zur akustischen Unverständlichkeit des Sprachsignals.

Im Patent konzeptualisierte Reeves eine Übertragungsanordnung, in welcher nicht ein analoges Signal als solches übertragen wurde, sondern quantitative Informationen *über* dieses Signal. Wird die Amplitude eines kontinuierlichen Signals zu definierten Zeitpunkten im gleichen Intervall näherungsweise bestimmt; dieser Wert pulscodiert; diese Pulscodierung an einen Empfänger gesendet; und dort das originäre Signal wieder rekonstruiert – dann realisiert sich eine Übertragung, die wesentlich unbeeinflusst von Rauschen ist. Reeves schlug damit eine quasi-digitale Lösung des Rauschproblems in der Langstreckentelefonie vor. Bzw. in den Worten seines originären Patents, das die basale Funktionalität der PCM auch späterer Verfahren beschrieb und eine Übertragungsanordnung formalisierte, die „practically free from any background noise“ ist:

„According to the present invention, a signaling system for transmitting complex wave forms, for example speech, wherein the wave form is scanned at the transmitter at predetermined instants, and at these instants signal elements are transmitted to the receiver is characterised in this, that the amplitude range of the wave form to be transmitted is divided into a finite number of predetermined amplitude values according to the degree of fidelity required. The instantaneous amplitude value of the wave form to be transmitted at each predetermined instant being transmitted in a signal code representing the nearest predetermined amplitude value above or below said instantaneous amplitude value.“²⁴⁰

Ein epistemisches Novum der PCM bestand mithin in der Quantisierung zu übertragener Signalamplituden, d.h. in ihrer symbolischen (digitalen) statt physikalischen (analogen) Behandlung. Der Vorteil dieser zahlenmäßigen Erfassung originär wellenförmiger Ereignisse war, dass die derart codierten Signale über potenziell beliebige Entfernungen gesendet werden konnten. Denn die Aussage, ob ein Impuls zu gegebener Zeit prä- oder absent ist, sei leicht zu treffen, wie es 1948 in einer kursorischen „Philosophy of PCM“ hieß:

239 Reeves, Alex Harley (1939): „Electric Signaling System“, United States Patent Office No. 2.272.070. Filed Nov. 22, 1939, Patented Feb. 3, 1942.

240 Ebd., 1.

„By using binary (on-off) PCM, a high-quality signal can be obtained under conditions of noise and interference so bad that it is just possible to recognize the presence of each pulse. Further, by using regenerative repeaters which detect the presence or absence of pulses and then emit reshaped, respaced pulses, the initial signal-to-noise ratio can be maintained through a long chain of repeaters.“²⁴¹

Zur Zeit der Einreichung des Patents von Reeves war die PCM bloße Theorie. In der Praxis standen in den 1930er Jahren elaborierte Impulstechniken zur Codierung analoger Klangsignale nicht zur Verfügung. Dementsprechend hielt Maurice Deloraine zum 25. Geburtstag der originären PCM-Idee von Reeves – d.h. zu einem Zeitpunkt, an dem sich die ubiquitäre Signifikanz von PCM für aktuelle Medienkulturen gerade erahnen ließ – fest: „The history of technological development is full of examples of returns to previous concepts that were originally impracticable because the devices necessary to implement them had not been invented.“²⁴² Nach Ausbruch des Zweiten Weltkriegs wurde Reeves wissenschaftlicher Leiter des britischen Air Ministry Research Establishment und konnte sein theoretisches Impulswissen zunächst im Kontext von Radar implementieren. So war er an der Entwicklung des Navigationssystems Oboe (*Observer Bombing Over Enemy*) beteiligt. Zudem konnte mit den vom Radar vertrauten Impulstechniken nunmehr auch seine Idee der PCM praktisch werden. Im historischen Kontext waren es zwei Übertragungsnetze, in welchen die Theorie der PCM Anwendung erfuhr: im verschlüsselten Telefonsystem SIGSALY – auch als ‚the Green Hornet‘ bekannt – sowie im kanadischen Luftraumüberwachungssystem DATAR.

Das kryptographische Telefonsystem SIGSALY, das im Juli 1943 in Betrieb genommen wurde, sicherte zu Zeiten des Zweiten Weltkriegs die Telefonkommunikation der höchsten militärischen Ebenen der Alliierten. In der Mediengeschichte wurde über dieses meist im Kontext der Sprachsynthese geschrieben, da es einen Vocoder verschaltete.²⁴³ Der in den Bell Labs entwickelte Vocoder war ein technisches Gerät zur Sprachanalyse, das Sprache für ihre telefonische Übertragung in verschiedene Parameter zerlegte; nämlich in ihre verschiedenen Frequenzbänder, um sodann am anderen Ende des Kanals einen Synthesizer zu veranlassen, eine Annäherung an das ursprüngliche Sprachsignal zu rekonstruieren. Das bedeutet, dass nicht ein komplettes Sprachsignal, sondern lediglich seine rele-

241 Oliver, B.M./Pierce, J.R./Shannon, C.E. (1948): „The Philosophy of PCM“, in: *Proceedings of the IRE* 36(11), 1324-1331, 1330.

242 Deloraine, E.M. (1965): „The 25th Anniversary of Pulse Code Modulation: Historical Background“, in: *IEEE Spectrum* 2(5), 56-57, 56.

243 Vgl. z.B. Tompkins, Dave (2010): *How to Wreck a Nice Beach: The Vocoder from World War II to Hip Hop. The Machine Speaks*, New York et al.

vanten Parameter übertragen wurden, irrelevante Dinge hingegen nicht. Zu solcher Irrelevanz zählte im nachrichtentheoretischen Sinn alles, was zur Ästhetik der Stimme gehörte, nicht aber zur Verständlichkeit der gesprochenen Sprache beitrug, also den Informationsgehalt nicht erhöhte. Wichtig war dies einerseits in der Nachrichtentechnik zur Reduzierung der Bandbreite für das Telefon, insbesondere für transatlantische Telefonate; andererseits für die kryptographische Codierung telefonischer Sendungen, um überwachungssichere Verbindungen zu realisieren – wie es mitunter für die Telefonie zwischen Churchill und Roosevelt erforderlich war. Wichtig ist nun, dass diese Übertragung von Sprachsignalen *impulsmoduliert* erfolgte. In einer von der US-amerikanischen National Security Agency (NSA) veröffentlichten Broschüre aus dem Jahr 2000 wird das SIGSALY daher als der „Start of the Digital Revolution“ deklariert. Die Emergenz digitaler Verfahren der Audioreproduktion oder der Telefonie bzw. digitale Datenübertragung als solche findet eine Bedingung im SIGSALY, wie die beiden Autoren der Broschüre darlegen:

„Digital communication, measurement and data techniques are quite commonplace. This fairly recent situation was enabled by many things including the invention of the transistor in 1947 and the later evolution of semiconductor microelectronics techniques. However, the pioneering work for many of these capabilities was performed early in World War II in a successful effort to provide secure voice communications for high-level government officials.“²⁴⁴

Obgleich Behauptungen technologischer Erstmaligkeiten kritisch gelesen werden sollten, ist es bemerkenswert, dass dem SIGSALY acht „firsts“ bescheinigt wurden, von denen drei hier relevant sind: die erste Realisierung von abhörsicherer, verschlüsselter Telefonie; die erste Übertragung quantisierter Sprachsignale; sowie die erste Übertragung von Sprache auf Basis von PCM.²⁴⁵ In der Rede des Vorsitzenden der Bell Telephone Laboratories, Oliver Ellsworth Buckley, zur Inbetriebnahme von SIGSALY am 15. Juli 1943 wurden bereits die „far-reaching effects“ jener puls-codierten Telefonübertragungen antizipiert, insofern das, *was* übertragen wurde, nunmehr in keinem indexikalischen Verhältnis zu dem stand, *wie* es übertragen wurde: „Speech has been converted into low frequency signals that are not

244 Boone, J.V./Peterson, R.R. (2000): *The Start of the Digital Revolution, SIGSALY: Secure Digital Voice Communications in World War II*, Center for Cryptologic History, National Security Agency, Fort George Meade in Maryland, 1.

245 Bennett, William R. (1983): „Secret Telephony as a Historical Example of Spread-Spectrum Communication“, in: *IEEE Transactions on Communications* 31(1), 98-104, 99.

speech but contain a specification or description of it.”²⁴⁶ Die Sendung kontinuierlicher Wellen wurde zugunsten von Impulsübertragungen verlassen und sollte richtungsweisend für künftige Techniken der Übertragung und Prozessierung von Akustik werden.

Ebenso impulsbasiert operierte das kanadische computerisierte *battlefield management system* DATAR, dessen Akronym bereits das Digitale im Namen trug: das *Digital Automated Tracking And Resolving*. 1949 begann die Royal Canadian Navy konzeptuelle Arbeit am DATAR, 1953 war das System betriebsfähig. Eine erste Demonstration der Funktionalität des Systems erfolgte 1950 auf Basis des Ferranti Digitalcomputers. Letztlich vornehmlich aufgrund der enormen Menge verschalteter Elektronenröhren wenig praktikabel und leicht der Überhitzung ausgesetzt, wurde das System originär konzipiert, um maximal 64 Ziele über einen Raum von 80x80 Meilen knapp 40 Meter exakt zu orten. Von Interesse, neben der Verwendung von PCM, ist zudem die Form der in diesem Kontext realisierten Mensch-Maschine-Kommunikation. Einerseits wurde diese über Bildschirme praktiziert, andererseits über ein Medium der Bildschirmadressierung: Seit 1952 konnten DATAR-Operateure über einen s.g. Trackball Koordinaten potenzieller Ziele mit einem Cursor auf Radarbildschirmen auswählen und diese Daten an den Computer leiten.²⁴⁷ Was im Dowding System noch genuin an menschliche Fertigkeiten und Expertise gekoppelt war, fand nunmehr halbautomatisiert in Verbundschaltung mit einem Digitalcomputer statt.

Es gilt festzuhalten, dass die Impulstechniken des Radars zunächst Verwendung für Digitalcomputer fanden; und diese ersten Digitalcomputer wiederum wurden im Falle von DATAR an Radarbildschirme gekoppelt, um Menschen, Radaranlagen und Computer in ein geschlossenes Feedback-System der echtzeitlichen Datenverarbeitung zu integrieren. Dadurch wurde der Aspekt des *Interfacing* essenziell. Dementsprechend gilt im Folgenden dem Status von Radarbildschirmen besondere Aufmerksamkeit.

246 Zit. n. Boone/Peterson (2000): *The Start of the Digital Revolution*, 15. Eine ausführlichere technische Beschreibung des SIGSALY liefert Kahn, David (1984): „Cryptology and the Origins of Spread Spectrum“, in: *IEEE Spectrum* 21(9), 70-80.

247 Boslaugh, David L. (1999): *When Computers Went to Sea. The Digitization of the United States Navy*, Los Alamitos et al., 62. Vertiefend hierzu Vardalas, John (1994): „From DATAR to the FP-6000 Computer: Technological Change in a Canadian Industrial Context“, in: *IEEE Annals of the History of Computing* 16(2), 20-30.

Bidirektionale Bildschirme: graphische User-Interfaces

Radar war von Beginn an eine genuine Bildschirmstechnologie. Kann man sich das Medium Fernsehen nur schwerlich ohne einen Bildschirm vorstellen, gilt dasselbe für Radar.²⁴⁸ Die Radar-„Displays“, wie die Radarbildschirme im historischen Kontext genannt wurden,²⁴⁹ waren eine Notwendigkeit, um Menschen an elektromagnetischen Ortungen teilhaben zu lassen. Aber mehr noch: Entscheidend ist, dass Radar im historischen Kontext dieser Arbeit ein ausschließlich bildgebendes Medium war, kein datengebendes. Bild- und datengebende Verfahren waren strikt getrennt.²⁵⁰ Zwar lautet die Rhetorik der Quellen anders, insofern dort betont wurde, das „cathode-ray-tube display“ sei „the most effective method of data indication for the purposes of distance measurement“.²⁵¹ Allerdings war die als Delaymessung ausgestaltete Entfernungsmessung auf dem Radarbildschirm Dienstaufgabe der Bedienenden: Bildgebung war ‚Sache des Mediums‘, Datengebung war genuin menschliche Fertigkeit. Und diese Fertigkeit erforderte eine Arbeit an und in elektronischen Bildern und realisierte Bildschirmpraktiken, wie sie in unserer aktuellen Medien- als ‚screen culture‘ normativ geworden sind. Daher waren die Bildschirme des Radars als *bidirektionale* Interfaces konzipiert. Von Interesse sind im Folgenden drei Dinge: die Datafizierung von Delays; die Funktionalität der Radarbildschirme; und die Produktivität von Radarbildschirmen jenseits ihres originären Kontextes.

Im Unterschied zum analogen Fernsehen wurde beim Radar nicht nur rezipiert – also auf ein Universum technischer Bilder geschaut –, sondern mit dem technischen Bild interagiert und dieses manipuliert, wenn auch zunächst nur mit den eingangs erwähnten Winkelmessern und Knöpfen sowie der „fruit machine“.

248 Ähnlich fasste es Henry Guerlac zusammen: „It is hard to imagine radar without the cathode-ray oscilloscope.“ Guerlac, Henry (1950): „The Radio Background of Radar“, in: *Journal of the Franklin Institute* 250(4), 285-308, 292.

249 Die sichtbare Oberfläche der Bildröhre des Radars wurde Display genannt, die Röhre entsprechend Display Tube oder Scope, vgl. Haworth, L.J. (1947): „Types of Radar Indicators“, in: Ridenour (Hrsg.), *Radar System Engineering*, 161-175, 161. Ein Band der MIT *Rad Lab Series* trug diese Bezeichnung bereits prominent im Titel: Soller, Theodore/Star, Merle A./Valley, George E. (1948) (Hrsg.), *Cathode Ray Tube Displays* (MIT Radiation Laboratory Series 22), New York.

250 Eingehender hierzu Thielmann, Tristan (2018): „Der einleuchtende Grund digitaler Bilder. Die Mediengeschichte und Medienpraxistheorie des Displays“, in: Ursula Frohne/Lilian Haberer/Annette Urban (Hrsg.), *Display/Dispositiv. Ästhetische Ordnungen*, Paderborn, 525-575.

251 Chance, Britton (1949): „General Considerations“, in: Chance/Hulsizer/MacNichol/Williams (Hrsg.), *Electronic Time Measurements*, 178-180, 178.

Der Screen stellte die systemische Schnittstelle dar, welche Menschen und Radare miteinander in Beziehung setzte und realisierte ein erstes bildschirmbasiertes, bi-direktionales *human-machine-interface* (vgl. das Cover dieses Buchs). Erst diese Kopplung von Radar mit Menschen, d.h. die Integration menschlicher Akteure in den Radar-Feedbackloop, realisierte die Medienfunktion der Ortung. Ohne *human operator* war eine Radarortung bloß ein visueller Blip – ohne Daten, ohne Speicherung, ohne Prozessierung. Es galt in der Praxis des Radars, die Zielidentifikation als manuelle Operation des „pip“ bzw. „blip matching“ am Bildschirm vorzunehmen. Die Radarbedienerin sah die auf dem Bildschirm visualisierten Radarechos und nutzte ein Handrad, um einen Ausschlag auf der Grundlinie des Screens auszuwählen, d.h. zu entscheiden, was ein tatsächliches Echo darstellte. Dieser Blip und nicht das Radarecho in Gänze galt als Signal.

Das Radar-Display visualisierte also allein Delays. Wie schon im Falle von Hermann von Helmholtz erlaubte das chronographische, nunmehr elektrotechnische Regime von Radar ein „measuring time in terms of distance“,²⁵² wobei diese Zeitmessung bei entsprechender Skalierung der s.g. Zeitlinie des Bildschirms mit einer Distanz im Georaum idealerweise korrelierte. Elektronisch visualisiert wurden mithin mikrotemporale Verzögerungen zwischen Senden eines Impulses und Empfangen seines Echos. Noch grundlegender formuliert, visualisierten frühe Radarbildschirme unsichtbare elektromagnetische Phänomene in ihrer Zeitlichkeit, die durch die kontrollierte Manipulation der Bewegung des Elektronenstrahls einer Kathodenstrahlröhre Bilder ergaben, die von Bedienenden gelesen werden konnten.²⁵³ Grundsätzlich basierten die gängigsten Radarbildschirme auf der hori-

252 Hulsizer, B.I./Williams, Frederic C. (1949): „Techniques of Automatic Time Measurement“, in: Chance et al. (Hrsg.), *Electronic Time Measurements*, 275-340, 276.

253 Diese neue Bildlichkeit zu lesen, musste erlernt werden. Das Interpretieren des Radarbildes erforderte Übung, um eine Expertise zu entwickeln, welche Semantik dem technischen Bild innewohnte. So beschrieb das Rad Lab das ‚Lesen‘ des Bildschirms von Bordradaren in Anlehnung an das ‚Lesen‘ von Röntgenaufnahmen: „It is equivalent to analyzing an X-ray in which bright blobs must be recognized as towns and cities, dark spots as lakes or mountain shadows. (...) At least 25 to 50 hours of actual operating experience are required to learn the proper technique to make railroads, buildings, etc. stand out clearly.“ Hagler, D.L. et al. (1947): „Characteristics of Airborne Radar“, in: Hall (Hrsg.), *Radar Aids to Navigation*, 89-121, 105. Erlernt werden musste dieses Lesen nicht unter den Bedingungen tatsächlicher Flüge, sondern konnte auf US-amerikanischer Seite ab 1943 im kontrollierten Umfeld von Simulationen mit dem „supersonic radar trainer“ stattfinden. Gelände wurde dabei mit Materialien wie Glas oder Sand simuliert, welche in einem Wasserbecken per Ultraschall im Sonarverfahren detektiert wurden, was auf Radarbildschirmen zu ähnlichen Bildern führte wie unter tatsächlichen Bedingungen von Bordradaren. Vgl. Bray, Douglas W. (1947): „Standardized Performance Checks“, in: Stuart W. Cook (Hrsg.), *Psychological Research on Radar Observer*

zontalen und vertikalen Ablenkung eines Elektronenstrahls. Auf dem „A-Scope“ schrieb der Strahl eine horizontale Grundlinie – die Zeitlinie –, auf welcher empfangene Radarechos als vertikale Ausschläge visualisiert wurden (vgl. Abb. 43 links). Verfügte eine Radarstation über eine um die eigene Achse um 360° drehbare Antenne, und wurde diese Drehung mit der Zeitschreibung auf dem Screen synchronisiert, konnte eine quasi-kartographische Darstellung des georteten Luftraums stattfinden: Die Position der Radarstation wurde auf dem Screen zentral dargestellt, sämtliche Reflektoren erschienen als Punkte um die Station herum. Bilder von in Flugzeugen integrierten Bordradaren folgten einer ähnlichen Bildsprache (vgl. Abb. 43 rechts). Diese Darstellung mit dem s.g. Panoramaradar bzw. „Plan Position Indicator“ (PPI) stellt die noch heute gemeinhin mit dem Radarbildschirm assoziierte Bildform dar, die auch Einzug in das populäre Imaginäre hielt und in Video- und Computerspielen anzutreffen ist.

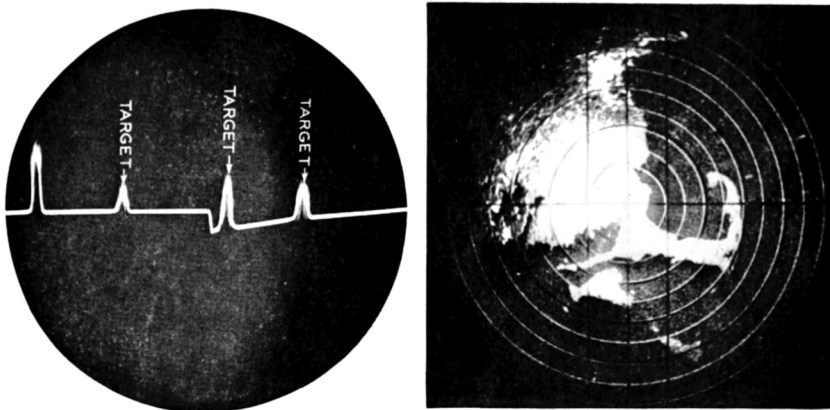


Abbildung 43: Links die Visualisierung von Echos auf dem Radarbildschirm in Amplitudendarstellung („A-Scope“); rechts der „Plan Position Indicator“: eine quasi-kartographische Darstellung von Radarechos, hier eine Radar-Luftbildaufnahme des Gebiets um Boston, MA.

„The measurement of range by means of radar is thus a straightforward problem of time measurement“,²⁵⁴ fasste man seitens des Rad Lab zusammen. Dass Radar von Anbeginn an genuines Bildschirmmedium war, liegt in der Verwendung von Kathodenstrahlröhren als Instrumenten mikrot temporaler Delaymessung begrün-

Training (Army Air Forces Aviation Psychology Program Research Reports 12), Washington, D.C., 95-125, 106-107.

254 Ridenour, Louis N. (1947): „How Radar Works“, in: ders. (Hrsg.), *Radar System Engineering*, 3-6, 6.

det. Radarbildschirme sind als *Uhren* beschreibbar, die chronographisch, d.h. zeit-schreibend operierten, sodass das Ergebnis von Delaymessungen als Bild erschien. Im Unterschied zur medialen Infrastrukturierung vergleichsweise langer Zeiträume, waren Bildschirme die idealen Instrumente elektromagnetischer Delayvisualisierungen, wie ihnen die Bell Labs bereits 1932 attestierten: „For recording long times we have clocks and calendars; for making a record of happenings that take place in a time too short for us to think of, we use oscillographs.“²⁵⁵ Aus diesem Grund führten bereits Breit und Tuve ihre Delaymessung der Höhe der Ionosphäre mit Kathodenstrahlröhren als bildgebenden Anzeigern von mikrotemporalen Zeitdifferenzen durch.

Bezeichnend ist, dass Radarbildschirme als Instrumente der Zeitmessung im historischen Kontext nicht auf *einen* Darstellungsmodus beschränkt waren – und dies stellt eine wesentliche Grundlage ihres späteren Medienwerdens dar. Blieben bild- und datengebende Prozeduren beim frühen Radar zwar strikt getrennt, waren die Bilder variant, was hinsichtlich der weiteren Genese elektronischer Bildschirmtechniken hin zu einem postdigitalen Verständnis des Screens relevant ist: Empfangene Echos konnten vielfältig dargestellt werden, d.h. visualisierte Signale konnten diverse Gestalten annehmen. Modern ist diese Ausprägung elektrotechnischer Bildlichkeit, weil sie eine Künstlichkeit des Bildes begründete. Besonders sind Radarbildschirme mithin, da sie grundlegend bidirektionale Interfaces waren – also Interaktion zwischen *human operator* und technischem System ermöglichten – und als Form bildgebender Verfahren multivariante Repräsentationsmodi von Radarechos anboten. Was bildlich zur Darstellung kam und was nicht, war durch technische Verfahren der Manipulation präfiguriert, wie bspw. die Festzielunterdrückung (auf englisch: *moving target identification*). Ebenso war es möglich, nur Echos für einen bestimmten Zeitbereich, d.h. von einer bestimmten Entfernung zur Radarantenne, zu visualisieren und sämtliche anderen Echos zu unterdrücken.²⁵⁶ Und auch die Echodarstellung selbst konnte verschiedene Formen annehmen (vgl. Abb. 44). Es war diese der Bildlichkeit vorgelagerte Manipulation elektronischer Signale, die Radar als eine Wahrnehmungstechnologie charakterisierte und einen bis dato unbekannten Wahrnehmungsraum des Synthetischen aufspannte. Radarbilder unterschieden sich von anderen Formen medialer Bildlichkeit wie dem photographischen oder kinematographischen Sichtbarkeitsregime. Wenn Charlie Gere den Wahrnehmungsraum, den Radar eröffnete, *indexika-*

255 Johnson, J.B. (1932): „The Cathode Ray Oscillograph“, in: *The Bell System Technical Journal* 11(1), 1-27, 1.

256 Williams (1949): „Basic Concepts and the Method of Approach“, 13.

lisch‘ nennt,²⁵⁷ erstaunt diese Fehlinterpretation der Medientechnik. Radar basierte zum ersten Mal in der Geschichte von Bildmedien auf Verfahren, die durch die konsequente und fortwährende elektronische Manipulation des zu generierenden Bildes gekennzeichnet waren.

Bei den frühen Repräsentationsmodi des Radars war ein „computational screening“ im Sinne Bernard Geoghegans virulent, auch, wenn die Berechnungen nicht automatisiert, d.h. computerisiert durchgeführt worden waren und Geoghegan den Begriff auf historisch späteres Radar bezieht. Der Begriff bezeichne „the productive integration of visualization technologies (that is, screen displays) and information processing (the screening and filtering of incoming data) that gave birth to digital graphics.“²⁵⁸ Entscheidend ist, dass Radarbildschirme als Medien, die Radar und Bedienende synthetisierend miteinander in Beziehung setzten oder gar als Kooperationsbedingung zwischen Mensch, Radar und Computer fungierten – wie im Falle des kanadischen Informationssystems DATAR –, aus der exklusiven militärischen Luftraumüberwachung in *andere* Umgebungen transferiert wurden. In der Terminologie von Thomas Kuhn handelte es sich beim Radar nämlich um einen bild-technischen und bildschirm-praktischen Paradigmenwechsel, der weitreichende Konsequenzen für digitale Medienkulturen entfalten sollte.²⁵⁹

257 Gere schreibt: „The radar screen is arguably the most indexical technology of representation ever devised, presenting as it does nothing more than a visual trace of the objects it tracks.“ Gere, Charlie (2006): „Genealogy of the Computer Screen“, in: *Visual Communication* 5(2), 141-152, 151.

258 Geoghegan, Bernard Dionysius (2019): „An Ecology of Operations: Vigilance, Radar, and the Birth of the Computer Screen“, in: *Representations* 147(1), 59-95, 59-60.

259 Kuhn, Thomas S. (1962): *The Structure of Scientific Revolutions*, Chicago, Ill.

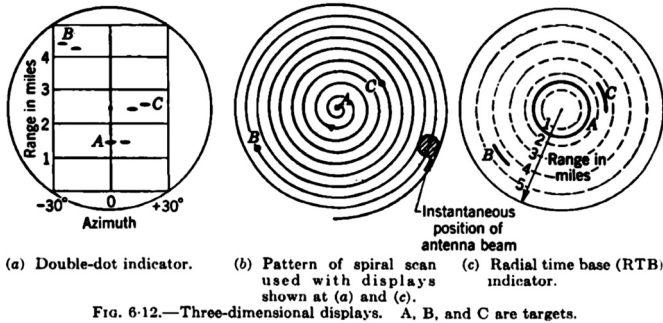
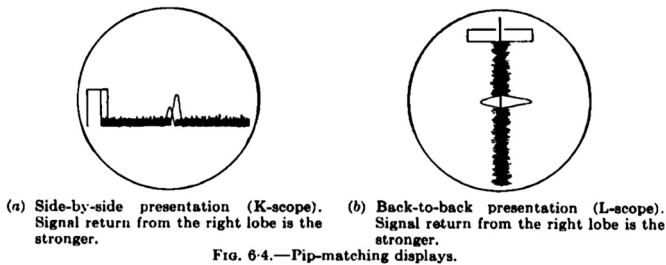
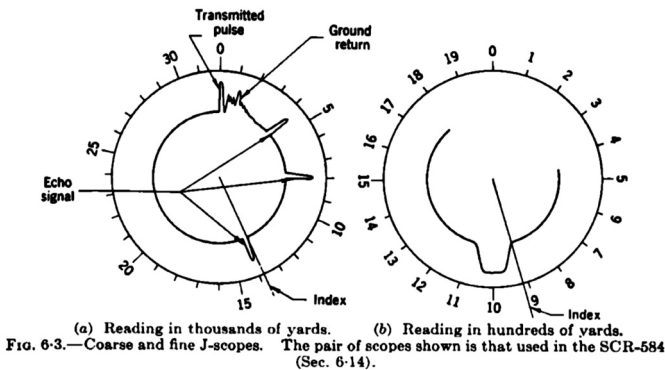
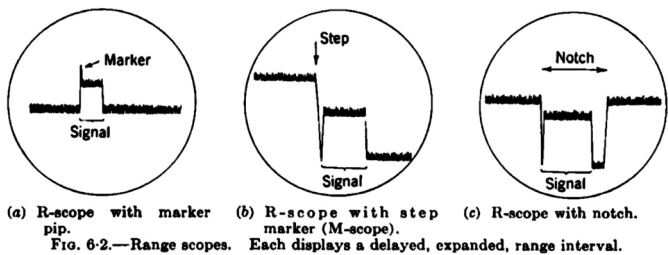


Abbildung 44: Variante Repräsentationsmodi von Radarechos aus einer Quelle von 1947.

Bereits bevor Bildschirme an Computer gekoppelt wurden, war es ein unscheinbares Spiel, das für die seinerzeit künftige genealogische Entwicklung von Radarbildschirmen und visuellen Radarlogiken *jenseits* von Radar programmatisch war. Wenngleich es weder wirtschaftlichen Erfolg bescherte noch als frühes Videospiel bezeichnet werden sollte, ist besonders, dass im US-Patent unter dem bezeichnenden Titel „Cathode-Ray Tube Amusement Device“ von 1947 die aus dem Radar vertraute Logik der Feinddetektion im Kontext der Luftverteidigung zum Spiel avancierte. Die verwendete CRT diente nicht der Anzeige elektromagnetisch lokalisierter Objekte des Luftraums. Sie zeigte nunmehr simulierte Flugzeuge, die es durch Ablenkung der Zeitlinie des Elektronenstrahls durch die Drehung von Knöpfen zu zerstören galt: Die Zeitlinie fungierte in diesem Setting als Simulation der ballistischen Trajektorie eines Geschosses.²⁶⁰ Dies stellte die vermutlich erste Verwendung einer Braun'schen Röhre zum Zweck eines echtzeitlichen Spiels dar. Seine beiden Entwickler, die Physiker Thomas Goldsmith und Estle Ray Mann, waren inspiriert vom Radar, auch arbeitete Goldsmith im Zweiten Weltkrieg an Radarbildschirmen.

Diese zivile Entkopplung des Radarbildschirms aus seinen exklusiv militärischen Kontexten hatte Potenzial, das sich nicht im Spielerischen erschöpfte. Um 1950 erkannten Ingenieure u.a. am MIT den Nutzen der bidirektionalen Displays des Radars als graphische Interfaces erster Digitalcomputer zur echtzeitlichen Mensch-Maschine-Kommunikation.²⁶¹ Befördert wurde diese Medienkonvergenz durch die Biographien der frühen Pioniere von Digitalcomputern, denn diese hatten meist einen Hintergrund in der Radartechnik. Der Vorteil praktischer Radarerfahrung für die Entwicklung von tendenziell intuitivem Mensch-Computer-Schnittstellendesign wird bei Douglas Engelbart explizit. Engelbart, der bezeichnenderweise während seiner Zeit als Radartechniker zum Ende des Zweiten Weltkriegs auf den Philippinen Vannevar Bushs kanonischen Aufsatz „As We May Think“ las,

260 Goldsmith, Thomas T./Mann, Estle Ray (1947): „Cathode-Ray Tube Amusement Device“, United States Patent Office 2.455.992, Filed January 25, 1947, Patented December 14, 1948. Dass auch frühe Computerspiele nichts weiter taten, als die militärische Logik des Zielbeschusses in Modi der Kooperation zu wenden – wie bei *Tennis for Two* – oder die Umweltlichkeit von Radar bei gleichbleibender Logik der Zielauslöschung in andere Umgebungen wie den Weltraum zu übertragen – wie bei *Spacewar!* –, ist bereits betont worden, vgl. bspw. Pias, Claus (2000): *Computer Spiel Welten*, Dissertation, Bauhaus-Universität Weimar, insb. 11 u. 63-64. Zur potenziellen Gleichheit von militärischem Ernstfall und seiner spielerischen Simulation hinsichtlich der verwendeten symbolischen Operationen vgl. von Hilgers, Philipp (2012): *War Games: A History of War on Paper*, Cambridge, MA/London.

261 Medienarchäologisch vertiefend zu den Ursprüngen heute ubiquitärer Screens und graphischer Mensch-Computer-Interaktion vgl. Gaboury, Jacob (2021): *Image Objects. An Archaeology of Computer Graphics*, Cambridge, MA/London.

schrrieb später, 1996, in der Retrospektive über den Technologietransfer des Radarbildschirms in die Computertechnik Folgendes:

„I think it was just within an hour that I had the image of sitting at a big CRT screen with all kinds of symbols, new and different symbols, not restricted to our old ones. (...) I knew about screens, and you could use the electronics to shape symbols from any kind of information you had. If there was information that could otherwise go to a card punch or a computer printer, that they had in those days, you could convert that to any kind of symbology you wanted on the screen. That just all came from the radar training, and the engineering I had too, knowing about transistors. It's so easy for the computer to pick up signals, because in the radar stuff, you'd have knobs to turn that would crank tracers around and all. So the radar training was very critical, about being able to unfold that picture rapidly.“²⁶²

Engelbarts Computervision, insbesondere hinsichtlich des Interfaces und seiner ‚symbology‘, war explizit inspiriert von Radar, auch, wenn er von vereinfachenden Adaptionen absah. Der durch den Radarbildschirm eröffnete symbolische Raum stand für ihn emblematisch für eine „virtual datascape“,²⁶³ dessen Mensch-Maschine-Schnittstelle die bis dato fast ausschließlich auf Papier beruhende Konzeption von User-Technologie-Beziehung ersetzte. Damit konnte eine neue, auf visueller Basis beruhende Kooperationsbedingung etabliert werden: Eine, die Mensch-Maschine-Kommunikation nicht über Lochkarten und Drucker realisierte, sondern sich durch und in Bildern symbolisierte. Der Digitalcomputer in seiner bekannten Formatierung – basierend auf Impulstechnik und mit einem *graphical user interface* – erweist sich damit als Ko-Emergenz aus Digital- und Radartechnik.

Eine medienhistorisch ebenso interessante Retrospektive auf die frühe Formatierung späterer Digitalcomputer findet sich bei Norman H. Taylor, einem Systemingenieur von SAGE und Mitentwickler des Whirlwind-Computers. Bezeichnenderweise berücksichtigte seine Retrospektive die für graphische Schnittstellen notwendigen Medien der Adressierung mit, um eine Mensch-Maschine-Interaktion zu ermöglichen. 1989 rekapitulierte er das Problem der Adressierung von Bildpunkten auf der Williams-Bildspeicherröhre, die eine quasi-digitale Zweckentfremdung analoger Radarbildschirme darstellte:

„Now, these points of light really were a picture of the deflection system of the storage tubes in Whirlwind I. We had a program called the Waves of One. Waves of One ran through the

262 Zit. n. Bardini, Thierry (2000): *Bootstrapping. Douglas Engelbart, Coevolution, and the Origins of Personal Computing*, Stanford, 12.

263 Ebd., 165.

storage tubes as a test. If we read a one, the program continued, and if it didn't, it stopped. We were asking how we can identify the address of that spot. So Bob Everett, our technical director, said 'we can do that easily'. All we need is a light gun to put over the spot that stops and we'll get a readout as to which one it is. So he invented the light gun that afternoon and the next day we achieved man machine interactive control of the display – I believe for the first time. This was late '48 or early '49.²⁶⁴

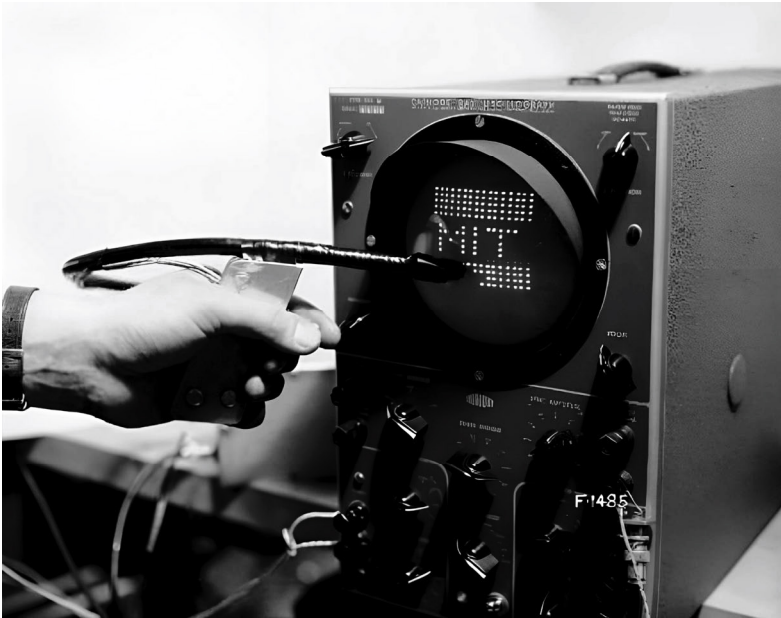


Abbildung 45: Synthetische Schriften auf einer Kathodenstrahlröhre und eine Light Gun als Medium der Adressierung von Bildschirmpunkten.

Mit anderen Worten wurden Radarbildschirme zunächst mit den nach Frederic Calland Williams benannten Williamsröhren als Speichereinheiten – die im Zitat genannten „storage tubes“ – zweckentfremdet. Diese hatten die Eigenschaft, ihren Speicher sichtbar zu präsentieren.²⁶⁵ Dabei war die Möglichkeit gegeben, den Speicherinhalt derart zu programmieren, dass das Speicherbild symbolische Botschaften präsentierte, wie etwa den Schriftzug „MIT“ (vgl. Abb. 45) oder den Namen des

264 Taylor, Norman H. (1989): „Retrospective“ (Review of the first 10 Years of Displays from '47 to '57), in: *SIGGRAPH '89 Panel Proceeding, Special Session: Retrospectives I: The early Years in Computer Graphics at MIT, Lincoln Lab and Harvard*, 20-25, 20.

265 Vgl. Gaboury, Jacob (2018): „The Random-Access Image: Memory and the History of the Computer Screen“, in: *Grey Room* 70, 24-53.

Reporters Edwin R. Murrow, der sich das vom Speicher- zum Bildmedium umfunktionierte technische Objekt Ende der 1940er ansah. Von Seiten der MIT-Konstrukteure war man sich der potenziell effektiven und effekteischenden Wirkung synthetischer Bildschirmschriften bewusst – im Unterschied zu ihrem informatischen Substrat –, wie Taylor kommentierte: „It was clear that displays attracted potential users – computer code did not.“²⁶⁶ Der Bildschirm als intuitives Interface der Mensch-Maschine-Kommunikation und -Interaktion deutete sich hier an. Es konnte eine Teilhabe am speicherprogrammierbaren Code-Subface technologischer Artefakte auf ihrem Surface stattfinden – ohne sich mit dem Code selbst beschäftigen zu müssen.²⁶⁷ Displays erlaubten es Usern, in der Mensch-Computer-Interaktion auf eine höhere Abstraktionsebene zu wechseln, die sich nicht mehr als Arbeit am Code verstand, sondern sich graphisch realisierte. Umso bedeutender ist diese frühe Form der Darstellung von Buchstaben, die auf kein bereits anderweitig existierendes Vorbild zu verweisen hatten (vgl. wieder Abb. 45), wenn dies der Mediengeschichte des Fernsehens und Kinos kontrastierend gegenübergestellt wird: Noch die bekannte ‚fliegende‘ Introschrift des originären STAR WARS-Films von 1977 war nicht programmiert worden, sondern es wurde ein tatsächlich geschriebener Text abgefilmt.

Technische Bilder-Schriften mussten also, im Unterschied zu Bildschirmen in ihrer Funktion bei der Radarortung, nicht mehr auf reale, d.h. existente Vorbilder verweisen – bspw. Flugzeuge im Luftraum –, sondern konnten, wie David Link formuliert, „signs of nothing“²⁶⁸ sein. Emblematisch für diesen neuen bildschirmbasierten, graphischen Raum der ‚Zeichen von nichts‘ ist die künstlerische Arbeit von Benjamin Francis Laposky. Um 1950 begann dieser nach eigener Angabe,²⁶⁹ die bis dato in zweckgerichteten Ko-Operationsketten implementierten Delay-Displays von Kathodenstrahlröhren zu ästhetisieren. Er versprach dadurch der künstlerischen Praxis ihrerzeit einen „new approach to design“, der sich – Zitat Laposky – in „visual effects of strange beauty“²⁷⁰ zeigte. Über die Vorteile elektronischer Sig-

266 Taylor (1989): „Retrospective“, 20.

267 Diese terminologische Trias entlehne ich Nake, Frieder (2008): „Surface, Interface, Subface. Three Cases of Interaction and One Concept“, in: Uwe Seifert/Jin Hyun Kim/Anthony Moore (Hrsg.), *Paradoxes of Interactivity. Perspectives for Media Theory, Human-Computer Interaction, and Artistic Investigations*, Bielefeld, 92-109.

268 Link, David (2007): „There Must Be an Angel – On the Beginnings of the Arithmetics of Rays“, in: Siegfried Zielinski/David Link (Hrsg.), *Variantology 2 – On Deep Time Relations of Arts, Sciences and Technologies*, Köln, 15-42, 42.

269 Laposky, Ben Francis (1958): „Electronic Abstracts – Art for the Space Age“, in: *Proceedings of the Iowa Academy of Science* 65(1), 340-347.

270 Laposky, Ben Francis (1953): *Oscillons: Electronic Abstractions. A New Approach to Design*, Cherokee, Iowa, 1.

nalmanipulationen mittels einer Kathodenstrahlröhre im Dienste der Ästhetik schrieb er, das „oscilloscope is highly versatile and has a number of controls which modify the size, shape, brightness and position of the traces which appear on the scope screen.“²⁷¹ Damit beschrieb er lediglich das, was Radarbedienenden seit Ende der 1930er Jahre als Teil beruflicher Praxis vertraut war: Die via Elektronenstrahl generierten technischen Bilder konnten durch haptische Steuerungseingaben verändert werden. Die erzeugten Graphiken, die Laposky „Oscillons“ nannte (vgl. Abb. 46), könnten kunsthistorisch der Tradition des Abstrakten bzw. Absoluten Films zugerechnet werden. Dessen Vertreter:innen waren seit den 1920er Jahren auf visuelle Wirkung statt kinematographische Narration bedacht. Medienhistorisch bedeutsamer ist jedoch, dass Displaygraphiken im Kontext jener elektronischen Abstraktionen auf Signaleingaben fußten, die nicht als Spuren realer Signifikate galten. Es kam zu einer Emanzipation des Symbolischen vom Realen bzw. einem Take-Off der Symbole. Der durch Radar eröffnete symbolische Bildraum war Teil künstlerischer Praxis geworden. Radardenken artikulierte sich graphisch als Bildschirmarbeit in einem Raum synthetischer Bilder und Symbole, der für unser postdigitales Verständnis von Screensymbolik programmatisch ist.

Dementsprechend war es nur ein kleiner Schritt von der Sichtbarkeit eines Programmspeichers bei den Williamsröhren hin zur Visualisierung mathematischer Kurven, wie sie am MIT echtzeitliche Manipulation erfahren hatten. So gelangte man von den originären Delaymessungen auf Radar-Displays zu dynamischen Bildschirmpraktiken des Spielens. Bereits 1949 schrieb der Programmierer Charlie Adams am MIT das vielleicht erste Bildschirmprogramm: das „Bouncing Ball“. Dieses wiederum nahmen Adams und Jack Gilmore als Grundlage, ein elektronisches Bildschirmspiel zu realisieren. Ziel war es bei diesem, durch Frequenzänderungen einen hüpfenden ‚Ball‘ in ein Loch auf einer zum ‚Boden‘ stilisierten, horizontalen Zeitlinie auf dem Display fallen zu lassen (vgl. Abb. 47) – sehr zur Unterhaltung der Beteiligten am MIT und programmatisch für die technische Ausgestaltung künftiger Mensch-Maschine-Interaktionen, da sie allein graphisch und d.h. im besten Sinne ‚oberflächlich‘ stattfand. Die Bildschirminteraktion bedurfte, so Norman Taylor, keiner Professionalisierung mehr, sondern gestaltete sich intuitiv aus: „This kept a lot of people interested for quite a while and it was clear that *man-machine interaction was here to stay. Anyone could turn the frequency-knobs.*“²⁷²

271 Ebd., 2.

272 Taylor (1989): „Retrospective“, 21. Kursivierung C.B.

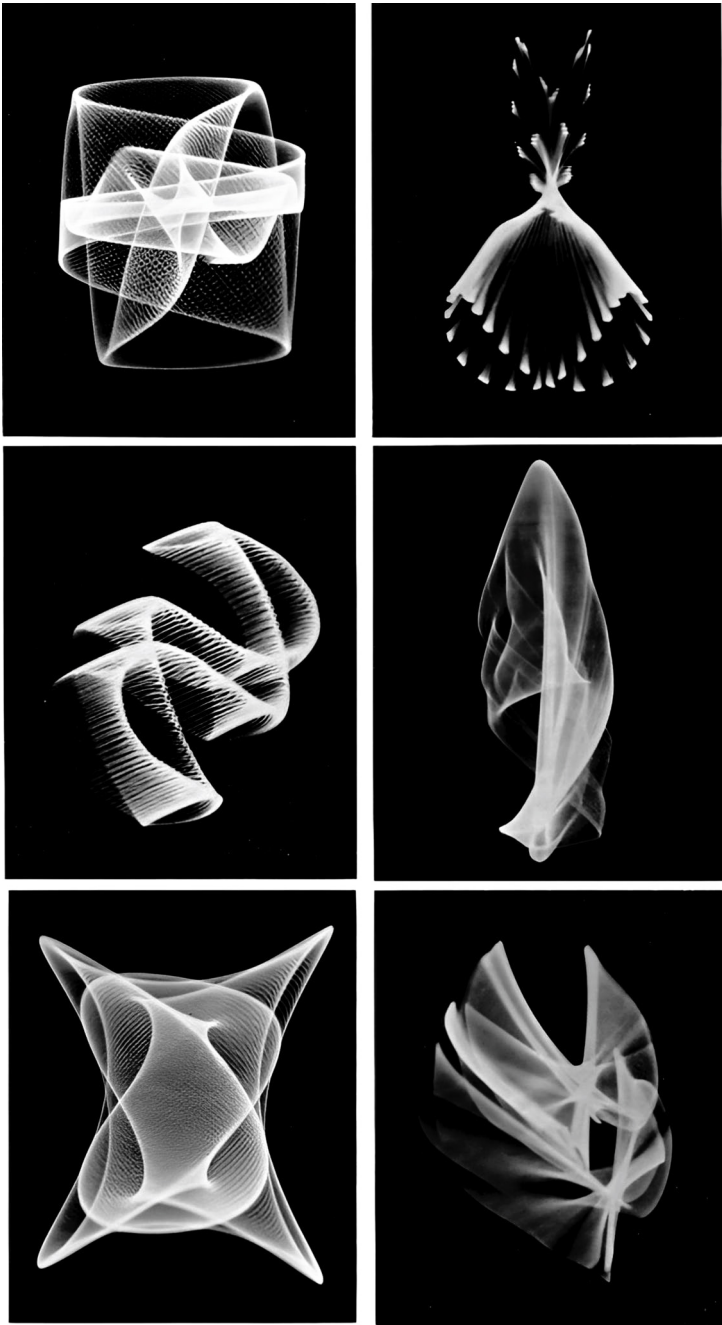


Abbildung 46: „Oscillons“ – einige der „electrical compositions“ von Benjamin Laposky.

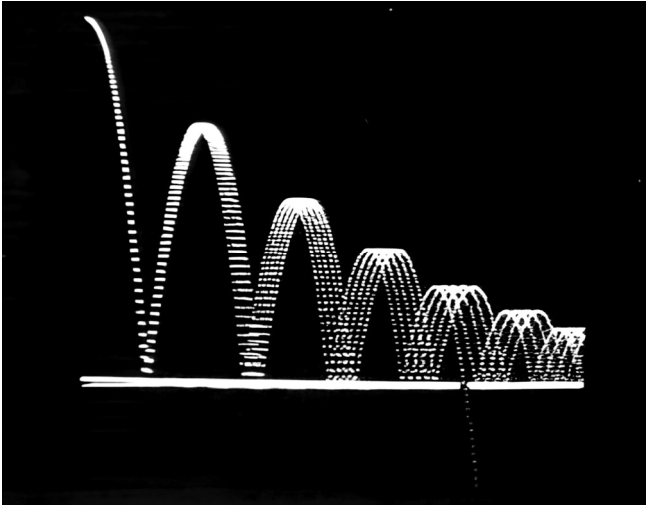


Abbildung 47: Die vom A-Scope des Radardisplays vertraute horizontale Zeitlinie ist nicht länger Skala zur Anzeige entfernter Präsenzen, sondern zur ‚Bodenlinie‘ geworden. Es galt im Spiel durch das Drehen von Knöpfen, einen ‚Ball‘ durch ein Loch in dieser Linie fallen zu lassen.

Ein Jahr nach der Entwicklung des Spiels Bouncing Ball, 1950 – demselben Jahr, als eine an den Whirlwind-Rechner angeschlossene CRT in ihrer Funktion als Echtzeit-Frühwarnsystem das erste Mal Radarsignale von Cape Cod visualisierte²⁷³ –, wurde ein Computer am MIT für eine graphisch ausgeführte Berechnung für eine studentische Abschlussarbeit verwendet. Es galt, die durch bestimmte räumliche Platzierung von Antennen erzeugten Strahlenmuster bildlich zu prüfen. Laut Taylor stellte dies das vermutlich erste „computer aided design program“ dar und – epistemologisch weitreichender – formatierte die möglichen Zukünfte der Kooperation zwischen Menschen und Computern: „So it was clear in 1950 that interactive displays were the real tool to link people with computers“.²⁷⁴

Interagierten britische *radar operators* bereits früher über Winkelmesser und der „fruit machine“ mit elektronisch generierten Bildern, war diese Interaktion nun aus der militärischen Umgebung des Luftkriegs in die nicht minder exklusive Umgebung wissenschaftlicher Labore gewechselt. Dort machten sich die beteiligten menschlichen Akteure nicht mehr Gedanken über die Produktion von Da-

273 Vgl. Pias, Claus (2005): „Die Pflichten des Spielers. Der User als Gestalt der Anschlüsse“, in: Martin Warnke/Wolfgang Coy/Georg Christoph Tholen (Hrsg.), *HyperKult II. Zur Ortsbestimmung analoger und digitaler Medien*, Bielefeld, 313-341, 319.

274 Taylor (1989): „Retrospective“, 21.

ten entfernter Objekte im Luftraum, sondern um das In-Beziehung-Setzen von menschlichen Usern mit rechnenden Maschinen. Und so wurde bereits hier virulent, was Geoghegan dem späteren SAGE bescheinigt: „The screening technologies of midcentury air defense gave rise to the conception of computing as a multimedia collaboration among humans and machines.“²⁷⁵ Der Vorteil von Digitalcomputern in ihrer Echtzeitlichkeit der Datenverarbeitung war nunmehr bekannt; Bildschirme, die ‚Zeichen von nichts‘ präsentierten, waren Realität; die Praktikabilität graphischer Mensch-Computer-Interaktion konturierte sich deutlich; erste elaborierte Techniken der Bildschirmadressierung waren vorhanden – essenzielle Fundamente für die (ihrerzeit noch ungewissen) Zukünfte des Digitalcomputers waren damit gelegt; und zwar als unmittelbare Konsequenz des Radars.

Infrastrukturen der Verarbeitung von Big Data in Echtzeit; die dynamische Verhandlung und Konzeption ganzer Systeme statt die Priorisierung einzelner Komponenten gemäß eines sich formierenden System Designs; mikrotemporale Impulstechniken; binär codierte Datenverarbeitung auf Basis jener Impulstechniken;²⁷⁶ Pulse-Code-Modulation; Transponder- und Sensor-Technologien zur Fernidentifikation; Infrastrukturen zur Navigation auf Basis von Delay im tendenziell globalen Maßstab; bidirektionale Bildschirme zur Mensch-Computer-Interaktion; Medien der Adressierung von Bildpunkten auf digitalen Screens – um 1950 war dies im Kontext von Radar bereits angelegt. Elektromagnetische Delays waren Kern einer Medientechnik geworden und diese zeitigte nachgelagerte Medien, Theorien und Prozesslogistiken, die sich bis in rezente Medienkulturen fortschreiben. Daher endet an dieser Stelle meine Untersuchung der Medienkulturrelevanz des Delaymediums Radar – und damit schließen meine Mediengeschichten der Verzögerung.

275 Geoghegan (2019): „An Ecology of Operations“, 86.

276 Einen Überblick über die 1950 in Betrieb befindlichen Digitalcomputer und ihr technisches Operieren gibt Stifler, W.W. (1950) (Hrsg.), *High-Speed Computing Devices*, York, PA.

Epilog

Teilt man die Annahme der „Übertragung als grundlegende Kategorie medialen Operierens“,¹ folgt daraus, dass ebenso ihre Zeitlichkeit eine Kerngröße medialer Operationen ist. Es erstaunt daher, dass der Zeitindex der Übertragung in den analytischen Klärungen des Begriffs allenfalls eine nachgeordnete Rolle einnimmt. Die Medienwissenschaft vernachlässigte, dass Übertragungen in unterschiedlichen Mediengefügen differente Zwecke erfüllen können. Die logistischen oder gar infrastrukturellen Medien Echolot, Sonar oder Radar basieren mitnichten auf den epistemischen Kommunikationslogiken, die bspw. für das Telefon galten. Umso wichtiger ist eine historische und theoretische Pluralisierung der Übertragung auch deshalb, weil es bezeichnenderweise die um das Delaymedium Radar aufgebaute Infrastruktur des Dowding Systems war, die für rezente Medienkulturen als prozesslogisch programmatisch gelten darf. Neben dem praktizierten Operations Research und System Design etablierte das Dowding System als historisches und epistemisches Novum eine kooperative Verarbeitung von Big Data in Echtzeit als ihr entscheidendes infrastrukturelles Kriterium.

Bereits die antike Episode von Hermes dem Götterboten verkürzte die Funktion der Übertragung auf die räumliche Verteilung von Informationen, welche sich an der Widerständigkeit des Raumes als störender Instanz ausrichtete. Es galt, den Raum mit einer invariant zu haltenden Botschaft vermeintlich zu überwinden. Um gegenüber dem mythologischen Ursprung der personifizierten Übertragung im Kontext elektroakustischer Lektüren zu bleiben, sei auf eine Schrift des Namensgebers von „Sonar“, Frederick Hunt, verwiesen. Dieser attestierte in seinem Buch *Electroacoustics* der ‚Entdeckung‘ der Elektrizität durch Stephen Gray circa 1729,

1 Neubert, Christoph/Schabacher, Gabriele (2012): „Logistik“, in: Christina Bartz et al. (Hrsg.), *Handbuch der Mediologie*, München, 164-169, 168.

über welche dieser später publizierte:² „Few discoveries can be said to have had more profound influence on the course of history than this one, which established that electric energy could be transmitted from a point of origin to some other place where ‚the virtue‘ could be utilized.“³ Epistemischer Kern der Elektrizität bestehe laut Hunt in ihrem Status eines „vehicle for the transmission of intelligence.“⁴ Paul Virilio hat in diesem Sinne Kulturgeschichte als solche unter dem Begriff der „Dromologie“ als ein Ringen um Beschleunigung lesbar gemacht, die sich in einander überbietenden Übertragungstechniken fortschreibt. Dabei können Geschwindigkeits- als Machtvorteile gelten, womit die zeitliche Reduzierung von Übertragungen neben einer logistischen eine immanent politische Dimension trägt.⁵ Demgegenüber stellen Sensormedien der Delaymessungen dezidiert raumbasierte statt vermeintlich -überwindende Prozeduren der Produktion von Daten in und von Umwelten und Körpern dar bzw. können Übertragungen – im Falle von *delay lines* – aufgrund ihrer Zeitlichkeit gar als volatile Speichermodule von Daten gelten.

Die Annahme, die Funktion der Übertragung bestünde darin, die Übertragungsstrecke möglichst kurz und den Übertragungsprozess möglichst schnell zu gestalten,⁶ erscheint stark vereinfacht. Auch soll Übertragung, wie es die Medien des Delays offenbaren, nur bedingt „stets Simultaneität gewährleisten“. ⁷ Im Gegenteil, die hier verhandelten Medien schöpfen ihr praktisches wie epistemisches Potenzial aus der Ungleichzeitigkeit bzw. Chronologie des Sendens und Empfangens. Im Fall von Echolot, Sonar, Radar oder der Sonographie werden Übertragungen nicht nur produktiv, sondern reflexiv, da sie Umwelten und Körper basierend auf Delays verdaten. Damit schreibt sich die Materialität des Raums – bzw. biologisches Gewebe – in die Zeitlichkeit der Übertragung *in actu* ein. Was hier tautologisch anmutet, verweist auf den entscheidenden Punkt, weshalb es sich bei den

2 Gray, Stephen (1731): „A Letter to Cromwell Mortimer, M. D., Secr. R. S. containing several Experiments concerning Electricity“, in: *Philosophical Transactions of the Royal Society* (London) 37, 18-44.

3 Hunt, Frederick Vinton (1954): *Electroacoustics. The Analysis of Transduction, and its Historical Background*, Cambridge, MA, 2.

4 Ebd. Zur eindrücklichen Auseinandersetzung mit dem Phantasma der Instantanität der Elektrizität vgl. Sprenger, Florian (2012): *Medien des Immediaten. Elektrizität, Telegraphie, McLuhan*, Berlin.

5 Vgl. bspw. Virilio, Paul (1977): *Vitesse et politique. Essai de dromologie*, Paris. Aktueller zum Motiv der Beschleunigung ebenso Rosa, Hartmut (2005): *Beschleunigung. Die Veränderung der Zeitstrukturen in der Moderne*, Frankfurt a.M.

6 Laube, Stefan (2018): „Übertragen“, in: Heiko Christians/Nikolaus Wegmann/Matthias Bickenbach (Hrsg.), *Historisches Wörterbuch des Mediengebrauchs* 2, Köln et al., 458-482, 461.

7 Ebd., 470.

Medien des Delays um medientheoretisch und technikhistorisch brisante Artefakte handelt. Sie sind Medien, deren Praktiker:innen die Zeitdimension der Übertragung nicht als einen unvermeidlichen oder gar störenden Nebenaspekt jeder Signalsendung interpretierten, sondern eine Neuevaluation der Übertragung zur Datenproduktion und -speicherung vornahmen.

Delay als flüchtiger und unsichtbarer Akteur ist zu vielen Medien geworden. Er hat sich in unterschiedlichsten Gestalten materialisiert, nimmt Anteil am Erkenntnisgewinn in heterogenen Kontexten – Post, Medizin, Militär, Audioästhetik, Architektur, Computertechnik, Hydrographie – und leistet einen essenziellen Beitrag – wenn auch meist verborgen – zu rezenten Medienkulturen. Es waren elektromagnetische Verzögerungstechniken, die Bildschirme als bidirektionale Interfaces begründeten und die Dringlichkeit der kooperativen, infrastrukturellen Datenverarbeitung in Echtzeit virulent werden ließen; es war das Loran, das wegbebreitend für das heute ubiquitäre GPS war, welches maßgeblichen Anteil an rezenten navigatorischen Alltagspraktiken hat; die Sonographie hat ihren festen Platz in der diagnostischen Medizin; Echolot und Sonar sind essenzielle Sensormedien der auditiven Sondierung der Meere, d.h. der Vermessung der Unterwasserwelt und der Detektion schwimmender Körper; und überhaupt etablierten die hier verhandelten Medien eine moderne Verdattung von Umwelten, die auf der Bewegung von Signalen und Impulsen basiert – weniger auf der Mobilität menschlicher Körper. Dies sind nur einige Beispiele für die Wirkmächtigkeit der Medien der Verzögerung. Damit ist nicht gesagt, die hier historisch untersuchten Medien waren um 1950 bereits derart formalisiert, wie sie es heute sind; bereits ein kurzer Blick in die Geschichte der Sonographie würde das Gegenteil zeigen. Sehr wohl aber hatte sich die Produktivität von Delay in unterschiedlichen Praxisbereichen um 1950 bewiesen und materialisiert. Verzögerung war datenproduzierender und datenspeichernder Akteur worden. Es mag in der Retrospektive zwar selbstverständlich erscheinen, Delay als kritischen Parameter medientechnisch zu operationalisieren, im historischen Kontext war es dies keinesfalls. Noch 1938 war es weder gesichert noch etablierte Meinung, dass gepulsten Radiosignalen je eine praktische Wichtigkeit zukommen würde, wie der US-amerikanische Elektroingenieur William Seeley formulierte: „Actually it was not known, at first [1938], to what uses a system for accurate transmission path length measurement could be put.“⁸

Mit den elektronischen Komponenten der Operationalisierung von Delay war um 1950 ein breites Arsenal an Apparaturen und Wissen vorhanden: bidirektionale Bildschirme standen zur praktischen Verfügung, ebenso tendenziell globale Na-

8 Seeley, Stuart William (1946): „Shoran Precision Radar“, in: *Electrical Engineering* 65(4), 232-240, 232.

vigationsinfrastrukturen, Techniken zur sensoriiellen Durchmusterung von Umwelten und Körpern, mikrotemporale Impulstechniken und Verfahren der Pulse-Code-Modulation; auch die logistischen und industriellen Grundlagen zur Produktion von elektronischem Gerät in großem Maßstab waren durch das Radar erprobt. Die medienhistorische Suchbewegung dieser Arbeit, die dem Akteur Delay auf seinen diskursiven und epistemischen Spuren folgte, endet um 1950, weil dort wesentliche Grundlagen aktueller Medienkulturen gelegt worden waren. Aus einem vermeintlich medienfernen Phänomen der Physik – Delay –, waren Apparaturen, aus Apparaturen Medien und aus Medien Infrastrukturen geworden.

Mein Befund deckt sich mit einer Annahme der Herausgeber der Zeitschrift *Archiv für Mediengeschichte*, die ebenso um 1950 einen medienhistorischen Wendepunkt bzw. eine „Wendemarke“⁹ identifizierten. Dort hatte das 20. Jahrhundert – vornehmlich aus medientechnikhistorischer Perspektive – aufgehört, eine Verlängerung des 19. Jahrhunderts mit anderen Mitteln zu sein und begründete eine ‚Neuartigkeit‘. Dort berührten sich das analoge und das digitale Zeitalter: Ältere Medien wie Film und Fotografie, Zeitungen und Bücher wurden um technologische Verfahren wie die PCM oder erste Digitalcomputer supplementiert. Der durch den Zweiten Weltkrieg getriggerte Zeitenbruch verabschiedete sich von einem nicht nur militärischen Denken, das vornehmlich durch Mechanik, Schlagkraft und Massen an Material, mithin Hardware gekennzeichnet war.¹⁰ Operations Research und System Design emergierten als dynamische Paradigmen der nunmehr logischen Analyse und flexiblen Optimierung von Prozessen und Infrastrukturen. ‚Information‘ und ‚Daten‘ avancierten zu Schlüsselbegriffen, auch einer sich konsolidierenden Wissenschaft der Regelungstechnik namens Kybernetik, und es wurden nachrichtentheoretisch, aber auch technologisch Feedbacks, Rückkopplungsschleifen und digitalisierte Datenprozessierungen und -übertragungen implementiert. Das durch Radar trainierte Denken in informatischen Netzwerken der echtzeitlichen Datenverarbeitung auf diskreter Basis konnte zum emblematischen Bild einer neuen Zeit avancieren, die sich mit einer technologischen Situation konfrontiert sah, in welcher auch ‚Elektronenhirne‘ zum gesellschaftlichen Alltag gehörten.

Die Zeit ‚um 1950‘ sollte nicht als klar konturierter Wendepunkt verstanden werden, sondern als Übergangsphase, die nicht streng datiert werden kann. Und doch hat die Zeit ‚um 1950‘ mit einer Konjunktur der Kybernetik und einer Akzeptanz binär-diskreter Verfahren der Übertragung und Prozessierung und weiteren

9 Engell, Lorenz et al. (2004) (Hrsg.), *Archiv für Mediengeschichte* 4, „1950 – Wendemarke der Mediengeschichte“.

10 Vgl. Hagen, Wolfgang (2018): „Sunday Soviets und Blackett’s Circus. Zur Entstehung des Operations Research aus dem Geiste des Radars“, in: Lars Nowak (Hrsg.), *Medien – Krieg – Raum*, Paderborn, 235-260, 235.

medientechnischen sowie -theoretischen Effekten der Radartechnologie Potenzial, als Paradigmenwechsel identifiziert zu werden. Die Produktivität symbolischer (d.h. digitaler) statt indexikalischer (d.h. analoger) Technologien für künftige Medien war dort erkannt worden. In diesem Sinne hat ein Medium des Delays – Radar – mit seiner spezifischen Nachrichtentheorie, technologischen Formatierung und initiierten Impulsforschung nicht nur die Kybernetik, sondern zudem das Digitale praxeologisch und technologisch getriggert. Ebenso beschreibt Christoph Rosol die Zeit ‚um 1950‘: „Aus dem Pathos der ‚Feststunde der Kybernetik‘ ist neben Materie und Energie eine weitere ontologische Kategorie entstanden: die Information. Damit hat sich zugleich ein Wandel von der Hermeneutik zur Kommunikation, dem Prozesshaften und Werdenden vollzogen.“¹¹

Von Interesse sind auch die heterogenen Ausprägungen von Bildlichkeit, die mit der Implementierung von Delay einhergingen, welche hier nicht vertieft werden kann. Es bleibt festzuhalten, dass Zeit- als Raumdifferenzen normativ für das visuelle Regime von Verzögerungsmessungen waren. Es ergibt sich eine historische Fluchtlinie, die sich von Carl Langhans über Hermann von Helmholtz bis zum frühen Radar nachverfolgen lässt. Auch bei den passiven Distanzmessern auf den Schlachtfeldern in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts galt es, auf analogen Interfaces die relationale Position eines Schwimmers in eine georäumliche Entfernung zu übersetzen. Wenn Langhans eine nahezu akribische Geometrisierung von Schallstrahlen als innenarchitektonische Vektoren verfolgte, korrespondieren diese mit Raumdifferenzen auf ersten Radar- und Sonographie-Bildschirmen ebenso wie mit den chronographischen Delays der Helmholtz’schen Verzeichnung von Nervenleitgeschwindigkeiten. Abgesehen von passiven Horchtechniken im militärischen Feld und beim Passivsonar, kam dem menschlichen Hören in den verhandelten Fallgeschichten eine eher nachgeordnete Bedeutung zu. Es waren wiederholt Visualisierungen von Delays – chronographische oder elektrotechnische –, die in der Praxis Verwendung erfuhren. Ob dies tatsächlich an der Vormachtstellung des Blicks des ‚Augentiers Mensch‘ (Dussik), statt vielmehr an den geomedialen Praxisvorteilen der raumbasierten Künste im Sinne Gotthold Ephraim Lessings liege, sei an dieser Stelle dahingestellt.

Auffallend ist, dass die hier tangierten bildgebenden Verfahren in Situationen spezifischer Unsichtbarkeiten entstanden, in denen kein direkter Zugriff auf Umwelten oder Körper erfolgen konnte. Zeigen sich biologische Körper allein durch pathologische Obduktion einsichtig, ist dies nicht von Wert für die diagnostische Medizin an lebendigen Wesen: Die sonographische Methode setzte an der ‚Unein-

11 Rosol, Christoph (2007): *RFID. Vom Ursprung einer (all)gegenwärtigen Kulturtechnologie*, Berlin, 152.

sichtigkeit‘ lebender Menschenkörper an, ebenso wie die echolotische Tiefenvermessung der Welt in der Unzugänglichkeit von Tiefseeböden ihren Ausgangspunkt nahm; die Positionen von als relevant erachteten Objekten in Lufträumen wurden allein durch Ko-Operationsketten zur Sichtbarkeit gebracht, ebenso wie die Positionen steckengebliebener Büchsen in der Rohrpost erst durch komplexe chronographische Übersetzungen datafiziert werden konnten. Die Rohre der Post, biologische Körper, weite Lufträume, die Welt unter den Meeren – sie eint, dass sie uneinsichtig sind. Was sich in ihnen befindet, verweigert sich der direkten Einsichtnahme und verlangte nach technischen Apparaturen und Übersetzungspraktiken zur Herstellung synthetischer Visualität. Einsichtnahme in diese Körper und Umwelten war kein Anliegen des menschlichen Blicks, sondern durch medien- und körpertechnische Ko-Operationsketten charakterisiert. Erst diese erlaubten, Daten zu produzieren, die schließlich Aussagen über die Interna der genannten Räume zuließen. Die historisch analysierten Medien und Praktiken sonischer Übertragungen illustrieren, dass sie mitnichten Räume und Körper zu überwinden suchten, sondern sie diese auf Basis von Delay zu Zwecken ihrer Verdattung temporalisierten oder gar erst hervorbrachten – und dadurch eigene Signalräume und Zeit-Raum-Regime in unterschiedlichen Environments aufspannten.

Im Sinne von Judd Case sind logistische Medien solche, welche

„intrude, almost imperceptibly, on our experiences of space and time, even as they represent them. They are devices of cognitive, social, and political coordination that are so fundamentally communications media that they intersect and envelop much of our lives without conscious awareness.“¹²

Diese Arbeit widmete sich einer solchen Gattung logistischer Medien. Wie Case darlegt, liefern logistische Medien keine neutrale Beschreibung der Welt, sondern sie modellieren die Wahrnehmung von Raum und Zeit durch die Koordination von Objekten und Subjekten neu. Dies ist zum einen buchstäblich zu verstehen. Radartechnologie erlaubte es nicht nur, Lufträume zu überwachen und (Flug-)Bewegungen logistisch zu koordinieren; sie ist für die Aufrechterhaltung des globalen Luftverkehrs derart essenziell geworden, dass bei einem Kollaps von Radarinfrastrukturen ebenso die Ordnung des globalen Luftverkehrs kollabiert. Zum anderen ließe sich für die Medien dieser Untersuchung aussagen, dass sie auf einer eher epistemischen Ebene keine ‚neutralen‘ Medientechniken darstellen. Sie basieren auf Frequenz- und Signalpolitiken und sind Ergebnis von Aushandlungsprozessen. Sie

12 Case, Judd A. (2010): *Geometry of Empire: Radar as Logistical Medium*, Dissertation, University of Iowa, 1.

sind nicht neutral, da sie auf heterogenen Ebenen mit ihrer Praxis verbunden waren und sich entweder in diese einschrieben oder Praktiken durch technische Vorentscheidungen formatierten. Waren mechanisch-analoge akustische Distanzmesser Effekte ihres praktischen Einsatzes im Feld, gilt dies für elaborierte postmoderne Medien nur noch bedingt, da diese – umgekehrt – neue Praktiken und ‚Lesekompetenzen‘, mithin *data literacy* erforderten. Sonographie, Sonar oder Radar mögen die medialen Lösungen für vorgelagerte Praxisprobleme gewesen sein – sie brachten ihre Operationsumgebungen jedoch erst hervor: Die frühen transatlantischen Echolotprofile zeigten weniger den Ozeanboden als vielmehr ihre zugrundeliegende Datenpraxis; ebenso lieferte die Sonographie nicht neutrale Bilder körperimmanenter Strukturen, sondern produzierte visuelle Phänomene, die es wiederum zu lesen lernen galt. Medientechniken und (ihre) Phänomene sind untrennbar miteinander verwoben; sie bewahrheiten, was bereits Niels Bohr oder Gaston Bachelard den neuzeitlichen Wissenschaften bescheinigten. Sie sind Phänomenotechniken, die das, was sie zu zeigen vorgeben, selbst erst produzieren.

Ebenso wie Radartechnologie den Luftraum nicht nur zu überwachen erlaubte, sondern auf dem medientechnischen Stand seinerzeit ausprägte, machte das hydroakustische Sonar die Weltmeere zu medienökologisch relevanten Umgebungen – aus den Sonartechniken selbst heraus. Dabei zeitigten jene Techniken wiederum nachgelagerte Medieneffekte. So machte das Sonar Arbeit an und in akustischen Signalräumen virulent, die durch Filtertechniken wie dem „bass boost“ realisiert wurden; Techniken, die erst später in den Kontext der Audioästhetik diffundieren sollten. Medienpraktiken und Medienökologien konstituieren sich mithin gegenseitig und prägen sich in steter Abhängigkeit voneinander aus. Da akustische Distanzmesser Georäume als Zeiträume körpertechnisch zu formalisieren erlaubten und sie damit eine Temporalisierung von Umwelten auf Basis von Delay initiierten oder bereits bei Langhans hypothetische Schallstrahlen „Zeitmaße“ geometrisierten, begann mit den hier versammelten Fallgeschichten eine Verhandlung medienkultureller Räume, die sich an den Verzögerungen von Übertragungen bemäßen. Die hier erschlossenen Medien des Delays sind maßgeblich an der Ausprägung unseres postmodernen Verständnisses von Raum und Zeit beteiligt.

Ein Fazit dieser Arbeit könnte lauten, die Medienfunktion der Übertragung erweist sich als multivariant und multifunktional: technologisch, theoretisch, historisch und praxeologisch. Es macht einen Unterschied, ob durch Übertragungen Dinge oder Signale eines Ortes an einem anderen Ort verfügbar gemacht werden; ob durch Übertragungen Daten von Körpern oder Räumen erhoben werden; oder ob Übertragungen flüchtige Speicher realisieren. Und es macht einen Unterschied, zu welcher historischen Zeit dies zu geschehen hatte. Zudem macht es einen Unterschied, *wo* – in welchen Environments – Übertragungen dies zu leisten hatten:

in Lufträumen, Meeren, Menschenkörpern, Postrohren oder Quecksilberleitungen. Denn diese Environments mussten zunächst wiederum selbst hinsichtlich ihrer Übertragungscharakteristika exakt verdatet werden. Ob Übertragungen Daten an einem ‚Woanders‘ verfügbar machten, ob sie durch den Akt der Übertragung dieses ‚Woanders‘ zeitkritisch detektierten oder ob die Zeitlichkeit der Übertragung als flüchtiger Signalspeicher funktionalisiert wurde, entschied sich erst im Kontext jener Übertragungen. Die sich daraus ergebende Varianz der Situationen und ihrer Technizitäten ist mitunter massiv. Ob bspw. durch eine Radiosendung Musik ausgestrahlt oder ein Flugzeug zeitkritisch geortet wird, macht einen erheblichen Unterschied, insbesondere in Bezug auf die hierfür erforderlichen Elektrotechniken. Schließlich standen die für das Radar verwendeten Module am Ausgangspunkt einer Entwicklung, die sich in rezenten digitalen Medienkulturen fortschreibt. Was Übertragungen sind und leisten, kann also nicht pauschalisierend ausgesagt werden, sondern verlangt eine situierte Perspektive.

Übertragungen können flüchtige Speicher realisieren; sie können entfernte Präsenzen detektieren und lokalisieren: Flugzeuge, Gallensteine, Uboote; sie können schlicht und weniger zeitkritisch akustische Signale verzögern, um im Kontext von Tontechnik auditive Räume zu simulieren; und situativ kann als Übertragungsanordnung interpretiert werden, was originär nicht als Übertragungsanordnung intendiert war, wie im Falle der akustischen Distanzmesser des 19. Jahrhunderts oder beim Passivsonar. Die einzelnen Fallgeschichten illustrieren diese Varianz der Übertragung. Das heißt nicht, dass eine Mediengeschichte der Übertragung *nicht* als dromologische Fortschrittsgeschichte der Beschleunigung im Sinne von Paul Virilio geschrieben werden kann. Es bedeutet lediglich, dass diese die logische, historische, umweltliche und technische Heterogenität von Übertragungen nicht abzubilden imstande ist. Eine schnellere Übertragung ist einer langsameren nicht notwendigerweise überlegen. Das Gegenteil kann auch zutreffend sein; so zeigen *delay lines* die Produktivität zeitsteigernder Umwege. Die Medien des Delays basieren auf der indexikalischen Eigenzeitlichkeit von Übertragungen, die es zu nutzen galt, um auf ihrer Grundlage Probleme mitunter jenseits der Inhaltsdimension übertragener Signale zu lösen und Umwelten und Körper zu verdateten.

Maßgeblich sind die hier verhandelten Medienwerdungen nicht allein an einer Verzeitlichung des Raums und an der Ausprägung je spezifischer Zeit-Raum-Regime beteiligt. Ebenso arbeiteten sie an der Mikro-Temporalisierung von Elektrotechnik mit, wie sie ein Signum von ‚more than human‘-Infrastrukturen und postdigitaler Kulturen ist. Am Radiation Laboratory des MIT war es erklärte Aufgabe, eine dreißigstel Mikrosekunde, d.h. $0,03\ \mu\text{s}$ bzw. $0,00000003\ \text{s}$, elektrotechnisch exakt zu messen. Schließlich galt es, das Praxisproblem zu lösen, etwaig feindliche Flugzeuge zu orten und gegebenenfalls abzuschießen. Dies machte eine

Ortungsexaktheit im Bereich weniger Meter notwendig; und die Laufzeit eines elektromagnetischen Impulses in $0,03 \mu\text{s}$ entspricht rund 9 m – was den praktischen Erfordernissen der Feuerleitung genügte. Das mag die mikrotemporale Ökonomie der im elektromagnetischen Spektrum operierenden Medien des Delays illustrieren, die für den späteren Digitalcomputer normativ werden sollte. Wenn Jimena Canales der Zehntelsekunde attestiert, konstitutiv für die Moderne zu sein,¹³ muss dies doch grundlegend eingeschränkt werden. Dies gilt mitnichten für Medien und Infrastrukturen der Postmoderne. Eine Zehntelsekunde bedeutet in der Sonographie, dass eine körperimmanente Struktur nur mit einem möglichen Messfehler von mehreren Metern detektiert werden kann, mithin nicht mehr innerhalb des derart sonographisch durchschwungenen Körpers läge. Für das Radar, Loran oder das spätere GPS bedeutet ein Messfehler in der Größe einer Zehntelsekunde bereits eine Ortungsvagheit von rund 30.000.000 m. Mithin ließe sich allenfalls aussagen, dass ein Flugzeug, Schiff oder GPS-Empfänger ‚irgendwo auf dem Globus‘ ist – mehr jedoch nicht. Das genügt weder den praktischen Erfordernissen der Navigation noch der Ortung von Flugzeugen. Die Zehntelsekunde mag konstitutiv für die menschliche Wahrnehmung sein, wie bereits Hermann von Helmholtz erkannte. Für technologische Medien hingegen ist ein Zeitintervall von 0,1 s mitnichten konstitutiv, galten doch bereits unter den Bedingungen von *high frequency trading* 5 Millisekunden als „eternity“¹⁴ (vgl. Einleitung).

Aus praxeologischer Perspektive bezeichnend ist, dass im Rahmen dieser Arbeit eine mediale Funktionalität virulent wurde, die in gängigen Medientheorien keine Medienfunktion darstellt: das Messen. In Hinblick auf die gegenwärtige Ubiquität messender Sensormedien ist dies von Interesse, da erst das Messen eine sensorielle Datenproduktion bzw. *datafication* erlaubt. Klassische Systematiken von Medienfunktionen wie die Trias von Friedrich Kittler – Speichern, Übertragen, Prozessieren¹⁵ – gehen davon aus, dass bereits etwas vorhanden *ist*, das ‚nur noch‘ gespeichert, übertragen oder prozessiert werden braucht. Daten sind jedoch nicht ‚da‘. Ganz im Gegenteil zeigen die hier verhandelten Medien und ihre Praxis wiederholt das Ringen um die Produktion von Daten bzw. sind Echolot, Sonographie, Sonar oder Radar überhaupt erst aufgrund des Problems implementiert worden,

13 Canales, Jimena (2009): *A Tenth of a Second: A History*, Chicago, Ill./London, ix.

14 Pappalardo, Joe (2011): „New Transatlantic Cable Built to Shave 5 Milliseconds off Stock Trades“, in: *Popular Mechanics*, <https://www.popularmechanics.com/technology/infrastructure/a7274/a-transatlantic-cable-to-shave-5-milliseconds-off-stock-trades>, 29.10.2022.

15 Kittler, Friedrich (1988): „Die Stadt ist ein Medium“, in Dietmar Steiner (Hrsg.), *Geburt einer Hauptstadt Bd. 3: Am Horizont*, Wien, 507-531, 518.

über *keine* oder zumindest *ungenügende* Daten zu verfügen – des Unterwasser-
raums, des Luftraums, des menschlichen Körpers usw.

Diese Umwelt-Medien-Mensch-Systeme sind genuine Datenproduzentinnen mit jeweils differenten Prozeduren und Ko-Operationsketten: im Fall der *Meteor-Expedition* nachträgliche Berechnungen zur Bestimmung tatsächlich qua Echolot generierter Ozeantiefen oder im Fall von Radar Infrastrukturen der Verarbeitung von Big Data in Echtzeit. Die untersuchten Medien- *als* Datenpraktiken zeigen, dass sie Verdattungen initiierten, die im weiteren historischen Verlauf konsequent weitergetrieben bzw. gar intensiviert wurden, wie bspw. die Vermessung des Tiefenraums unter den Meeresoberflächen. Wenn Rob Kitchin in seinem Grundlagenwerk der *Critical Data Studies* darlegt, dass Daten geradezu nach immer *noch mehr* Daten verlangen,¹⁶ ist diese Studie ein idealtypischer Beweis für seine These. Inwieweit sich für die hier historisch erschlossenen Medien eine diskursive und methodische Verschiebung von der Medien- hin zur Datengeschichte attestieren ließe bzw. gar von einer Medien- *als* Datengeschichte gesprochen werden müsste, wird an anderer Stelle zu erörtern sein.

Von der Annahme eines ‚Da-Seins von Daten‘ gilt es zurückzutreten. Der Prozess der Herstellung von Daten ist eine technisch-medial verfasste sowie selbstreferenzielle und iterative Praxis – ein *ongoing accomplishment* im Sinne Harold Garfinkels;¹⁷ eine Praxis, die sich zudem historisch situieren lässt.¹⁸ Dass dies Konzepte vermeintlicher Objektivität tangiert, haben Lorraine Daston und Peter Galison in ihrer Studie zum historischen Index der Objektivität gezeigt: Diese besitzt somit keine allgemeine, sondern lediglich historische Gültigkeit.¹⁹ Gleichermaßen ist es keine Neuigkeit, dass der Begriff der ‚rohen Daten‘ bei kritischer und situierter Fokussierung als Oxymoron erscheint.²⁰ Daten sind entgegen ihrer Etymologie keine Gegebenheiten, sondern Konstrukte, die in Organisationen und Ko-Operationsketten eingebunden sind, wo erzeugten und zu verarbeitenden Daten eine je spezifische statt universalisierbare Bedeutung eingeschrieben ist. Daten werden nur sinnfällig in *ihren* Umwelten und Akteursnetzwerken, d.h. in Daten-Umwelten. Tatsächlich konstituierten sich die hier untersuchten Umwelten und Akteursnetzwerke erst durch Daten als gemeinsam geteilte Grundlage kooperativer Praxis. Daten

16 Kitchin, Rob (2022): *The Data Revolution. A Critical Analysis of Big Data, Open Data & Data Infrastructures. Second Edition*, London et al., 23-26.

17 Vgl. Garfinkel, Harold (1967): *Studies in Ethnomethodology*, Englewood Cliffs.

18 Vgl. Aronova, Elena/von Oertzen, Christine/Sepkoski, David (2017) (Hrsg.), *Osiris* 32, „Data Histories“.

19 Daston, Lorraine/Galison, Peter (2007): *Objektivität*, Frankfurt a.M.

20 Vgl. Gitelman, Lisa (2013) (Hrsg.), *„Raw Data“ is an Oxymoron*, Cambridge, MA.

stellen, so zeigte diese Studie, immer nur Informationen *für* jemanden oder etwas dar – gleich ob in Akteursnetzwerken oder technologischen Infrastrukturen, die der menschlichen Bedeutungskonstitution vorgelagert sind –, erscheinen aber außerhalb ihres situierten Kontexts meist als ‚unlesbar‘. Dies ist buchstäblich zu verstehen. So verlangten bspw. Sonogramme oder die Plots auf den Kartentischen des Dowding Systems nach neuen Lesekompetenzen und *data literacy*.

Interessant sind die Medien des Delays zudem aus einer informationstheoretischen Perspektive. Im Sinne von Claude Shannon und Warren Weaver ist Information ein Maß an Wahrscheinlichkeit und es gilt als hochinformativ, was höchst unwahrscheinlich ist. Eine solche Charakterisierung von Informationsgehalt ließe sich an der Auswahl von Buchstaben aus einem Alphabet nahezu idealtypisch illustrieren; ebenso ließe sich dementsprechend eine Informationsquelle im Schema einer paradigmatischen Sender-Kanal-Empfänger-Kommunikationsanordnung charakterisieren, wie es Weaver vollzog: „The *information source* selects a desired *message* out of a set of possible messages (...). The selected message may consist of written or spoken words, or of pictures, music, etc.“²¹ Grundlegend kritisiert Erhard Schüttpelz, dass allgemeine Kommunikationsmodelle – inklusive des Modells von Shannon und Weaver – davon ausgehen, dass es eine (wie auch immer) codierte Botschaft ist, welche als Grundlage von Kommunikation verstanden werde. Demgemäß wurden elektrotechnische Übertragungsprozesse von der Medienwissenschaft verkürzend als klassische Botenmodelle interpretiert: Eine Botschaft wird verschlüsselt (oder zumindest in einen Umschlag getan oder einem Boten mündlich anvertraut), ein Bote überträgt jene Botschaft (deren Sinn, was auch immer das sein mag, während der Übertragung möglichst erhalten bleiben soll) und am Ort des Empfängers wird die Botschaft schließlich wieder decodiert (oder zumindest ein Brief geöffnet oder die Botschaft mündlich reproduziert).²² Es wird mithin davon ausgegangen, dass es einen Sinn gibt, der ‚nur noch‘ übertragen werden muss. Schüttpelz kritisiert, „the messenger model ignores the entire problem of the message and the messenger, as not all messages are entrusted to all messengers. The idea that it is the content of a transmission that is ‚communicated‘ does not stand up to closer scrutiny.“²³ Es ist nicht allein der ‚Inhalt‘ von Über-

21 Weaver, Warren (1964 [1949]): „Recent Contributions to the Mathematical Theory of Communication“, in: Claude E. Shannon/Warren Weaver: *The Mathematical Theory of Communication*, Urbana, 1-28, 7.

22 Vertiefend zu Botenmodellen vgl. Krippendorff, Klaus (1994): „Der verschwundene Bote. Metaphern und Modelle der Kommunikation“, in Klaus Merten/Siegfried J. Schmidt/Siegfried Weischenberg (Hrsg.), *Die Wirklichkeit der Medien*, Wiesbaden, 79-113.

23 Schüttpelz, Erhard (2022): „From Instruments to Containers, from Containers to Media: The Extensions of the Body“, in: *CRC 1187 Working Paper Series* 21, 15.

tragungen, der kommuniziert bzw. der kommuniziert wird. Es sind mitunter andere Dimensionen der Übertragung, die von kommunikativer oder informatischer Relevanz sein können: soziale, formale, mediale, kulturelle, politische – und nicht zuletzt temporale. In einer Paraphrase von Schüttpelz ließe sich für die Medien des Delays aussagen, es ist nur bedingt der Inhalt einer Übertragung, der kommuniziert wird, sondern es ist die Übertragungsdauer, die zur kommunikativen Botschaft und medialen *content* avanciert.

Kritik am Kommunikationsmodell von Shannon und Weaver ist indes nicht neu. Die Beschränkung des Modells auf konventionelle Techniken der Beförderung hatte 1976 Marshall McLuhan bemängelt, denn es gleiche einer „pipeline for transportation“.²⁴ Ebenso können auf Basis der hier betrachteten Medien klassische Kanalmodelle und Theorien der Kommunikation kritisiert werden: Entscheidendes Kriterium der Medien des Delays ist die zur Messung oder Speicherung umgedeutete Übertragungsdauer. Zudem wird im Falle des aktiven Radars oder Sonars kein Signal an einen anderen Ort übertragen, sondern in einer ungewissen, zu bestimmenden Zukunft qua etwaigem Reflektor an sich selbst adressiert. Wenn eine solche Übertragungsanordnung im Sinne klassischer Kommunikationsmodelle gedeutet werden kann, handelt es sich allenfalls um ein produktives Selbstgespräch technischer Systeme. Radar evozierte demgemäß eigene Nachrichten- und Informationstheorien, die sich als inkompatibel mit klassischen Formalisierungen von Kommunikation erwiesen.²⁵ Wollte man eine Kommunikationslogik von apparativen Verfahren der Echoortung auf konventionelle Kanalmodelle abbilden, so ergäbe sich folgende Schematisierung (vgl. Abb. 48).

24 Zit. n. Cavell, Richard (2004): „McLuhan in Space“, in: John Moss/Linda M. Morra (Hrsg.), *At the Speed of Light there is only Illumination: A Reappraisal of Marshall McLuhan*, Ottawa, 165-184, 168. Ebd. wird McLuhan weiter zitiert: „The Shannon/Weaver model of communication is merely a transportation model which has no place for the side-effects of the service environments.“

25 Vgl. Woodward, Philip Mayne (1953): *Probability and Information Theory, with Applications to Radar*, London; Woodward, Philip Mayne/Davies, I.L. (1950): „A Theory of Radar Information“, in: *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science* 41(321), 1001-1017.

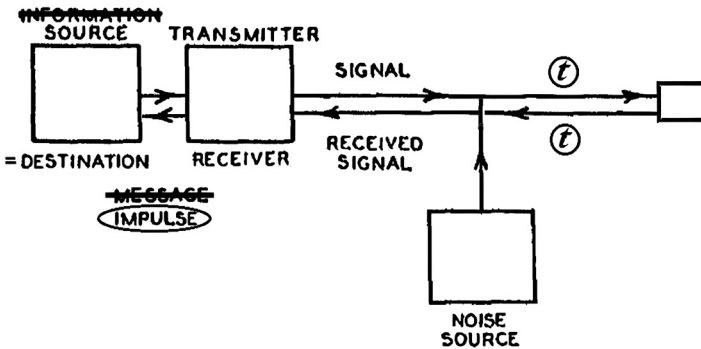


Abbildung 48: ‚Shannon/Weaver revised‘. Claude Shannons Formalisierung einer Kommunikationsanordnung – abgeändert, um aktive Ortungsmedien des Delays abzubilden.

Gesendet wird keine Information – keine *Message* –, sondern ein an sich semantisch sinnfreier Ortungsimpuls. Der Ort der Sendung – die *Source* – entspricht dem Sendungsziel – der *Destination*. Und was gängige Kommunikationsmodelle verschweigen: Die Übertragungsanordnung vollzieht sich in der Zeit, hier veranschaulicht durch den Parameter t , der sich sowohl zwischen Sender und Reflektor als auch zwischen Reflektor und Empfänger situiert. Dieses t der Übertragung ist epistemischer Kern, den es zu bestimmen gilt, um aus jener Dauer den mit dieser in indexikalischen Verhältnis stehenden Übertragungsraum bestimmt zu haben. Information ist in diesem Fall nicht die Voraussetzung der Übertragung, sie ist ihr Ergebnis. Delay *ist* die Information, wie es der Radarthoretiker Philip Woodward prägnant formulierte: „All the required information is embodied in the time-delay of the received waveform.“²⁶ Daten werden nicht per elektromagnetischer Welle in die Umwelt gesendet, sondern durch den Zeitindex der Übertragung generiert. Dadurch stellt Radar das inverse Prinzip zum Rundfunk dar. Radar als Geo- und Messmedium produziert zeitkritisch auf Umwelten verweisende Daten, wohingegen der Rundfunk als Unterhaltungsmedium Signale an die Umwelt aussendet.

Bedeutend an der Schematisierung sind vornehmlich zwei Dinge: Einerseits, dass Sender und Empfänger – sehr untypisch für medientechnische Dispositive der Übertragung – deckungsgleich sind und andererseits, dass das Zeitintervall zwischen Senden und Empfangen konstitutiv für die Kommunikationsanordnung ist. Solch ein differenzierender und differenzierter Fokus auf die Übertragung ist deshalb erforderlich, weil ihre Mediengeschichte noch aussteht. Nun ließe sich

26 Woodward, Philip Mayne (1953): „Theory of Radar Information“, in: *Transactions of the IRE Professional Group on Information Theory* 1(1), 108-113, 108.

entsprechend fragen, ob dies daran liegt, dass Echolot, Radar, Sonar oder die Sonographie nicht mit klassischer Kommunikationstheorie erklärt werden können, da sie nichts mit Kommunikation oder Information zu tun haben. Allerdings *sind* sie informationsgenerierende Medien, die überhaupt erst durch Kommunikation im temporalen Vollzug operativ werden.

Das Shannon'sche Informationsverständnis ist keine Grundlage, sondern Resultat eines Mediums: nämlich Konsequenz von Shannons medienpraktischer Arbeit und der technischen Probleme, mit welchen seine Forschung konfrontiert war. Konkret handelte es sich um Telefontechnik, in deren Kontext sein Kommunikationsmodell entstand. Das ist kein Unikum Shannons, sondern eher typisch für Kommunikationstheorien ihrerzeit. Auch Dennis Gabor's „Theory of Communication“ lag ein klassisches Kommunikationsverständnis zugrunde. Konkret stellten Symbol-, Sprach-, Bild- und Musikübertragungen seinen technischen Hintergrund dar. Gabor erklärte, es gehe ihm um „the analysis of information and its transmission by speech, telegraphy, telephony, radio or television.“²⁷ Damit referierte er wie Shannon auf klassische Übertragungstechniken, die anstreben, Signale von einem Ort möglichst verlustfrei an einen anderen Ort zu senden. Paradigmatisch prägen derartige Konnotationen der Übertragung ein Verständnis aus, das sich tatsächlich am Raum als Störung bemisst, wie es implizit bei Shannon in Bezug auf das grundlegende Problem der Kommunikation hieß: „The fundamental problem of communication is that of reproducing at one point either exactly or approximately a message selected at another point.“²⁸ Auch Ralph Hartleys Grundlagen-text von 1928 legte seinen Fokus titelgebend auf die Übertragung von Informationen. Er ging also davon aus, dass etwas, das er ‚Information‘ nannte, *vor* der Übertragung vorhanden war – es galt, Informationen woanders zu *reproduzieren*.²⁹

Eine Informationstheorie, die sich am Medium Radar oder Sonar ausrichtete, könnte ein anderes, nämlich dynamisches Verständnis von Information ausprägen; eines, das wesentlich situierter argumentieren würde als statische Kanalmodelle. Zudem bindet eine Nachrichtentheorie von Radar Information immer an den Faktor Zeit rück bzw. bemisst sich an diesem. Für die Medien der Echoortung *gibt* es keine Information ohne Zeit; Information ist irreduzibel Ergebnis und Ereignis zeitlicher Prozesse. Eine dynamische Informationstheorie, wie sie die Medien des Delays begründen könnten, würde Information als Index zeitlicher Prozesse iden-

27 Gabor, Dennis (1946): „Theory of Communication“, in: *Journal of the Institution of Electrical Engineers* 93(26), 429-457, 429.

28 Shannon, Claude E. (1948): „A Mathematical Theory of Communication“, in: *The Bell System Technical Journal* 27(3), 379-423, 379.

29 Vgl. Hartley, Ralph Vinton Lyon (1928): „Transmission of Information“, in: *Bell System Technical Journal* 7(3), 535-563.

tifizieren und zu einer grundsätzlich anderen Kommunikationstheorie führen, als es etablierte Theorien sind – eine, die sich nicht nur nach dem *Wie* und dem *Was*, sondern vornehmlich dem *Wann* von Übertragungen ausrichtet. Eine solche anzudeuten, kann an dieser Stelle nicht geleistet werden. Dass anders intendierte, bspw. soziologisch orientierte Informationstheorien ein anderes Informationsverständnis ausprägen als das Shannon'sche, ist evident. Verwiesen sei auf die Arbeiten von Harold Garfinkel, der die Texte von Shannon rezipierte – neben den Arbeiten von Norbert Wiener, Karl Deutsch, Gregory Bateson, John von Neumann oder Oskar Morgenstern –, aber andere Erkenntnisinteressen an diese mitunter kybernetischen Arbeiten knüpfte.³⁰ So bleibt festzuhalten, dass Medien des Delays alternative, dynamische Konzeptionen von ‚Information‘ erlauben, die *nicht* aus einer disziplinär anders gelagerten Ecke als die „Mathematische Theorie der Informationen“ stammen müssen, sondern quasi mit Shannon über Shannon hinauszugehen erlauben.

Wenn Jason Farman in *Delayed Response* schreibt, Delay sei schon immer ein irreduzibler Bestandteil medialer Botschaften gewesen,³¹ gilt für die Medien der aktiven Ortung – und für die Episteme flüchtiger Speicherung durch akustische Verzögerungsleitungen –, Delay ist ihre Botschaft. Hier eskaliert der historisch aus dem Post- und Transportwesen vertraute Begriff der Übertragung zugunsten medientechnischer Operationen und Übersetzungsketten, die nicht mehr den semantischen Gehalt von Sendungen priorisieren, sondern die konstitutive Temporalität der Übertragung selbst problematisieren. Hans-Christian Täubrich konnte dem wohl ältesten materiellen Kommunikationsmedium noch bescheinigen, es sei eine „Selbstverständlichkeit, daß ein Brief, obwohl er über Tausende von Kilometern reist, durch zig Hände wandert, (...) seinen Inhalt nach Öffnen des Umschlags unversehrt und von niemandem gelesen dem Adressaten offenbart, als wäre er ihm vom Absender direkt übergeben worden.“³² Diese Annahme gilt nicht mehr für eine Medienanalyse der Übertragung, die auf die sich vollziehenden Signalprozesse fokussiert und den Faktor Zeit als konstitutiv für Botschaften anerkennt.

30 Garfinkel, Harold (2008 [1952]): *Toward a Sociological Theory of Information*, hrsg. v. Anne Rawls, Boulder. Vgl. hierzu Watson, Rod/Carlin, Andrew P. (2012): „Information: Praxeological Considerations“, in: *Human Studies* 35(2), 327-345; für eine Anwendung von Garfinkels Informationstheorie auf ein aktuelles Medienphänomen vgl. Thielmann, Tristan (2012): „Taking into Account. Harold Garfinkels Beitrag für eine Theorie sozialer Medien“, in: *Zeitschrift für Medienwissenschaft* 4(6), 85-102.

31 Vgl. Farman, Jason (2018): *Delayed Response. The Art of Waiting from the Ancient to the Instant World*, New Haven/London.

32 Täubrich, Hans-Christian (1997 [1996]): „Wissen ist Macht. Der heimliche Griff nach Brief und Siegel“, in: Klaus Beyrer/Hans-Christian Täubrich (Hrsg.), *Der Brief. Eine Kulturgeschichte der schriftlichen Kommunikation*, Heidelberg, 46-53, 51.

Was sich im Nationaltheater auf dem Berliner Gendarmenmarkt nach seiner Neueröffnung Anfang des Jahres 1802 zu hören gab, ist operativ und Medien geworden – und bspw. integraler Bestandteil rezenter technologischer Navigationspraktiken auf Basis zeitkritischer Technologien wie dem GPS. Die Zeit-Raum-Regime sonischer Übertragungen gaben sich nicht allein im mitunter störenden Nachhall von Theaterarchitekturen zu wissen; die „Zeitmaße“ (Langhans) des Delays wurden produktiv: Sie wurden zu flüchtigen Speichern neu-evaluiert und zum Instrument zeitkritischer Messung nobilitiert – zu Sensormedien der Laufzeitmessung. Um dies im Kontext des Radars praktizieren zu können, wurden neuartige Elektrotechniken erforderlich, die schließlich zu wesentlichen Charakteristika digitaler Medienkulturen werden sollten. Was um 1800 im Theaterkontext als Störung virulent wurde, hat 150 Jahre später evoziert, was heutzutage unter dem Begriff des Digitalen zirkuliert. Aus dem wellenförmig Analogen, das sich in der Laufzeit der Akustik zu hören gibt, ist durch elektrotechnische Operation der binäre Code geworden. Was bereits in der Radartechnik mikrotemporal als Ortungsimpuls zur Anwendung kam, wurde zur epistemischen Signatur computerisierter Datenverarbeitung. Die Gestalten und Diskurse des Delays erweisen sich damit als wissenschafts-, technik-, praxis-, kultur- und medienhistorisch variant. Gehört es zur „Eigenart der Medienwissenschaft, daß sich ihr Gegenstand (...) in fortwährenden Metamorphosen befindet“,³³ gilt dies nicht allein für rezente und zukünftige Medien, sondern ebenso für die historische Analyse medialer Phänomene.

33 Ernst, Wolfgang (2012): *Chronopoetik: Zeitweisen und Zeitgaben technischer Medien*, Berlin, 318.

Dank

Auch wenn Autor:innen-Angaben auf Buchdeckeln dies glauben machen, schreibt kein Mensch eine Dissertation. Damit meine ich, kein Mensch *allein* schreibt eine Dissertation. In technischen Geräten mag es nach Bruno Latour von Menschen nur so wimmeln; in wissenschaftlichen Büchern – nicht nur in den Fußnoten – ist es ebenso. Diese Arbeit wäre ohne den stimulierenden und freundlichen Austausch, ohne Unterhaltungen über Inhalte und Methoden ebenso wie über das Scheitern, die Irrungen und Katastrophen des wissenschaftlichen Alltags und die Unterstützung vieler Kolleg:innen und Freund:innen nicht entstanden – oder zumindest nicht in dieser Form. Ich danke (in ungeordneter Reihenfolge) Max Kanderske, Judith Willkomm, Asher Boersma, Eva-Maria und Thomas Nyckel, Jan Distelmeyer, Sabine Wirth, Stefan Höltgen, Steffi Ebert, Jan-Claas van Treeck, Anna Schürmer, Alan van Keeken, Sebastian Vehlken, Viktoria Tkaczyk, Patrick Vonderau, Axel Volmar, Magdalena Götz, Shintaro Miyazaki, Pablo Abend, Katharina Dihel, Robert Stock, Hendrik Bender, Nadine Taha, Sebastian Scholz, Kai Knörr, Sebastian Gießmann, Carolin Gerlitz, Sebastian Schwesinger, Erhard Schüttpelz, Cindy Heine, Marcus Burkhardt, Timo Kaerlein, Kiron Patka – und ich entschuldige mich bei allen, die ich in dieser Auflistung vergessen habe. Mein gesonderter Dank gilt Wolfgang Ernst für den nunmehr jahrelangen akademischen Beistand und die Inspiration, ein sonisches Phänomen spezifischer Unsichtbarkeit historisch zu erforschen (Mediengeschichte kann sich nur dann behaupten, wenn wir es schaffen, Phänomenen, Akteuren oder Dingen historisch nachzuspüren, die Historiker:innen entgehen). Mein größter Dank gilt Tristan Thielmann, der es mir ermöglichte, dieses Buch zu schreiben, obgleich es mir zeitweise unmöglich schien, dies je zu tun.

Literatur

In der Arbeit verwendete Abkürzungen von Archiven:

- BArch = Bundesarchiv (Berlin-Lichterfelde bzw. Freiburg im Breisgau)
- HUSL = Harvard Underwater Sound Laboratory (Harvard, Cambridge, Mass.)
- TNA = The National Archives (Kew/London)

Abend, Pablo (2013): „Schluss: Ergebnisse der Analyse und das Archiv der Medienpraktiken“, in: ders.: *Geobrowsing. Google Earth und Co. – Nutzungspraktiken einer digitalen Erde*, Bielefeld, 369-388.

Accademia del Cimento (1667) (Hrsg.), *Saggi Di Naturali Esperienze Fatte Nell' Accademia Del Cimento* [Kurztitel], Florenz.

Adams, Alice E. (1994): *Reproducing the Womb: Images of Childbirth in Science, Feminist Theory, and Literature*, Ithaca/London.

Adams, Stephen B./Butler, Orville R. (1999): *Manufacturing the Future: A History of Western Electric*, Cambridge.

Adorno, Theodor W. (2006): *Current of Music: Elements of a Radio Theory*, hrsg. v. Robert Hullot-Kentor, Frankfurt a.M.

Aigner, Franz (1922): *Unterwasserschalltechnik. Grundlagen, Ziele und Grenzen*, Berlin.

Air Ministry (Hrsg.) (1950), *Signals Vol. IV: Radar in Raid Reporting*, London.

Alexander, Robert Charles (1999): *The Inventor of Stereo. The Life and Works of Alan Dower Blumlein*, Oxford.

Allan, Jennifer Lucy (2021): *The Foghorn's Lament: The Disappearing Music of the Coast*, London.

Anonym (1800): „Ueber das neue Schauspielhaus“, in: *Jahrbücher der preußischen Monarchie unter der Regierung Friedrich Wilhelms des Dritten, 1800, Dritter Band, September–Dezember*, 130-136.

Anonym (1801): „Schöne Baukunst. Ueber das neue Gebäude des Nationaltheaters in Berlin“, in: *Zeitung für die elegante Welt* 26, 201-203.

- Anonym (1802): „Aesthetische Anklage gegen die Berlinischen Schauspieler wegen unverzeihlicher Vernachlässigung des mündlichen Vortrags“, in: *Brennus. Eine Zeitschrift für das nördliche Deutschland* v. November, 515-529.
- Anonym (1802): „Berlin, den 2ten Jänner“, in: *Kurpfalzbaierische Münchner Staatszeitung* 11, 53-54.
- Anonym (1802): „Berlinisches Theater. Das öffentliche Geheimnis“, in: *Zeitung für die elegante Welt* 127, v. 23. Oktober, 1016-1019.
- Anonym (1802): „Berlinisches Theater. Wer zuerst kommt, mahlt zuerst, Rodogüne“, in: *Zeitung für die elegante Welt* 128, v. 26. Oktober, 1024-1026.
- Anonym (1802): „Ueber den Volksprolog vor Einweihung des neuen Berliner Schauspielhauses“, in: *Zeitung für die elegante Welt* 9, 69-70.
- Anonym (1803): „Allgemeine Uebersicht der vorzüglichen Deutschen Bühnen“, in: *Der Freimüthige, Berlinische Zeitung für gebildete, unbefangene Leser* 1, 4.
- Anonym (1817): „Mälzels Metronom“, in: *Allgemeine Musikalische Zeitung* 25, v. 18. Juni, 417-422.
- Anonym (1873): „The Atmospheric Telegraph“, in: *Nature*, v. 27.11.1873, 64-66.
- Anonym (1875): „Der Gewehr-Telemeter (Distanzmesser) von Le Boulangé. Modell 1875“, in: *Allgemeine Schweizerische Militär-Zeitung. Organ der schweizerischen Armee* 21(51), 401-402.
- Anonym (1884): „Die Ausstellung in Philadelphia“, in: *Zeitschrift für Elektrotechnik* 2(19), 606-607.
- Anonym (1890): „The Phonotelemeter“, in: *Scientific American Supplement* 731, v. 4. Januar, 11680.
- Anonym (1901): „Submarine Signaling: To Be Given a Practical Test Off Boston Harbor“, in: *The St. Paul Globe*, v. 6. August 1901, 8.
- Anonym (1902): „Successful Test of a Submarine Bell“, in: *Marine Review* 25(4), v. 23. Januar, 24.
- Anonym (1923): „Sound Waves Probe the Blackest Ocean Depths 5000 Fathoms Under the Sea. How U.S. Destroyers Chart Atlantic Floor“, in: *Popular Science Monthly* 102(5), v. 4. Mai, 64-65.
- Anonym (1934): „How Echoes Are Produced: NBC Engineers Perfect Artificial Sound Reflection“, in: *Broadcast News* 13, 26-27.
- Anonym (1945): „Radar: A Story in Pictures“, in: *Bell Telephone Magazine* 24(4), 256-282.
- Anonym (1954): „Sound-Wave Portrait in the Flesh. A Sonarlike Device Produces Pictures of the Human Body's Soft Tissues which are Invisible to X-rays“, in: *Life*, v. 20. September, 71-72.
- Anonym (o.J.): „The IEX Speed Bump“, <https://exchange.iex.io/about/speed-bump>, 29.10.2022.

- Appleton, Edward (1945): „The Scientific Principles of Radiolocation“, in: *Journal of the Institution of Electrical Engineers* 92(57), 340-353.
- Appleton, Edward Victor/Builder, G. (1931): „A Simple Method of Investigating Wireless Echoes of Short Delay“, in: *Nature* 127, 970.
- von Ardenne, Manfred (1988): *Sechzig Jahre für Forschung und Fortschritt*, Berlin, 158-160.
- Arenberg, David L. (1948): „Ultrasonic Solid Delay Lines“, in: *The Journal of the Acoustical Society of America* 20, 1-26.
- Arnheim, Rudolf (1936): *Radio*, übers. v. Margaret Ludwig u. Herbert Read, London.
- Arnheim, Rudolf (2001 [1936]): *Rundfunk als Hörkunst und weitere Aufsätze zum Hörfunk*, Frankfurt a.M.
- Arnold, Ingmar (2000): *Luft-Züge. Die Geschichte der Rohrpost in Berlin und anderswo*, Berlin.
- Arnold, Ingmar (2016): *Luft-Züge. Die Geschichte der Rohrpost*, Berlin.
- Aronova, Elena/von Oertzen, Christine/Sepkoski, David (2017) (Hrsg.), *Osiris* 32, „Data Histories“.
- Bachelard, Gaston (1988 [1934]): *Der neue wissenschaftliche Geist*, übers. v. Michael Bischoff, Frankfurt a.M.
- Bachmann-Medick, Doris (2016): „Chapter VI: The Spatial Turn“, in dies.: *Cultural Turns. New Orientations in the Study of Culture*, Berlin/Boston, 211-243.
- Bacon, Francis (1859 [1627]): „Sylva Sylvarum or A Natural History“, in: *The Works of Francis Bacon* 11, hrsg. v. J. Spalding et al., London.
- von Baer, Karl Ernst (1907): *Schriften. Eingeleitet und ausgewählt von Remigius Stölzle*, Stuttgart.
- Barad, Karen (1998): „Getting Real: Technoscientific Practices and the Materialization of Reality“, in: *Differences: A Journal of Feminist Cultural Studies* 10(2), 87-128.
- Barberi, Alessandro (2000): „Weil das Sein eine Geschichte hat: Ein Gespräch mit Friedrich A. Kittler“, in: *Österreichische Zeitschrift für Geschichtswissenschaften* 11(4), 109-123.
- Bardini, Thierry (2000): *Bootstrapping. Douglas Engelbart, Coevolution, and the Origins of Personal Computing*, Stanford.
- Barthes, Roland (1990): „Zuhören“, in: ders.: *Der entgegenkommende und der stumpfe Sinn*, Frankfurt a.M., 249-263.
- Batcheller, Birney Clark (1897): *The Pneumatic Despatch Tube System of the Batcheller Pneumatic Tube Co. Also Facts and General Information Relating to Pneumatic Despatch Tubes*, Philadelphia.
- Baxter, James Phinney (1946): *Scientists Against Time*, Boston.

- Behm, Alexander (1906): „Meß- und Registriervorrichtung für Amplituden schwingender Körper“, Kaiserliches Patentamt, Nr. 182126. Patentierte im Deutschen Reich vom 11. April 1906 ab.
- Behm, Alexander (1916): „Anordnung zur Bestimmung von Meerestiefen und sonstigen Entfernungen unter Wasser“ (Basis Schallgeschwindigkeit), deutsches Patent Nr. 310,690, eingereicht am 7.1.1916, veröffentlicht am 26.09.1921.
- Behm, Alexander (1921): „Das Behm-Echolot“, in: *Annalen der Hydrographie und maritimen Meteorologie* 49(8), 241-247.
- Behm, Alexander (1928), „Die Entstehung des Echolots“, in: *Die Naturwissenschaften* 16(45-47), 962-969.
- Behr, Adalbert/Hoffmann, Alfred (1984): *Das Schauspielhaus in Berlin*, Berlin.
- Bell, P.R./Forbes, G.D. /MacNichol, E.F. (1949): „Storage Tubes“, in: Chance et al. (Hrsg.), *Waveforms*, 707-729.
- Bender, Hendrik/Kanderske, Max (2022): „Co-Operative Aerial Images: A Geomedia History of the View from Above“, in: *New Media & Society* 24(11), 2468-2492.
- Benn, Gottfried (1991 [1949]): „Der Radardenker“, in: *Sämtliche Werke. Band V. Prosa 3*, hrsg. v. Gerhard Schuster, Stuttgart, 65-79.
- Bennett, William R. (1983): „Secret Telephony as a Historical Example of Spread-Spectrum Communication“, in: *IEEE Transactions on Communications* 31(1), 1983, 98-104.
- Berz, Peter (2009): „Bitmapped Graphics“, in: Axel Volmar (Hrsg.), *Zeitkritische Medien*, Berlin, 127-154.
- Bessel, Friedrich Wilhelm (1876 [1823]): „Persönliche Gleichung bei Durchgangsbeobachtungen“, in: ders.: *Abhandlungen in drei Bänden. Band III*, hrsg. v. Rudolf Engelmann, Leipzig, 300-304.
- Bettel, Florian (2011): „Der ‚vollkommenen‘ Welt um einen Schritt näher. Die Rohrpost am Arbeitsplatz in fünf Bildern“, in: *Blätter für Technikgeschichte* 73, 127-148.
- Bitsch, Annette (2008): „Physiologische Ästhetik. Nietzsches Konzeption des Körpers als Medium“, in: *Nietzscheforschung* 15, 167-188.
- Bitsch, Annette (2009): *Diskrete Gespenster. Die Genealogie des Unbewussten aus der Medientheorie und Philosophie der Zeit*, Bielefeld.
- Blackwell, O.B. (1932): „The Time Factor in Telephone Transmission“, in: *The Bell System Technical Journal* 11, 53-66.
- Blake, Lucien (1889): „Signaling Between Vessels Upon Water“, United States Patent Office, Application filed October 1, Patented October 3, 1893.

- Blake, R.F. (1916): „Submarine Signaling – The Protection of Shipping by a Wall of Sound and Other Uses of the Submarine Telegraph Oscillator“, in: *Annual Report of the Board of Regents of the Smithsonian Institution 1915*, 203-213.
- Blume, Stuart S. (1992): *Insight and Industry: On the Dynamics of Technological Change in Medicine*, Cambridge, MA/London.
- Bochow, Martin (1933): *Schallmesstrupp 51; vom Krieg der Stoppuhren gegen Mörser und Haubitzen*, Stuttgart/Berlin/Leipzig.
- du Bois-Reymond, Emil (1849): *Untersuchungen über thierische Elektrizität. Zweiter Band. Dritter Abschnitt*, Berlin.
- du Bois-Reymond, Emil (1883): *Goethe und kein Ende. Rede bei Antritt des Rectors der Königlichen Friedrich-Wilhelms-Universität zu Berlin am 15. October 1882*, Leipzig.
- Boone, J.V./Peterson, R.R. (2000): *The Start of the Digital Revolution, SIGSALY: Secure Digital Voice Communications in World War II*, Center for Cryptologic History, National Security Agency, Fort George Meade in Maryland.
- Bonnycastle, Charles (1840): „Notes of Experiments, made August 22d to 25th, 1838, with the View of Determining the Depth of the Sea by the Echo“, in: *Proceedings of the American Philosophical Society, Held at Philadelphia for Promoting Useful Knowledge* 1(4), 39-42.
- Bontemps, Charles (1873): „Note sur un procédé pour la détermination du point d'arrêt d'un convoi de dépêches dans les tubes pneumatiques“, in: *Journal de Physique Théorique et Appliquée* 2(1), 257-260.
- Bontemps, Charles (1874): „Note on a Method of Discovering the Point of Stoppage of a Carrier in Pneumatic Tubes“, in: *Journal of the Society of Telegraph Engineers* 3(7), 500-502.
- Bontemps, Charles (1875): „The Pneumatic Telegraphs of Paris“, in: *Minutes of Proceedings of the Institution of Civil Engineers* 43, 116-134.
- Bontemps, Charles (1876): *Les Systèmes Télégraphiques. Aériens – Électriques – Pneumatiques*, Paris.
- Borbach, Christoph (2017): „Experimentelle Praktiken. Apparative Radioexperimente in der Weimarer Republik“, in: *Navigationen: Zeitschrift für Medien- und Kulturwissenschaften* 17(1), 129-149.
- Borbach, Christoph/Thielmann, Tristan (2019): „Über das Denken in Ko-Operationsketten. Arbeiten am Luftlagebild“, in: Sebastian Gießmann/Tobias Röhl/Ronja Trischler (Hrsg.), *Materialität der Kooperation*, Wiesbaden, 115-167.
- Borbach, Christoph (2020): „Epistemologisches Reverse Engineering. Oder: Über Techniktheorie(n), Gilbert Simondon und das Echolot“, in: Eckhard Geitz/Christian Vater/Silke Zimmer-Merkle (Hrsg.), *Black Boxes – Versiegelungskon-*

- texte und Öffnungsversuche. *Interdisziplinäre Perspektiven*, Berlin et al., 227-252.
- Borbach, Christoph (2022): „A Wall of Sound“. Das Unterwasserschallsignalwesen als Hörregime und technoakustische Einkerbung des Ozeans“, in: Tomy Brautschek et al. (Hrsg.), *Acoustic Intelligence. Hören und Gehorchen*, Berlin/Boston, 133-154.
- Borbach, Christoph (vorauss. 2024): „Lines of Navigation. Das Kabel als Leit-Medium im submarinen Raum“, in: Ruth Schilling/Dennis Niewerth (Hrsg.), *Medialitäten des Meeres*, Bielefeld.
- Boslaugh, David L. (1999): *When Computers Went to Sea. The Digitization of the United States Navy*, Los Alamitos et al.
- Bowden, Bertram Vivian/Ridenour, Louis N. (1947): „Early Aircraft-warning Radar“, in: Louis N. Ridenour (Hrsg.), *Radar System Engineering* (MIT Radiation Laboratory Series 1), New York, 175-182.
- Bowden, Bertram Vivian (1947): „Radar in the RAF Fighter Command“, in: Louis N. Ridenour (Hrsg.), *Radar System Engineering* (MIT Radiation Laboratory Series 1), New York, 226-228.
- Bowden, Bertram Vivian (1985): „The Story of IFF (identification friend or foe)“, in: *IEE Proceedings* 132(6), 435-437.
- Bowen, Edward George (1987): *Radar Days*, Bristol.
- Bowker, Geoffrey C. (2010): „All Knowledge is Local“, in: *Learning Communities: Journal of Learning in Social Contexts* 6(2), 138-149.
- Boyce, Joseph C. (1947) (Hrsg.), *New Weapons for Air Warfare. Fire-Control Equipment, Proximity Fuzes, and Guided Missiles*, Boston.
- Boyd, Ceilyn (2022): „Data as Assemblage“, in: *Journal of Documentation* 78(6), 1338-1352.
- Böhme, Hartmut (2004): „Das Unsichtbare. Mediengeschichtliche Annäherungen an ein Problem neuzeitlicher Wissenschaft“, in: Sybille Krämer (Hrsg.), *Performativität und Medialität*, München, 215-245.
- Bray, Douglas W. (1947): „Standardized Performance Checks“, in: Stuart W. Cook (Hrsg.), *Psychological Research on Radar Observer Training* (Army Air Forces Aviation Psychology Program Research Reports 12), Washington, D.C., 95-125.
- Brech, Martha (2015): „Grundlagenforschung und Erfindungen zum räumlichen Hören ab 1881“, in: dies.: *Der hörbare Raum. Entdeckung, Erforschung und musikalische Gestaltung mit analoger Technologie*, Bielefeld, 73-112.
- Breit, Gregory/Tuve, Merle A. (1925): „Note on a Radio Method of Estimating the Height of the Conducting Layer“, in: *Terrestrial Magnetism and Atmospheric Electricity* 30(1), 15-16.

- Breit, Gregory/Tuve, Merle A. (1925): „A Radio Method of Estimating the Height of the Conducting Layer“, in: *Nature* 116, 357.
- Breit, Gregory/Tuve, Merle A. (1926): „A Test of the Existence of the Conducting Layer“, in: *Physical Review* 28, 554-575.
- Brennecke, W. (1921): „Ausblicke für die Verwendung des Behm Echolots“, in: *Annalen der Hydrographie und maritimen Meteorologie* 49(8), 363-364.
- Brown, Ralph (1937): „Transoceanic Radio Telephone Development“, in: *Bell System Technical Journal* 16, 560-567.
- 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.
- Bruton, Elizabeth/Coleman, Paul (2016) „Listening in the Dark: Audio Surveillance, Communication Technologies, and the Submarine Threat during the First World War“, in: *History and Technology* 32(3), 245-268.
- Buderi, Robert (1996): *The Invention That Changed the World. How a Small Group of Radar Pioneers Won the Second World War and Launched a Technological Revolution*, New York.
- Bureau of Naval Personnel, Standards and Curriculum Division, Training (1944): *Submarine Sonar Operator's Manual*, NAVPERS [Naval Personnel] 16167, Washington, D.C.
- Bureau of Naval Personnel (1953): *Naval Sonar*. NAVPERS 10884, Washington, D.C.
- Bureau of Naval Personnel (1957): *Navy Training Courses: NAVPERS 10138-C: Sonarman 3 & 2, Vol. 1*, Washington, D.C.
- Burgess, Richard James (2014): *The History of Music Production*, New York.
- Burkhardt, Marcus (2015): *Digitale Datenbanken. Eine Medientheorie im Zeitalter von Big Data*, Bielefeld.
- Buschauer, Regine (2010): *Mobile Räume. Medien- und diskursgeschichtliche Studien zur Tele-Kommunikation*, Bielefeld.
- Callon, Michel (1986): „Some Elements of a Sociology of Translation. Domestication of the Scallops and the Fishermen of Saint Brieuc Bay“, in: John Law (Hrsg.), *Power, Action and Belief. A new Sociology of Knowledge?*, London, 196-233.
- Campbell, Robert (1999): „Mark II, an Improved Mark I“, in: *Makin' Numbers. Howard Aiken and the Computer*, hrsg. v. I. Bernard Cohen u. Gregory W. Welch in Zusammenarbeit mit Robert V.D. Campbell, Cambridge, MA/London, 111-127.
- Camprubí, L./Hui, A.E. (2020): „Testing the Underwater Ear: Hearing, Standardizing, and Classifying Marine Sounds from World War I to the Cold War“, in: Viktoria Tkaczyk/Mara Mills/A. Hui (Hrsg.), *Testing Hearing: The Making of Modern Aurality*, New York, 301-326.

- Canales, Jimena (2009): *A Tenth of a Second: A History*, Chicago, Ill./London.
- Case, Judd A. (2010): *Geometry of Empire: Radar as Logistical Medium*, Dissertation, University of Iowa.
- Case, Judd A. (2013): „Logistical Media: Fragments from Radar’s Prehistory“, in: *Canadian Journal of Communication* 38(3), 379-396.
- Casper, Monica J. (1998): *The Making of the Unborn Patient: A Social Anatomy of Fetal Surgery*, New Brunswick et al.
- Catel, Louis (1802): *Vorschläge zur Verbesserung der Schauspielhäuser*, Berlin.
- Cavell, Richard (2004): „McLuhan in Space“, in: John Moss/Linda M. Morra (Hrsg.), *At the Speed of Light There is Only Illumination: A Reappraisal of Marshall McLuhan*, Ottawa, 165-184
- de Certeau, Michel (1988 [1980]): „Praktiken im Raum“, in: ders.: *Kunst des Handelns*, Berlin, 179-238.
- Ceruzzi, Paul E. (2018): *GPS*, Cambridge, MA/London.
- Chance, Britton et al. (1949) (Hrsg.), *Electronic Time Measurements* (MIT Radiation Laboratory Series 20), New York.
- de Chaumont, Chevalier (1974 [1766]): *Véritable construction d'un théâtre d'opéra à l'usage de la France* [Kurtztitel], Paris, Reprint Genf.
- Cherbuliez (1871): „Geschichtliche Uebersicht der Untersuchungen über die Schallfortpflanzungsgeschwindigkeit in der Luft“, in: *Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft in Bern aus dem Jahre 1870*, 711-744, 151-191.
- Chladni, Ernst Florens Friedrich (1802): *Die Akustik*, Leipzig.
- Churchill, Winston (1985 [1949]): *The Second World War Volume II: Their Finest Hour*, Boston.
- Clark, Latimer (1868): „Testing for Faults“, in: ders.: *An Elementary Treatise on Electrical Measurement for the Use of Telegraph Inspectors and Operators*, London, 69-77.
- Clarke, Joseph C. (2021): „‚Worin das Angenehme dieses Nachhalles besteht‘: Carl Ferdinand Langhans und räumlicher Klang um 1810“, in: Nina Amstutz et al. (Hrsg.), *Das Bild der Natur in der Romantik. Kunst als Philosophie und Wissenschaft*, Leiden, 147-176.
- Clarke, Joseph L. (2021): *Echo’s Chambers. Architecture and the Idea of Acoustic Space*, Pittsburgh.
- Clymer, A. Ben (1993): „The Mechanical Analog Computers of Hannibal Ford and William Newell“, in: *IEEE Annals of the History of Computing* 15(2), 19-34.
- Cox, Christoph (2011): „Beyond Representation and Signification: Toward a Sonic Materialism“, in: *Journal of Visual Culture* 10(2), 145-161.

- 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.
- Culley, Richard Spelman/Sabine, Robert (1876): „The Pneumatic Transmission of Telegrams“, in: *Minutes of Proceedings of the Institution of Civil Engineers* 43, 53-104.
- Danto, Arthur C. (1965): *Analytic Philosophy of History*, Cambridge.
- Daston, Lorraine/Galison, Peter (2007): *Objektivität*, Frankfurt a.M.
- Deane, Cormac (2016): „The Control Room: A Media Archaeology“, <https://culturemachine.net/vol-16-dronecultures/the-control-room>, 14.10.2022.
- Defant, A. (1927): „Über die wissenschaftlichen Aufgaben und Ergebnisse der Expedition“, in: *Die Deutsche Atlantische Expedition auf dem Vermessungs- und Forschungsschiff „Meteor“*, Festsitzung zur Begrüssung der Expedition am 24. Juni 1927, Sonderabdruck aus der Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin 1927(7/8), 359-369.
- Deleuze, Gilles (1990 [1985]): *Kino II. Das Zeit-Bild*, Frankfurt a.M.
- Deleuze, Gilles (1987): *Foucault*, übers. v. Hermann Kocyba, Frankfurt a.M.
- Deloraine, E.M. (1965): „The 25th Anniversary of Pulse Code Modulation: Historical Background“, in: *IEEE Spectrum* 2(5), 56-57.
- Derrida, Jacques (1983 [1967]): *Grammatologie*, übers. v. Hans-Jörg Rheinberger u. Hanns Zischler, Frankfurt a.M.
- van Dijck, José (2005): *The Transparent Body. A Cultural Analysis of Medical Imaging*, Seattle/London.
- Donders, Franciscus Cornelis (1868): „Die Schnelligkeit psychischer Prozesse“, in: *Archiv für Anatomie, Physiologie und wissenschaftliche Medizin* 35, 657-681.
- Doyle, Peter (2005): *Echo & Reverb. Fabricating Space in Popular Music Recording 1900-1960*, Middletown.
- Döring, Jörg/Thielmann, Tristan (2009) (Hrsg.), *Mediengeographie: Theorie – Analyse – Diskussion*, Bielefeld.
- Döring, Jörg/Thielmann, Tristan (2008) (Hrsg.), *Spatial Turn. Das Raumparadigma in den Kultur- und Sozialwissenschaften*, Bielefeld.
- Döring, Karl (1908): *Über die Geschwindigkeit des Schalles in Flüssigkeiten*, Bonn.
- Dreyer, John L. E. (1877): „On Personal Errors in Astronomical Transit Observations“, in: *Proceedings of the Royal Irish Academy. Science, 1875-1877* 2, 484-528.
- DuBridge, L. A. (1946): „History and Activities of the Radiation Laboratory of the Massachusetts Institute of Technology“, in: *Review of Scientific Instruments* 17(1), 1-5.

- Dudgeon, R.E. (1882): *The Sphygmograph. Its History and Use as an Aid to Diagnosis in Ordinary Practice*, London.
- Dumont, Gabriel Pierre Martin (1766): *Parallèle des plans des plus belles salles de spectacles d'Italie et de France*, Paris.
- Dussik, Karl Theo (1942): „Über die Möglichkeit, hochfrequente mechanische Schwingungen als diagnostisches Hilfsmittel zu verwerten“, in: *Zeitschrift für die gesamte Neurologie und Psychiatrie* 174, 153-168.
- Dussik, Karl Theo (1948): „Ultraschalldiagnostik, insbesondere bei Gehirnerkrankungen, mittels Hy-perphonographie“, in: *Zeitschrift für physikalische Therapie* 1, 9-10.
- Dussik, Karl Theo (1949): „Zum heutigen Stand der medizinischen Ultraschallforschung“, in: Leopold Arzt (Hrsg.), *Zweite Österreichische Ärztetagung Salzburg. 6. bis 8. September 1948*, Wien, 354-361.
- Dussik, Karl Theo/Dussik, F./Wyt, L.: (1947): „Auf dem Wege zur Hyperphonographie des Gehirns“, in: *Wiener medizinische Wochenschrift* 97(38-39), 425-429.
- Easton, Richard D./Frazier, Eric F. (2013): *GPS Declassified. From Smart Bombs to Smartphones*, Lincoln.
- Ebeling, Knut (2014): *Quote/Unquote. Kleine Archäologie der Operatoren*, Köln.
- 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.
- 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.
- Edwards, Paul N. (1996): *The Closed World: Computers and the Politics of Discourse in Cold War America*, Cambridge, MA.
- Eells, Albert F. (1904): „Method of Sea-Sounding“. United States Patent Office No. 837.551. Filed March 20, 1904, Patented December 12, 1906.
- Emslie, Alfred G./McConnell, Robert A. (1947): „Moving Target Identification“, in: Louis N. Ridenour (Hrsg.), *Radar System Engineering* (MIT Radiation Laboratory Series 1), New York, 626-679.
- Engell, Lorenz et al. (2004) (Hrsg.), *Archiv für Mediengeschichte* 4, „1950 – Wende-marke der Mediengeschichte“.
- Encke, Julia (2006): *Augenblicke der Gefahr. Der Krieg und die Sinne 1914-1934*, München.
- Engell, Lorenz (1999): „Wege, Kanäle, Übertragungen. Zur Einführung“, in: Claus Pias et al. (Hrsg.), *Kursbuch Medienkultur. Die maßgeblichen Theorien von Brecht bis Baudrillard*, Stuttgart, 126-133.

- Ernst, Wolfgang (2008): „Zum Begriff des Sonischen“, https://edoc.hu-berlin.de/bitstream/handle/18452/21055/pst10_ernst.pdf, 28.12.2022.
- Ernst, Wolfgang (2009): „Das Archiv als Gedächtnisort“, in: Knut Ebeling/Stephan Günzel (Hrsg.), *Archivologie. Theorien des Archivs in Philosophie, Medien und Künsten*, Berlin, 177-200.
- Ernst, Wolfgang (2012): *Chronopoetik. Zeitweisen und Zeitgaben technischer Medien*, Berlin.
- Ernst, Wolfgang (2012): *Gleichursprünglichkeit. Zeitwesen und Zeitgegebenheiten technischer Medien*, Berlin.
- Ernst, Wolfgang (2013): *Signale aus der Vergangenheit. Eine kleine Geschichtskritik*, München.
- Ernst, Wolfgang (2014): „Zwischen(-)Speichern und Übertragen. Eine medienarchäologische Analyse des digitalen Gedächtnisses“, in: Oliver Hinte/Eric Steinhauer (Hrsg.), *Die digitale Bibliothek und ihr Recht – eine Stiefkind der Informationsgesellschaft?*, Münster, 85-107.
- Ernst, Wolfgang (2015): *Im Medium erklingt die Zeit. Technologische Temporalitäten und das Sonische als ihre privilegierte Erkenntnisform*, Berlin.
- Ersch, J. S./Gruber, J. G. (1830): *Allgemeine Encyclopädie der Wissenschaften und Künste in alphabetischer Folge. 21. Teil*, Leipzig, 204-209.
- Everett, Robert R. (1983) (Hrsg.), *Annals of the History of Computing* 5(4), Special Issue: „SAGE (Semi-Automatic Ground Environment)“.
- Exner, Sigmund (1873): „Experimentelle Untersuchung der einfachsten psychischen Prozesse“, in: *Archiv für die gesamte Physiologie des Menschen und der Thiere* 7(1), 601-660.
- Faraday, Michael (1854): „On Electric Induction. Associated Cases of Current and Static Effects“, in: *Notices of the Proceedings at the Meetings of the Members of the Royal Institution with Abstracts of the Discourses Delivered at the Evening Meetings* 1, 345-355.
- Farman, Jason (2018): *Delayed Response. The Art of Waiting from the Ancient to the Instant World*, New Haven/ London.
- Farquhar, Dion (1996): *The Other Machine: Discourse and Reproductive Technologies*, New York/London.
- Fast, Karin/Abend, Pablo (2022) (Hrsg.), *New Media & Society* 24(11), „Geomedia Histories“.
- Fay, Harold (1963): *Submarine Signal Log*, Portsmouth, RI.
- Feld, Steven (2018): „Akustemologie“, in: Daniel Morat/Hansjakob Ziemer (Hrsg.), *Handbuch Sound. Geschichte – Begriffe – Ansätze*, Stuttgart, 2-7.

- Feldmann, H. (1997): „Die Geschichte der Stimmgabel Teil 1. Die Erfindung der Stimmgabel, ihr Weg in der Musik und den Naturwissenschaften“, in: *Laryngo-Rhino-Otologie* 76(2), 116-122.
- Fessenden, Helen (1940): *Fessenden. Builder of Tomorrows*, New York.
- Fessenden, Reginald A. (1913): „Dynamo-Electric Machinery“, United States Patent Office No. 1.167.366, Application filed January 29, 1913, Patented January 4, 1916.
- Fickers, Andreas (2007): „*Politique de la grandeur*“ versus „*Made in Germany*“. *Politische Kulturgeschichte der Technik am Beispiel der PAL-SECAM-Kontroverse*, München.
- Fingerhut, Elena (2019): „Übertragen und Speichern. Zum Verhältnis von Adressen und medialen Gehäusen“, in: Christina Bartz et al. (Hrsg.), *Gehäuse. Mediale Einkapselungen*, Paderborn, 343-361.
- Firestone, Floyd A. (1940): „Flaw Detecting Device and Measuring Instrument“, United States Patent Office No. 2.280.226, Application Filed May 27, 1940, Patented April 21, 1942.
- Firestone, Floyd A. (1946): „The Supersonic Reflectoscope, an Instrument for Inspecting the Interior of Solid Parts by Means of Sound Waves“, in: *The Journal of the Acoustical Society of America* 17(3), 287-299.
- Fischer, F.A. (1956): „Impulsanalyse. Die mathematisch-physikalischen Grundbegriffe der Impulstechnik“, in: F. Winckel (Hrsg.), *Impulstechnik. Vortragsreihe des Außeninstituts der Technischen Universität Berlin-Charlottenburg*, Berlin/Heidelberg, 1-39.
- Fischer, Sabine (2013): *Hellhörige Häuser. Akustik als Funktion der Architektur, 1920-1970*, Dissertation, ETH Zürich.
- Fizeau, Hippolyte Louis/Gounelle, Eugène (1850): „Untersuchungen über die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Elektrizität“, in: *Polytechnisches Journal* 117, 125-128.
- Flusser, Vilém (1985): *Ins Universum der technischen Bilder*, Göttingen.
- Flusser, Vilém (2006 [1991]): „Räume“, in: Jörg Dünne/Stephan Günzel (Hrsg.), *Raumtheorie. Grundagentexte aus Philosophie und Kulturwissenschaften*, Frankfurt a.M., 274-285.
- 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.
- Foucalt, Michel (1990 [1967]): „Andere Räume“, in: Karlheinz Barck et al. (Hrsg.), *Aisthesis. Wahrnehmung heute oder Perspektiven einer anderen Ästhetik*, Leipzig, 34-46.

- Foucault, Michel (1987 [1971]): „Nietzsche, die Genealogie, die Historie“, in: ders.: *Von der Subversion des Wissens*, Frankfurt a.M., 69-90.
- Fox, Barry (1986): „What Television Did in the War“, in: *New Scientist* 1532, 35-38.
- Frost, Gary (2001): „Inventing Schemes and Strategies: The Making and Selling of the Fessenden Oscillator“, in: *Technology and Culture* 42(3), 462-488.
- Gabor, Dennis (1946): „Theory of Communication“, in: *Journal of the Institution of Electrical Engineers* 93(26), 429-457.
- Gaboury, Jacob (2018): „The Random-Access Image: Memory and the History of the Computer Screen“, in: *Grey Room* 70, 24-53.
- Gaboury, Jacob (2021): *Image Objects. An Archaeology of Computer Graphics*, Cambridge, MA.
- Gabrys, Jennifer (2019): *How To Do Things with Sensors*, Minneapolis.
- Galison, Peter (2003): *Einstein's Clocks, Poincaré's Maps: Empires of Time*, New York.
- Galison, Peter (2003): *Einsteins Uhren, Poincarés Karten. Die Arbeit an der Ordnung der Zeit*, übers. v. Hans Günter Holl, Frankfurt a.M.
- Galloway, Alexander R. (2022): „Golden Age of Analog“, in: *Critical Inquiry* 48(2), 211-232.
- Gardiner, William (1841 [1832]): *The Music of Nature*, Boston.
- Garfinkel, Harold (1967): *Studies in Ethnomethodology*, Englewood Cliffs.
- Garfinkel, Harold (2008 [1952]): *Toward a Sociological Theory of Information*, hrsg. v. Anne Rawls, Boulder.
- Gehler, Johann Samuel Traugott (1798): *Physikalisches Wörterbuch, Neue Auflage, 3. Theil*, Leipzig.
- Geistbeck, Michael (1895): *Der Weltverkehr. Seeschifffahrt und Eisenbahnen, Post und Telegraphie. Zweite, neu bearbeitete Auflage*, Freiburg.
- Geoghegan, Bernard Dionysius (2019): „An Ecology of Operations: Vigilance, Radar, and the Birth of the Computer Screen“, in: *Representations* 147(1), 59-95.
- Gere, Charlie (2006): „Genealogy of the Computer Screen“, in: *Visual Communication* 5(2), 141-152.
- Gethmann, Daniel/Sprenger, Florian (2014): *Die Enden des Kabels. Kleine Medien-geschichte der Übertragung*, Berlin.
- Gießmann, Sebastian (2018): „Elemente einer Praxistheorie der Medien“, in: *Zeitschrift für Medienwissenschaft* 10(2), 95-109.
- Gigon, Olof (1950) (Hrsg), Aristoteles: „Von der Seele. Zweites Buch“, in: ders.: *Vom Himmel. Von der Seele. Von der Dichtkunst*, Zürich, 285-318.
- Gitelman, Lisa (2004): „Media, Materiality, and the Measure of the Digital; or, the Case of Sheet Music and the Problem of Piano Rolls“, in: Lauren Rab-

- inovitz/Abraham Geil (Hrsg.), *Memory Bytes: History, Technology, and Digital Culture*, Durham, 199-217.
- Gitelman, Lisa (2013) (Hrsg.), *„Raw Data“ is an Oxymoron*, Cambridge, MA/London.
- Glasoe, G. N./Lebacqz, J. V. (1948): „Preface“, in: dies. (Hrsg.), *Pulse Generators*, ix-x.
- Glasoe, G.N. (1948): „Introduction“, in: G. N. Glasoe/J. V. Lebacqz (Hrsg.), *Pulse Generators* (MIT Radiation Laboratory Series 5), New York, 1-17.
- Glasoe, G. N. (1948): „Parameters Fundamentals to the Design of Pulse Generators“, in: Glasoe/Lebacqz: *Pulse Generators*, 1-5.
- Glasoe, G. N. (1948): „Line-type Pulsers“, in: Glasoe/Lebacqz: *Pulse Generators*, 8-12.
- Glasoe, G. N. (1948): „Method of Approach“, in: Glasoe/Lebacqz: *Pulse Generators*, 15-16.
- Godt, Birgitta (2003): *Aspekte der Radarentwicklung und -anwendung im Zweiten Weltkrieg*, Konstanz.
- Goeth, Sarah (2017): „Fortpflanzung – Verpflanzung: Vegetabile Metaphern in den Wissenskulturen des 18. und 19. Jahrhunderts“, in: *Archiv für Begriffsgeschichte* 59, 61-82.
- von Goethe, Johann Wolfgang (1966 [1811-1830]): „Dichtung und Wahrheit (1811-1830)“, in: *Goethes Werke. Band 10. Hamburger Ausgabe in 14 Bänden*, hrsg. v. Erich Trunz, München.
- Gohr, H./Wedekind, Th. (1940): „Der Ultraschall in der Medizin“, in: *Klinische Wochenschrift* 10(2), 25-29.
- Goldsmith, Thomas T./Mann, Estle Ray (1947): „Cathode-Ray Tube Amusement Device“, United States Patent Office 2.455.992, Filed January 25, 1947, Patented December 14, 1948.
- Goodman, Steve (2010): *Sonic Warfare: Sound, Affect, and the Ecology of Fear*, Cambridge, MA.
- Gorokhov, Vitaly (2006): „The Historical Development of Radar Science and Technology as the Prelude to the Modern Information Revolution“, in: *Icon* 12, 168-189.
- Gray, Stephen (1731): „A Letter to Cromwell Mortimer, M. D., Secr. R. S. containing several Experiments concerning Electricity“, in: *Philosophical Transactions of the Royal Society* (London) 37, 18-44.
- Greenwood, Ivan A./Holdam, J. Vance/MacRae, Duncan (1948) (Hrsg.), *Electronic Instruments* (MIT Radiation Laboratory Series 21), New York.

- Grevsmühl, Sebastian (2007): „Epistemische Topografien. Fotografische und rardatechnische Wahrnehmungsräume“, in: Ingeborg Reichle et al. (Hrsg.), *Verwandte Bilder. Die Fragen der Bildwissenschaft*, Berlin, 263-279.
- Großklaus, Götz (1995): *Medien-Zeit, Medien-Raum: Zum Wandel der raumzeitlichen Wahrnehmung in der Moderne*, Frankfurt a.M.
- Großmann, Rolf/Maria, Hanáček (2016): „Sound as Musical Material. Three Approaches to a Material Perspective on Sound and Music“, in: Jens Papenburg/Holger Schulze (Hrsg.), *Sound as Popular Culture. A Research Companion*, Cambridge, MA, 53-64.
- Grumach, Ernst (1970) (Hrsg.), *Aristoteles: Meteorologie. Über die Welt*, übers. v. Hans Strohm, Berlin.
- Guerlac, Henry (1950): „The Radio Background of Radar“, in: *Journal of the Franklin Institute* 250(4), 285-308.
- Hackmann, Willem (1984): *Seek & Strike. Sonar, Anti-Submarine Warfare and the Royal Navy 1914-54*, London.
- Hackmann, Willem D. (1986): „Sonar Research and Naval Warfare 1914-1954: A Case Study of a Twentieth-Century Establishment Science“, in: *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences* 16(1), 83-110.
- Hagemeyer, Friedrich-Wilhelm (1979): *Die Entstehung von Informationskonzepten in der Nachrichtentechnik. Eine Fallstudie zur Theoriebildung in der Technik in Industrie- und Kriegsforschung*, Dissertation, Berlin, https://weisses-rauschen.de/hero/hagemeyer/hagemeyer_dissertation.pdf, 14.10.2022.
- Hagen, Wolfgang (2008): „Metaxy. Eine historiosemantische Fußnote zum Medienbegriff“, in: Stefan Münkler/Alexander Roesler (Hrsg.), *Was ist ein Medium?*, Frankfurt a.M., 13-29.
- Hagen, Wolfgang (2018): „Sunday Soviets und Blackett’s Circus. Zur Entstehung des Operations Research aus dem Geiste des Radars“, in: Lars Nowak (Hrsg.), *Medien – Krieg – Raum*, Paderborn, 235-260.
- Hahnemann, W. (1920). „Die Unterwasserschalltechnik“, in: *Jahrbuch der Schiffbautechnischen Gesellschaft*, Berlin/Heidelberg, 281-317.
- Hahnemann, W./Lichte, Hugo (1920): „Die moderne Entwicklung der Unterwasserschalltechnik in Deutschland“, in: *Die Naturwissenschaften* 8(45), 871-878, 876-877.
- Haigh, Thomas/Priestley, Mark/Rope, Crispin (2016): *ENIAC in Action. Making and Remaking the Modern Computer*, Cambridge, MA/London.
- Haigh, Thomas/Ceruzzi, Paul E. (2021): *A New History of Modern Computing*, Cambridge, MA.
- Hajek, Hans (1933): *Geschichte der Wiener Rohrpost*, Wien.

- Haldane, Andrew G. (2012): „The Race to Zero“, in: Franklin Allen et al. (Hrsg.), *The Global Macro Economy and Finance*, London/New York, 245-270.
- Halford, J.H./Davidson, D./Waldschmitt, J.A. (1948): „History of Loran“, in: J.A. Pierce/A.A. McKenzie/R.H. Woodward (Hrsg.), *Loran* (MIT Radiation Laboratory Series 4), New York, 19-51.
- Hansen, Mark B.N. (2011): „Medien des 21. Jahrhunderts, technisches Empfinden und unsere originäre Umweltbedingung“, in: Erich Hörl (Hrsg.), *Die technologische Bedingung. Beiträge zur Beschreibung der technischen Welt*, Frankfurt a.M., 365-409.
- Hanson, O.B. (1931): „Microphone Technique in Radio Broadcasting“, in: *The Journal of the Acoustical Society of America* 3, 81-93.
- Hartley, Ralph Vinton Lyon (1928): „Transmission of Information“, in: *Bell System Technical Journal* 7(3), 535-563.
- Haworth, L.J./Tape, G.F. (1947): „The Uses of Radar Relay“, in: Ridenour (Hrsg.), *Radar System Engineering*, 680-681.
- Hayes, Hammond V. (1920): *Submarine Signaling. Its Application in Peace and War*, Boston.
- Hayes, Harvey (1924): „Echo Sounding“, in: *The Hydrographic Review* 2, 135-192.
- Heidenreich, Stefan (2004): *FlipFlop. Digitale Datenströme und die Kultur des 21. Jahrhunderts*, München.
- Heilmann, Till A. (2016): „Zur Vorgängigkeit der Operationskette in der Medienwissenschaft und bei Leroi-Gourhan“, in: *Internationales Jahrbuch für Medienphilosophie* 2(1), 7-30.
- Heising, Raymond A. (1940): „Radio Extension Links to the Telephone System“, in: *Bell System Technical Journal* 19, 611-646.
- von Helmholtz, Hermann (1845): „Ueber den Stoffverbrauch bei der Muskelaktion“, in: *Archiv für Anatomie, Physiologie und wissenschaftliche Medizin*, 72-83.
- von Helmholtz, Hermann (1850): „Messungen über den zeitlichen Verlauf der Zuckung animalischer Muskeln und die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Reizung in den Nerven“, in: *Archiv für Anatomie, Physiologie und wissenschaftliche Medizin* 27, 276-364.
- von Helmholtz, Hermann (1851 [1850]): „Ueber die Methoden, kleinste Zeittheile zu messen, und ihre Anwendung für physiologische Zwecke“, in: *Königsberger Naturwissenschaftliche Unterhaltungen* 2, 167-189.
- von Helmholtz, Hermann (1852): „Messungen über Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Reizung in den Nerven“, in: *Archiv für Anatomie, Physiologie und wissenschaftliche Medizin*, 199-216.

- von Helmholtz, Hermann (1904 [1857]): „Über die physiologischen Ursachen der musikalischen Harmonie“, in ders.: *Populäre Vorträge*, hrsg. v. Daniel Bussier, Boston et al.
- von Helmholtz, Hermann (1867): „Versuche über die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Reizung in den motorischen Nerven des Menschen, welche Hr. N. Baxt aus Petersburg in dessen Laboratorium ausgeführt hat“, in: *Monatsbericht der königlichen preußischen Akademie der Wissenschaften*, 228-234.
- Helmreich, Stefan (2007): „An Anthropologist Underwater. Immersive Soundscapes, Submarine Cyborgs, and Transductive Ethnography“, in: *American Ethnologist* 34(4), 621-641.
- Henry, Joseph (1856): „On Acoustics Applied to Public Buildings“, in: *Tenth Annual Report of the Board of Regents of the Smithsonian Institution*, Washington, D.C., 221-234.
- Henry, Joseph (1886): *Researches in Sound, in Relation to Fog-Signalling. Scientific Writings of Joseph Henry Vol. 1*, hrsg. v. Smithsonian Institution, Washington D.C., 370-510.
- Henry, Joseph (1879): *A Summery of Researches in Sound: Conducted in the Service of the United States Light-House Board During the Years 1865 to 1877*, Washington, D.C.
- Hertz, Heinrich (1888): „Über Strahlen elektrischer Kraft“, in: *Mathematische und Naturwissenschaftliche Mittheilungen aus den Sitzungsberichten der Königlich Preussischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin*, 841-851.
- Heßler, Martina/Liggieri, Kevin (2020) (Hrsg.), *Technikanthropologie. Handbuch für Wissenschaft und Studium*, Baden-Baden.
- Hicks, Mar (2017): *Programmed Inequality. How Britain Discarded Women Technologists and Lost Its Edge in Computing*, Cambridge, MA.
- Higginson, Henry L. (1914): „The Art and Practice of Submarine Signaling“, in: *The North American Review* 200(706), 418-421.
- von Hilgers, Philipp (2012): *War Games: A History of War on Paper*, Cambridge, MA/London.
- Hiller, Moritz/Höltgen, Stefan (2019) (Hrsg.), *Archäographien: Aspekte einer radikalen Medienarchäologie*, Basel.
- Hoffmann, Christoph (1994): „Wissenschaft und Militär. Das Berliner Psychologische Institut und der I. Weltkrieg“, in: *Psychologie und Geschichte* 5, 261-285.
- Hoffmann, Christoph/Berz, Peter (2001) (Hrsg.), *Über Schall. Ernst Machs und Peter Salchers Geschloßfotografien*, Göttingen.
- Hoffmann, Stefan (2002): *Geschichte des Medienbegriffs*, Hamburg.

- Holl, Susanne (2001): „Strahl und Welle. Bilder des Schalls um 1800“, in: Christoph Hoffmann/Peter Berz (Hrsg.), *Über Schall. Ernst Machs und Peter Salchers Geschloßfotografien*, Göttingen, 171-198.
- Holl, Ute (2002): *Kino, Trance und Kybernetik*, Berlin.
- Holtorf, Christian (2013): *Der erste Draht zur neuen Welt. Die Verlegung des transatlantischen Telegrafenkabels*, Göttingen.
- Hopkins, Albert A. (1910) (Hrsg.), *The Scientific American Handbook of Travel*, New York.
- von Hornbostel, Erich Moritz (1923): „Beobachtungen über ein- und zweiohriges Hören“, in: *Psychologische Forschung: Zeitschrift für Psychologie und ihre Grenzwissenschaften* 4, 64-114.
- von Hornbostel, Erich Moritz/Wertheimer, Max (1920): „Über die Wahrnehmung der Schallrichtung“, in: *Sitzungsberichte der Preussischen Akademie der Wissenschaften* 20, 388-396.
- Howry, Douglass H. et al. (1954): „The Ultrasonic Visualization of Carcinoma of the Breast and other Soft-Tissue Structure“, in: *Cancer* 7, 354-358.
- Howry, Douglass H./Bliss, W.R. (1952): „Ultrasonic Visualisation of Soft Tissue Structures of the Body“, in: *Journal of Laboratory and Clinical Medicine* 40, 579-592.
- Höhler, Sabine (2002): „Dichte Beschreibungen‘. Die Profilierung ozeanischer Tiefe im Lotverfahren von 1850 bis 1930“, in: David Gugerli/Barbara Orland (Hrsg.), *Ganz normale Bilder. Historische Beiträge zur visuellen Herstellung von Selbstverständlichkeit* (Interferenzen 2), Zürich, 19-46.
- Höhler, Sabine (2002): „Profilgewinn. Karten der Atlantischen Expedition (1925-1927) der Notgemeinschaft der Deutschen Wissenschaft“, in: *NTM Zeitschrift für Geschichte der Wissenschaften, Technik und Medizin* 10(4), 234-246.
- Höltgen, Stefan/van Treeck, Jan Claas (2016) (Hrsg.), *Time to Play. Zeit und Computerspiel*, Glückstadt.
- Hu, Tung-Hui (2015): *A Prehistory of the Cloud*, Cambridge, MA/London.
- Hughes, Thomas P. (1998): *Rescuing Prometheus: Four Monumental Projects That Changed the Modern World*, New York.
- Hunt, Frederick Vinton (1954): *Electroacoustics. The Analysis of Transduction, and its Historical Background*, Cambridge, MA.
- Huntington, Hillard B./Emslie, Alfred G./Hughes, Vernon W. (1948): „Ultrasonic Delay Lines I“, in: *Journal of the Franklin Institute* 245, 1-23
- Hüppauf, Bernd (2014): *Vom Frosch. Eine Kulturgeschichte zwischen Tierphilosophie und Ökologie*, Bielefeld.
- Iardella, Albert B. (1964) (Hrsg.), *Western Electric and the Bell System. A Survey of Service*, New York.

- Innis, Harold (1950): *Empire and Communications*, Oxford.
- Innis, Harold (1951): *The Bias of Communication*, Toronto.
- Jacobs, John F. (1986): *The SAGE Air Defense System. A Personal History*, Bedford, MA.
- Jacquet, A. (1891): „Studien über graphische Zeitregistrierung“, in: *Zeitschrift für Biologie* 10, 1-38.
- Jany, Susanne (2015): „Operative Räume. Prozessarchitekturen im späten 19. Jahrhundert“, in: *Zeitschrift für Medienwissenschaft* 7(1), 33-43.
- Johach, Eva/Sawicki, Diethard (2013) (Hrsg.), *Übertragungsräume: Medialität und Raum in der Moderne*, Wiesbaden.
- Johnson, J.B. (1932): „The Cathode Ray Oscillograph“, in: *The Bell System Technical Journal* 11(1), 1-27.
- Joint Board on Scientific Information Policy (1945): *Radar. A Report on Science at War*, Washington, D.C.
- Joly, John (1918): „Scientific Signalling and Safety at Sea“, in: *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science* 6(36), 1-35.
- Jones, Kennie H./Gross, Jason (2014): „Reducing Size, Weight, and Power (SWaP) of Perception Systems in Small Autonomous Aerial Systems“, Conference Paper, Atlanta, GA, <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20140011416.pdf>, 26.07.2018.
- Jones, Reginald Victor (1978): *Most Secret War: British Scientific Intelligence 1939-1945*, London.
- Jüllig, Max (1881): „Ueber akustische Distanzmessung. Vortrag, gehalten am 17. November 1880“, in: *Schriften des Vereins zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse* 21, 55-87.
- Jüllig, Max (1881): „Zur Theorie der Metallthermometer“, in: *Jahrbuch über die Fortschritte der Mathematik* 11, hrsg. v. Carl Ohrtmann, Berlin, 785.
- Jüllig, Max (1884): *Die Kabeltelegraphie*, Wien et al.
- Jüllig, Max (1890): „Über die Fortschritte der Telephonie, Vortrag, gehalten den 18. December 1889“, in: *Vorträge des Vereins zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse in Wien* 6(30), 163-196.
- Jüllig, Max (1897): „Submarine Telegraphie und Telephonie“, in: *Zeitschrift für Elektrotechnik. Organ des Elektrotechnischen Vereines in Wien* 15, 254.
- Kahn, David (1984): „Cryptology and the Origins of Spread Spectrum“, in: *IEEE Spectrum* 21(9), 70-80.
- Kahn, Douglas (2013): *Earth Sound Earth Signal. Energies and Earth Magnitude in the Arts*, Oakland.
- Kainz, Christine (1995): *Österreichs Post. Vom Botenposten zum Postboten*, Wien.
- Kassung, Christian (2007): *Das Pendel. Eine Wissensgeschichte*, München.

- Kassung, Christian/Kümmel, Albert (2003): „Synchronisationsprobleme“, in: Albert Kümmel/Erhard Schüttelpelz (Hrsg.), *Signale der Störung*, München, 143-166.
- Katzir, Shaul (2010): „War and Peacetime Research on the Road to Crystal Frequency Control“, in: *Technology and Culture* 51(1), 99-125.
- Katzir, Shaul (2012): „Who knew piezoelectricity? Rutherford and Langevin on Submarine Detection and the Invention of Sonar“, in: *Notes and Records of the Royal Society of London* 66(2), 141-157.
- Kear, F.G./Jackson, W.E. (1930): „Applying the Radio Range to the Airways“, in: *Bureau of Standards Journal of Research* 4, 371-381.
- Keen, R. (1922): *Direction and Position Finding by Wireless*, London.
- Kellogg, Edward W. (1932): „Sound Reproducing System“, United States Patent Office No. 2.017.153, Application filed November 10, 1932, Patented October 15, 1935.
- Kelly, Marvin J. (1945): „Radar and Bell Laboratories“, in: *Bell Telephone Magazine* 24(4), 221-255.
- Kirby, M./Capey, R. (1997): „The Air Defence of Great Britain, 1920-1940: An Operational Research Perspective“, in: *The Journal of the Operational Research Society* 48(6), 555-568.
- Kircher, Athanasius (1983 [1684]): *Neue Hall- und Thonkunst* [Kurtztitel], Hannover.
- Kirsten, Christa (1986) (Hrsg.), *Dokumente einer Freundschaft. Briefwechsel zwischen Hermann von Helmholtz und Emil du Bois-Reymond 1846-1894*, Berlin.
- Kitchin, Rob (2022): *The Data Revolution. A Critical Analysis of Big Data, Open Data & Data Infrastructures. Second Edition*, London et al.
- Kittler, Friedrich (1985): *Aufschreibesysteme 1800/1900*, München.
- Kittler, Friedrich (1986): *Grammophon Film Typewriter*, Berlin.
- Kittler, Friedrich (1988): „Eine Stadt ist ein Medium“, in: Dietmar Steiner et al. (Hrsg.), *Geburt einer Hauptstadt 3: Am Horizont*, Wien, 507-531.
- Kittler, Friedrich (2002 [1988]): „Rockmusik – Ein Missbrauch von Heeresgerät“, in ders.: *Short Cuts* 6, hrsg. v. Peter Gente u. Martin Weinmann, Frankfurt a.M., 7-30.
- Kittler, Friedrich (1988): „Signal-Rausch-Abstand“, in: Hans Ulrich Gumbrecht/Karl Ludwig Pfeiffer (Hrsg.), *Materialität der Kommunikation*, Frankfurt a.M., 342-359.
- Kittler, Friedrich (1990): „Real Time Analysis. Time Axis Manipulation“, in: Georg Christoph Tholen/Michael O. Scholl (Hrsg.), *Zeit-Zeichen. Aufschübe und Interferenzen zwischen Endzeit und Echtzeit*, Weinheim, 363-377.

- Kittler, Friedrich (1993): „Geschichte der Kommunikationsmedien“, in: Jörg Huber/Alois Martin Müller (Hrsg.), *Raum und Verfahren*, Basel, 169-188.
- Kittler, Friedrich (1993): „Real Time Analysis, Time Axis Manipulation“, in: ders.: *Draculas Vermächtnis. Technische Schriften*, Leipzig, 182-206.
- Kittler, Friedrich (1998): „Zur Theoriegeschichte von Information Warfare“, https://webarchive.ars.electronica.art/de/archiv_files/19982/1998a_301.pdf, 31.10.2022.
- Kittler, Friedrich (2002): „Memories are made of you“, in: ders.: *Short Cuts 6*, hrsg. v. Peter Gente/Martin Weinmann, Frankfurt a.M., 41-67.
- Kittler, Friedrich (2002): *Optische Medien. Berliner Vorlesung 1999*, Berlin.
- Kittler, Friedrich (2013): *Die Wahrheit der technischen Welt: Essays zur Genealogie der Gegenwart*, hrsg. v. Hans Ulrich Gumbrecht, Berlin.
- Klemin, Alexander (1947): „Instrumentation, Measurement, and Control“, in: *Scientific American* 176(3), 122-128.
- Klimburg-Witjes, Nina/Poechhacker, Nikolaus/Bowker, Geoffrey C. (2021) (Hrsg.), *Sensing In/Security. Sensors as Transnational Security Infrastructures*, Manchester.
- Knies, Karl (1857): *Der Telegraph als Verkehrsmittel. Mit Erörterungen über den Nachrichtenverkehr überhaupt*, Tübingen.
- Knörr, Kai (2018): *Funken – Eine Medienkulturgeschichte*, Dissertation, Universität Potsdam.
- Koch, Ellen B. (1993): „In the Image of Science? Negotiating the Development of Diagnostic Ultrasound in the Cultures of Surgery and Radiology“, in: *Technology and Culture* 34(4), 858-893.
- König, Albert/Köhler, Horst (1959): *Die Fernrohre und Entfernungsmesser. Dritte völlig neu bearbeitete Auflage*, Berlin/Heidelberg.
- Köhler, Christian (2018): *Mediengeschichte schreiben. Verfahren medialer Historiographie bei Dolf Sternberger und Friedrich Kittler*, Paderborn.
- Krajewski, Markus (2010): *Der Diener. Mediengeschichte einer Figur zwischen König und Klient*, Frankfurt a.M.
- Krajewski, Markus (2014): „Bedienen“, in Heiko Christians/Matthias Bickenbach/Nikolaus Wegmann (Hrsg.), *Historisches Wörterbuch des Mediengebrauchs*, Köln, 90-104.
- Krajewski, Markus (2014): „Synapsen. Zur Geschichte, Theorie und Praxis von (elektronischen) Zettelkästen“, in: René Schneider/Stefan Andreas Keller/Benno Volk (Hrsg.), *Wissensorganisation und -repräsentation mit digitalen Technologien*, Berlin, 39-52.

- Kramar, E. (1956): „Die Anwendung der Impulstechnik in der Funknavigation“, in: F. Winckel (Hrsg.), *Impulstechnik. Vortragsreihe des Außeninstituts der Technischen Universität Berlin-Charlottenburg*, Berlin/Heidelberg, 156-175.
- Krautkrämer, Josef/Krautkrämer, Herbert (1961): *Werkstoffprüfung mit Ultraschall*, Berlin/Göttingen/Heidelberg.
- Krämer, Sybille (2003): „Erfüllen Medien eine Konstitutionsleistung? Thesen über die Rolle medientheoretischer Erwägungen beim Philosophieren“, in: Stefan Münker/Alexander Roesler/Mike Sandbothe (Hrsg.), *Medienphilosophie. Beiträge zur Klärung eines Begriffs*, Frankfurt a.M., 78-90.
- Krämer, Sybille (2008): *Medium, Bote, Übertragung. Kleine Metaphysik der Medialität*, Frankfurt a.M.
- Krämer, Sybille (2016): *Figuration, Anschauung, Erkenntnis. Grundlinien einer Diagrammatologie*, Berlin.
- Krippendorff, Klaus (1994): „Der verschwundene Bote. Metaphern und Modelle der Kommunikation“, in: Klaus Merten/Siegfried J. Schmidt/Siegfried Weischenberg (Hrsg.), *Die Wirklichkeit der Medien*, Wiesbaden, 79-113.
- Kromhout, Melle Jan (2021): *The Logic of Filtering. How Noise Shapes the Sound of Recorded Music*, New York.
- Krüger, Reinhard (2013): *Pneumatische Streifzüge I zur Geschichte der Berliner Rohrpost (1863-1976)*, Frankfurt a.M.
- Krüger, Reinhard (2015): *Studien und Quellen zur Geschichte der Stadtrohrpost Hamburg bis 1935*, Berlin.
- Krüger, Reinhard (2015): *Die Rohrpost von Algier*, Berlin.
- Krüger, Reinhard (2017): *Die Rohrpost von Marseille*, Berlin.
- Krümmel, Otto (1907): *Handbuch der Ozeanographie. Band 1: Die räumlichen, chemischen und physikalischen Verhältnisse des Meeres. Zweite völlig neu bearbeitete Auflage des im Jahre 1884 erschienenen Band I des Handbuchs der Ozeanographie von Prof. Dr. Georg v. Boguslawski*, Stuttgart
- Kuhn, Thomas S. (1962): *The Structure of Scientific Revolutions*, Chicago, Ill.
- Kümmel, Albert/Schüttpelz, Erhard (2003) (Hrsg.), *Signale der Störung*, München.
- Kümmel, Albert/Schüttpelz, Erhard (2003): „Medientheorie der Störung/Störungstheorie der Medien. Eine Fibel“, in: dies. (Hrsg.), *Signale der Störung*, München 9-13.
- Kümmel-Schnur, Albert (2014): „Patente als Agenten von Mediengeschichte“, in: Albert Kümmel-Schnur/Christian Kassung (Hrsg.), *Bildtelegraphie: Eine Mediengeschichte in Patenten (1840-1930)*, Bielefeld, 15-38.
- Lack, Frederick R. (1945): „Radar and Western Electric“, in: *Bell Telephone Magazine* 24(4), 283-294.

- Lancaster, Joan (2002): „24 Hours at Bawdsey Radar Station, November 1944“, in: Gwen Arnold, *Radar Days. Wartime Memoir of a WAAF RDF Operator*, Oxford/Orlando, 132-140.
- Langendorff, Oscar (1891): *Physiologische Graphik. Ein Leitfaden der in der Physiologie gebräuchlichen Registrirmethoden*, Leipzig/Wien.
- Langhans, Carl Ferdinand (1810): *Ueber Theater oder Bemerkungen über Katakaustik in Beziehung auf Theater*, Berlin.
- Langhans, Carl Friedrich (1860): „Das Victoria-Theater in Berlin“, in: *Zeitschrift für Bauwesen* 10, 315-342.
- Langhans, Carl Gotthard (1800): *Vergleichung des neuen Schauspielhauses zu Berlin mit verschiedenen älteren und neueren Schauspielhäusern in Rücksicht auf Akustische und Optische Grundsätze*, Berlin.
- Laposky, Ben Francis (1953): *Oscillons: Electronic Abstractions. A New Approach to Design*, Cherokee, Iowa.
- Laposky, Ben Francis (1958): „Electronic Abstracts – Art for the Space Age“, in: *Proceedings of the Iowa Academy of Science* 65(1), 340-347.
- Latour, Bruno (1986): „Visualization and Cognition. Thinking with Eyes“, in: *Knowledge and Society – Studies in the Sociology of Culture Past and Present* 6, 1-40.
- Latour, Bruno (1987): *Science in Action. How to Follow Scientists and Engineers through Society*, Cambridge, MA.
- Latour, Bruno (1996): „Das Dilemma eines Sicherheitsgurts“, in: ders.: *Der Berliner Schlüssel: Erkundungen eines Liebhabers der Wissenschaften*, übers. v. Gustav Rossler, Berlin, 28-36.
- Latour, Bruno (1996): „Das moralische Gewicht eines Schlüsselanhängers“, in: ders.: *Der Berliner Schlüssel: Erkundungen eines Liebhabers der Wissenschaften*, übers. v. Gustav Rossler, Berlin, 53-61.
- Latour, Bruno (1996): „Der Berliner Schlüssel“, in: ders.: *Der Berliner Schlüssel: Erkundungen eines Liebhabers der Wissenschaften*, übers. v. Gustav Rossler, Berlin, 37-51.
- Latour, Bruno (1999): *Das Parlament der Dinge. Für eine politische Ökologie*, Frankfurt a.M.
- Latour, Bruno (2006): „Drawing Things Together. Die Macht der unveränderlich mobilen Elemente“, in: Andréa Belliger/David J. Krieger (Hrsg.), *ANThology. Ein einführendes Handbuch zur Akteur-Netzwerk-Theorie*, Bielefeld, 259-307.
- Laube, Stefan (2018): „Übertragen“, in: Heiko Christians/Nikolaus Wegmann/Matthias Bickenbach (Hrsg.), *Historisches Wörterbuch des Mediengebrauchs 2*, Köln et al., 458-482.

- Lehrer, Henry R. (2014): *Flying the Beam. Navigating the Early US Airmail Airways, 1917-1941*, West Lafayette.
- Leonhard, Joachim-Felix et al. (2001) (Hrsg.), *Medienwissenschaft. Ein Handbuch zur Entwicklung der Medien und Kommunikationsformen. 2. Teilband*, New York/Berlin.
- Lerman, Nina/Mohun, Arwenand/Oldenzien, Ruth (2003) (Hrsg.), *Gender & Technology: A Reader*, Baltimore.
- Lessing, Gotthold Ephraim (1999 [1766]): „Laokoon, oder Über die Grenzen der Malerei und Poesie“, in: *Werke und Briefe in zwölf Bänden, Bd. 5/2*, hrsg. v. Wilfried Barner, Frankfurt a.M., 11-321.
- Lethen, Helmuth (2000): „Knall an sich: Das Ohr als Einbruchsstelle des Traumas“, in: Inka Mülder-Bach (Hrsg.), *Modernität und Trauma. Beiträge zum Zeitenbruch des Ersten Weltkriegs*, Wien, 192-210.
- Lethen, Helmuth (2015): „Der Lärm der Schlacht und die Stille des Archivs. Psychiater als Gegner der Kriegsliteratur“, in: Wilfried Barner et al. (Hrsg.), *Jahrbuch der deutschen Schiller-Gesellschaft* 58, Berlin et al., 610-623.
- Leupold, Jacob (1724): *Theatro aërostatico. Schau-Platz der Maschinen zu Abwiegung und Beobachtung aller vornehmsten Eigenschaften der Luft*, Leipzig.
- Lewis, Michael (2014): *Flash Boys. A Wall Street Revolt*, New York.
- Lichte, Hugo (1919): „Über den Einfluss horizontaler Temperaturschichtung des Seewassers auf die Reichweite von Unterwasserschallsignalen“, in: *Physikalische Zeitschrift* 17, 385-389.
- Lichte, Hugo (1920): „Entwicklung und heutiger Stand des Unterwasserschall-Signalwesens“, in: *Zentralblatt der Bauverwaltung mit Nachrichten der Reichs- und Staatsbehörden* 40(29), 249-253.
- Light, Jennifer S. (1999): „When Computers Were Women“, in: *Technology and Culture* 40(3), 455-483.
- Lindsay, R. B. (1973): *Acoustics: Historical and philosophical development*, Stroudsburg, PA.
- Link, David (2006): „There Must Be an Angel. On the Beginnings of the Arithmetics of Rays“, in: Siegfried Zielinski/David Link (Hrsg.), *Variantology 2. On Deep Time Relations of Arts, Sciences and Technologies*, Köln, 15-42.
- Loulié, Étienne (1696): *Éléments ou Principes de musique, mis dans un nouvel ordre* [Kurztitel], Paris.
- Löwenstein, Leo (1928): „Die Erfindung der Schallmessung“, in: *Die Schalltechnik* 1(2), 21-24.
- Ludwig, Carl (1847): „Beiträge zur Kenntnis des Einflusses der Respirationsbewegungen auf den Blutlauf im Aortensystem“, in: *Archiv für Anatomie, Physiologie und wissenschaftliche Medizin*, 242-302.

- Ludwig, George D./Struthers, Francis W. (1949): „Considerations Underlying the Use of Ultrasound to Detect Gallstones and Foreign Bodies in Tissue“, in: *Naval Medical Research Institute Reports, Project 004 001, Report No. 4*, o.A.
- Ludwig, George D. (1950): „The Velocity of Sound through Tissues and the Acoustic Impedance of Tissues“, in: *Journal of the Acoustical Society of America* 22(6), 862-866.
- Lübcke, E. (1920): „Über das Hören unter Wasser“, in: *Die Naturwissenschaften* 6, v. 6. Februar, 117-118.
- Lübcke, E. (1920): *Unterwasserschall-Signale als Hilfsmittel für die Navigation und Signalgebung auf See*, Berlin.
- MacKenzie, Donald (2021): *Trading at the Speed of Light. How Ultrafast Algorithms are Transforming Financial Markets*, Princeton, NJ.
- MacLeod, Roy M./Andrews, E. Kay (1971): „Scientific Advice in the War at Sea, 1915-1917: The Board of Invention and Research“, in: *Journal of Contemporary History* 6(2), 3-40.
- Maibaum, Johannes (2021): „Lumped Lines und Bucket Brigades – Verzögerungsleitungen als dynamische Speicher“, in: Wolfgang Ernst/Johannes Maibaum (Hrsg.), *Speicher. Theorie, Technologie, Archäologie. Ausgewählte Schriften von Horst Völz*, Bochum/Freiburg, 147-164.
- Manovich, Lev (1993): „The Mapping of Space: Perspective, Radar, and 3-D Computer Graphics“, <http://manovich.net/content/old/03-articles/01-article-1993/01-article-1993.pdf>, 17.10.2022.
- Manovich, Lev (2001): *The Language of New Media*, Cambridge, MA./London.
- Marey, Étienne-Jules (1885): *La Méthode Graphique ans les Sciences Expérimentales et Principalement en Physiologie et en Médecine*, Paris.
- Mason, W.P. (1931): „Acoustic Delay Circuits“, in: *Bell Laboratories Record* 9(9), 430-432.
- Mathes, Robert C. (1923): „Secret Signaling“, United States Patent Office No. 1.542.566, Application filed June 3, 1923, Patented June 16, 1925.
- Mathes, Robert C. (1924): „Wave Transmission System“, United States Patent Office No. 1.696.315, Application filed November 1, 1924, Patented December 25, 1928.
- Mathes, Robert C. (1929): „Wave Transmission System“, United States Patent Office No. 1.819.649, Application filed March 30, 1929, Patented August 18, 1931.
- Matthews, Sandra/Wexler, Laura (2000): *Pregnant Pictures*, New York/London.
- Maurer, Hans (1927): „Die Lotungen des Forschungsschiffs ‚Meteor‘ und die Nautik“, in: *Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin* 7/8, 371-377.

- Maurer, Hans (1933): *Wissenschaftliche Ergebnisse der Deutschen Atlantischen Expedition auf dem Forschungs- und Vermessungsschiff „Meteor“ 1925–1927. Band II: Die Echolotungen des „Meteor“*, Berlin/Leipzig.
- Maury, Matthew (1855): *The Physical Geography of the Sea. Second Edition, Enlarged and Improved*, New York.
- Maxfield, Joseph P./Harrison, Henry C. (1926): „Methods of High Quality Recording and Reproducing of Music and Speech Based on Telephone Research“, in: *The Bell System Technical Journal* 5, 493-523.
- Maxwell, Diana (2016): *Listen Up! HMS Tarlair and Memories of the Hawkcraft Admiralty Experimental Establishment Station, Aberdour, Fife, 1915-1918*, Aberdour.
- Maxwell, James Clerk (1881): *A Treatise on Electricity and Magnetism. Vol. I. Second Edition*, London.
- Maye, Harun (2010): „Was ist eine Kulturtechnik?“, in: *Zeitschrift für Medien- und Kulturforschung* 1(1), 121-135.
- Mälzel, Johann (1818 [1815]): „Patent Specification for an Instrument, or Instruments, Machine or Machines, for the Improvement of all Musical Performance, which he calls a Metronome or Musical Time-keeper“, in: *The Reperory of Arts, Manufactures, and Agriculture. Consisting of Original Communications, Specifications of Patent Inventions, Practical and Interesting Papers* 33, Second Series, 7-13.
- McCann, Doug/Thorne, Peter (2000): *The Last of the First. CSIRAC: Australia's First Computer*, Melbourne.
- McLuhan, Marshall (1962): *The Gutenberg Galaxy: The Making of Typographic Man*, Toronto.
- McQuire, Scott (2016): *Geomedia: Networked Cities and the Future of Public Space*, Cambridge, UK.
- Meyer, Jochen (1998): *Theaterbautheorien zwischen Kunst und Wissenschaft. Die Diskussion über Theaterbau im deutschsprachigen Raum in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts*, Zürich/Berlin.
- Middleton, P. Harvey (1914): „An Underwater Siren to Prevent Collisions at Sea“, in: *Scientific American* 111(1), 8-10.
- Millet, Josiah Byram (1914): „Recent Developments in Submarine Signaling“, in: *Transactions of the Society of Naval Architects and Marine Engineers* 22, 107-114.
- Mindell, David D. (1996): *„Datum for its Own Annihilation“: Feedback, Control, and Computing, 1916-1945*, Dissertation, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA.

- Mindell, David A. (2000): „Automation’s Finest Hour: Radar and System Integration in World War II“, in: Agatha C. Hughes/Thomas P. Hughes (Hrsg.), *Systems, Experts, and Computers: The Systems Approach in Management and Engineering, World War II and After*, Cambridge, MA., 27-56.
- Mitchell, Lisa M. (2001): *Baby’s First Picture. Ultrasound and the Politics of Fetal Subjects*, Toronto et al.
- Miyazaki, Shintaro (2013): *Algorhythmisiert. Eine Medienarchäologie digitaler Signale und (un)erhörter Zeiteffekte*, Berlin
- Morton, David L. (2006): *Sound Recording. The Life Story of a Technology*, Baltimore.
- Mulvey, Laura (2006): *Death 24x a Second. Stillness and the Moving Image*, London.
- Murray, John/Hjort, Johan (1912): *The Depths of the Ocean. A General Account of the Modern Science of Oceanography based largely on the Scientific Researches of the Norwegian Steamer Michael Sars*, London.
- Muuss, Michael John (o.J.): „The Story of the PING Program“, <https://ftp.arl.army.mil/~mike/ping.html>, 04.11.2022.
- Nake, Frieder (2008): „Surface, Interface, Subface. Three Cases of Interaction and One Concept“, in: Uwe Seifert/Jin Hyun Kim/Anthony Moore (Hrsg.), *Paradoxes of Interactivity. Perspectives for Media Theory, Human-Computer Interaction, and Artistic Investigations*, Bielefeld, 92-109.
- Narracott, A.H. (1941): *How the R.A.F. Works*, London.
- Neubert, Christoph (2015): „Speichern“, in: Heiko Christians/Matthias Bickenbach/Nikolaus Wegmann (Hrsg.), *Historisches Wörterbuch des Mediengebrauchs*, Köln et al., 535-555.
- Neubert, Christoph/Schabacher, Gabriele (2012): „Logistik“, in: Christina Bartz et al. (Hrsg.), *Handbuch der Mediologie*, München, 164-169.
- von Neumann, John (1993 [1945]): „First Draft of a Report on the EDVAC“, in: *IEEE Annals of the History of Computing* 15(4), 27-43.
- Newton, Isaac (1729 [1726]): *The Mathematical Principles of Natural Philosophy in Two Volumes, Vol. II*, London.
- Nicolson, Alexander McLean (1919): „The Piezo Electric Effect in the Composite Rochelle Salt Crystal“, in: *Transactions of the American Institute of Electrical Engineers* 38(2), 1467-1493.
- Nicolson, Malcolm/Fleming, John E.E. (2013): *Imaging and Imagining the Fetus. The Development of Obstetric Ultrasound*, Baltimore.
- Nipperdey, Thomas/Schmugge, Ludwig (1970): *50 Jahre Forschungsförderung in Deutschland: Ein Abriß der Geschichte der Deutschen Forschungsgemeinschaft, 1920-1970*, Berlin/Bonn.

- du Nord, Wilhelm (1880): „Schallgeschwindigkeitsmesser mit Regulierung nach verschiedenen Temperaturen“, patentiert im Deutschen Reiche vom 17. November 1880 ab, Patentschrift No. 15529.
- Notgemeinschaft der deutschen Wissenschaft (1926) (Hrsg.), „Aus den Lotungsberichten des Kommandos“, in: *Die Deutsche Atlantische Expedition auf dem Vermessungs- und Forschungsschiff „Meteor“ Band II*, Berlin (Sonderabdruck aus der *Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin* 5/6), 273-274.
- Oberkommando der Kriegsmarine (1944): *Beschreibung einer Gruppenhorch-Anlage, Baumuster AN 301 m, n mit 2x24 Kristallempfängern mit Rumpf- bzw. Balkon-Einbau*, 2. Ausgabe, o.A.
- von Oertzen, Christine (2017): „Die Historizität der Verdattung. Konzepte, Werkzeuge und Praktiken im 19. Jahrhundert“, in: *NTM Zeitschrift für Geschichte der Wissenschaften, Technik und Medizin* 25, 407-434.
- Oldenziel, Ruth (1999): *Making Technology Masculine: Men, Women, and Modern Machines in America, 1870-1945*, Amsterdam.
- Oliver, B.M./Pierce, J.R./Shannon, C.E. (1948): „The Philosophy of PCM“, in: *Proceedings of the IRE* 36(11), 1324-1331.
- Orman, Leonard M. (1947): „Training of Radar Operators“, in: *Coast Artillery Journal* 80(2), 22-27.
- Otto, Isabell (2020): *Prozess und Zeitordnung. Temporalität unter der Bedingung digitaler Vernetzung*, Göttingen.
- Otto, Isabell (2021): „Infrastructuring Leap Seconds: The Regime of Temporal Plurality in Digitally Networked Media“, in: Axel Volmar/Kyle Stine (Hrsg.), *Media Infrastructures and the Politics of Digital Time. Essays on Hardwired Temporalities*, Amsterdam, 107-124.
- Otto, Isabell/Haupts, Tobias (2012) (Hrsg.), *AugenBlick: Marburger Hefte zur Medienwissenschaft* 51, „Bilder in Echtzeit. Medialität und Ästhetik des digitalen Bewegtbildes“.
- Page, Robert Morris (1962): *The Origin of Radar: An Epic of Modern Technology*, New York.
- Pappalardo, Joe (2011): „New Transatlantic Cable Built to Shave 5 Milliseconds off Stock Trades“, in: *Popular Mechanics*, <https://www.popularmechanics.com/technology/infrastructure/a7274/a-transatlantic-cable-to-shave-5-milliseconds-off-stock-trades>, 29.10.2022.
- Parikka, Jussi (2015): *A Geology of Media*, Minneapolis et al.
- Paris, E. T. (1933): „Binaural Sound-Locators“, in: *Science Progress in the Twentieth Century (1919-1933)* 27(107), 457-469.
- Patka, Kiron (2018): *Radio-Topologie. Zur Raumästhetik des Hörfunks*, Bielefeld.

- Patte, Pierre (1782): *Essai Sur l'Architecture Theatrale. Ou De l'Ordonnance La Plus Avantageuse A Une Salle De Spectacles*, Paris.
- Payer, Peter (2015): *Die synchronisierte Stadt. Öffentliche Uhren und Zeitwahrnehmung, Wien 1850 bis heute*, Wien.
- Peck, F. (1907): „Unterwasser-Schallsignale, ihre historische Entwicklung, ihre Fortschritte und ihr gegenwärtiger Stand“, in: *Annalen der Hydrographie und Maritimen Meteorologie* 35, 9-17.
- Percival, William Spencer (1936): „High Frequency Signal Transmission System“, United States Patent Office No. 2.239.901, Application filed September 25, 1936, Patented April 29, 1941.
- Percival, William Spencer (1939): „Delay Device for Use in Transmission of Oscillations“, United States Patent Office No. 2.263.902, Application filed February 2, 1939, Patented November 25, 1941.
- Peters, John Durham (2003): „Space, Time, and Communication Theory“, in: *Canadian Journal of Communication* 28(4), 397-412.
- Pflüger, Jörg (2005): „Wo die Quantität in Qualität umschlägt. Notizen zum Verhältnis von Analogem und Digitalem“, in: Martin Warnke/Wolfgang Coy/Georg Christoph Tholen (Hrsg.), *HyperKult II. Zur Ortsbestimmung analoger und digitaler Medien*, Bielefeld, 27-94.
- Pias, Claus (2000): *Computer Spiel Welten*, Dissertation, Bauhaus-Universität Weimar.
- Pias, Claus (Hrsg.) (2003), *Cybernetics–Kybernetik. The Macy-Conferences 1946-1953. Band 1: Transactions/Protokolle*, Zürich.
- Pias, Claus (2004): „Elektronenhirn und verbotene Zone. Zur kybernetischen Ökonomie des Digitalen“, in: Jens Schröter/Alexander Böhnke (Hrsg.), *Analog/Digital – Opposition oder Kontinuum? Zur Theorie und Geschichte einer Unterscheidung*, Bielefeld, 295-309.
- Pias, Claus (2005): „Die Pflichten des Spielers“, in: Martin Warnke/Wolfgang Coy/Georg Christoph Tholen (Hrsg.), *HyperKult II. Zur Ortsbestimmung analoger und digitaler Medien*, Bielefeld, 313-341.
- Pias, Claus (2009): „Time of Non-Reality. Miszellen zum Thema Zeit und Auflösung“, in: Axel Volmar (Hrsg.), *Zeitkritische Medien*, Berlin, 267-279.
- Pias, Claus (2015): „Friedrich Kittler und der ‚Mißbrauch von Heeresgerät‘. Zur Situation eines Denkbildes 1964 – 1984 – 2014“, in: *Merkur. Deutsche Zeitschrift für europäisches Denken* 69(791), 31-44.
- Pierce, J.A. (1947): „Hyperbolic Systems“, in: John S. Hall (Hrsg.), *Radar Aids to Navigation* (MIT Radiation Laboratory Series 2), New York, 56-60.
- Pinch, Trevor/Bijsterveld, Karin (2012): „New Keys to the World of Sound“, in: dies. (Hrsg.), *The Oxford Handbook of Sound Studies*, Oxford, 3-35.

- Podach, Erich F. (1963): *Ein Blick in Notizbücher Nietzsches: Ewige Wiederkunft, Wille zur Macht, Ariadne; eine schaffensanalytische Studie*, Heidelberg.
- Poincaré, Henri (1906 [1898]): „Das Maß der Zeit“, in: ders.: *Der Wert der Wissenschaft*, Leipzig, 26-43.
- Pouillet (1837), Claude: „Ueber die Volta'sche Säule und über das allgemeine Gesetz für die Intensität der Ströme einer einfachen Kette und einer Säule von grosser oder kleiner Spannung“, in: *Annalen der Physik und Chemie* 42, 281-297.
- Pouillet, Claude (1844): „Note sur un moyen de mesurer des intervalles de temps extrêmement courts, comme la durée du choc des corps élastiques, celle du débandement des ressorts, de l'inflammation de la poudre, etc.; et sur un moyen nouveau de comparer les intensités des courants électriques, soit permanents, soit instantanés“, in: *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences* 19, 1384-1389.
- Pouillet, Claude (1845): „Ueber ein Mittel zur Messung äußerst kurzer Zeiträume, wie der Dauer des Stoßes elastischer Körper, der Auslösung von Springfedern, der Entzündung von Schießpulver u.s.w., und über ein neues Mittel, die Intensität elektrischer Ströme, permanenter wie instantaner, zu messen“, in: *Polytechnisches Journal* 96, 196-201.
- Price, Alfred (1977): *Instruments of Darkness: The History of Electronic Warfare*, London.
- 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.
- Radau, Rodolphe (1869): *Die Lehre vom Schall. Gemeinfassliche Darstellung der Akustik*, München.
- Rankin, William (2014): „The Geography of Radionavigation and the Politics of Intangible Artifacts“, in: *Technology and Culture* 55(3), 622-674.
- Rankin, William (2016): „Inhabiting the Grid: Radionavigation and Electronic Coordinates, 1920-1965“, in: ders.: *After the Map: Cartography, Navigation, and the Transformation of Territory in the Twentieth Century*, Chicago, Ill., 205-252.
- Rankine, William J.M. (1851): „On the Velocity of Sound in Liquids and Solid Bodies of limited Dimensions“, in: *Cambridge and Dublin Mathematical Journal* 6, 238-267.
- von Recum, O.F. (1926): „Die akustischen Tiefseelote“, in: *Die Deutsche Atlantische Expedition auf dem Vermessungs- und Forschungsschiff „Meteor“*, Sonderabdruck aus den *Annalen der Hydrographie und Maritimen Meteorologie* 54(3), 19-24.

- Redmond, Kent C./Smith, Thomas M. (2000): *From Whirlwind to MITRE: The R&D Story of The SAGE Air Defense Computer*, Cambridge, MA.
- Reeves, Alex Harley (1939): „Electric Signaling System“, United States Patent Office No. 2.272.070. Filed Nov. 22, 1939, Patented Feb. 3, 1942.
- Reiche, Bill (1946): „Eavesdropping Through 24 Feet of Steel!“, in: *Popular Mechanics Magazine*, 88 u. 89 u. 256.
- Reuter, Frank (1971): *Funkmeß: Die Entwicklung und der Einsatz des Radar-Verfahrens in Deutschland bis zum Ende des Zweiten Weltkrieges*, Opladen.
- Rheinberger, Hans-Jörg (2001): *Experimentalsysteme und epistemische Dinge. Eine Geschichte der Proteinsynthese im Reagenzglas*, Göttingen.
- Rheinberger, Hans-Jörg (2004): „Gaston Bachelard und der Begriff der ‚Phänomentechnik‘“, in: Marc Schalenberg/Peter T. Walther (Hrsg.), *... immer im Fortschreiten bleiben. Rüdiger vom Bruch zum 60. Geburtstag*, Stuttgart, 297-310.
- Rhode, Johann Gottlieb (1800): *Theorie der Verbreitung des Schalles für Baukünstler*, Berlin.
- Ridenour, Louis N. (1947): „How Radar Works“, in: ders. (Hrsg.), *Radar System Engineering* (MIT Radiation Laboratory Series 1), New York, 3-6.
- Ridenour, Louis N. (1947): „The Signal and Its Use“, in: ders. (Hrsg.), *Radar System Engineering* (MIT Radiation Laboratory Series 1), New York, 213-214.
- Ridenour, Louis N. (1947): „Wartime Radar Development in the United States“, in: ders. (Hrsg.), *Radar System Engineering* (MIT Radiation Laboratory Series 1), New York, 15-17.
- Rieger, Stefan (2008): „Der Frosch – ein Medium?“, in: Alexander Roesler/Stefan Münker (Hrsg.), *Was ist ein Medium?*, Frankfurt a.M., 285-303.
- Rieger, Stefan (2009): *Schall und Rauch. Eine Mediengeschichte der Kurve*, Frankfurt a.M.
- Riemann, Gottfried (1979) (Hrsg.), *Karl Friedrich Schinkel: Reisen nach Italien. Tagebücher, Briefe, Zeichnungen, Aquarelle*, Berlin.
- Roch, Axel (1998): „Computergraphik und Radartechnologie. Zur Geschichte der Beleuchtungsmodelle in computergenerierten Bildern“, in: Manfred Faßler/Wulf Halbach (Hrsg.), *Geschichte der Medien*, München 227-254.
- Rosa, Hartmut (2005): *Beschleunigung. Die Veränderung der Zeitstrukturen in der Moderne*, Frankfurt a.M.
- Rosol, Christoph (2007): *RFID. Vom Ursprung einer (all)gegenwärtigen Kulturtechnologie*, Berlin.
- Round, Henry Joseph/West, Arthur Gilbert Dixon (1927): „Transmission and Reproduction of Sound“, United States Patent Office No. 1.853.286, Application filed May 6, 1927, Patented April 12, 1932.
- Rowe, Albert Percival (1948): *One Story of Radar*, Cambridge.

- Sabine, Wallace C. (1923): „Reverberation“, in ders., *Collected Papers on Acoustics*, Cambridge, MA, 3-68.
- Saunders, George (1790): *A Treatise on Theatres*, London.
- Sawyer, F. L. (1914): „Submarine Signaling and a Proposed Method of Safe Navigation in Fog“, in: *Transactions of the Society of Naval Architects and Marine Engineers* 22, 115-128.
- Sayre, David (1948): „Generation of Fast Waveforms“, in: Glasoe/Lebacqz: *Pulse Generators*, 159-204.
- Scarth, Richard N. (1999): *Echoes from the Sky: A Story of Acoustic Defence*, Kent.
- Schabacher, Gabriele (2014): „Rohrposten. Zur medialen Organisation begrenzter Räume“, in: Christoph Neubert/Gabriele Schabacher (Hrsg.), *Verkehrsgeschichte und Kulturwissenschaft: Analysen an der Schnittstelle von Technik, Kultur und Medien*, Bielefeld, 189-222.
- Schabacher, Gabriele (2022): *Infrastruktur-Arbeit. Kulturtechniken und Zeitlichkeit der Erhaltung*, Berlin.
- Schaffer, Simon (1988): „Astronomers Mark Time: Discipline and the Personal Equation“, in: *Science in Context* 2(1), 115-145.
- Schanze, Helmut (2002) (Hrsg.), *Metzler-Lexikon Medientheorie – Medienwissenschaft. Ansätze – Personen – Grundbegriffe*, Stuttgart/Weimar.
- Schatzki, Theodore R./Knorr-Cetina, Karin/von Savigny, Eike (2001) (Hrsg.), *The Practice Turn in Contemporary Theory*, London.
- Schäffner, Wolfgang (2003): „Mechanische Schreiber. Jules Etiennes Mareys Aufzeichnungsmaschinen“, in: Bernhard Siegert/Joseph Vogl (Hrsg.), *Europa: Kultur der Sekretäre*, Zürich/Berlin, 221-234.
- Schäffner, Wolfgang (2007): „Bewegungslinien. Analoge Aufzeichnungsmaschinen“, in: Wolfgang Schäffner/Bernhard Siegert/Robert Stockhammer (Hrsg.), *Electric Laokoon. Zeichen und Medien, von der Lochkarte zur Grammatologie*, Berlin, 130-145.
- von Schellendorff, Paul Bronsart (1875): *Der Dienst des Generalstabes. Erster Theil*, Berlin.
- Schelske, Rudolf (1864): „Neue Messungen der Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Reizes in den menschlichen Nerven“, in: *Archiv für Anatomie, Physiologie und wissenschaftliche Medizin*, 151-173.
- Schiller, Friedrich (1802 [1784]): „Die Schaubühne als eine moralische Anstalt betrachtet“, in: ders.: *Kleinere prosaische Schriften, Bd. 4*, Leipzig.
- Schivelbusch, Wolfgang (1989 [1977]): *Geschichte der Eisenbahnreise. Zur Industrialisierung von Raum und Zeit im 19. Jahrhundert*, Frankfurt a.M.
- von Schlieffen, Alfred (1913): „Der Krieg in der Gegenwart“, in: ders.: *Gesammelte Schriften Band 1*, Berlin, 11-22.

- Schliephake, Erwin (1935): „Schallschwingungen in der Therapie“, in: *Klinische Wochenschrift* 14(47), 1689-1690.
- Schmidgen, Henning (2001): „Der Psychologe der Maschinen. Über Gilbert Simondon und zwei Theorien technischer Objekte“, in: Christiane Kraft Alsop (Hrsg.), *Grenzgängerin/Bridges between Disciplines: Festschrift für Irmgard Staeuble*, Heidelberg/Kröning, 265-287.
- Schmidgen, Henning (2004): „Die Geschwindigkeit von Gefühlen und Gedanken. Die Entwicklung psychophysiologischer Zeitmessungen, 1850–1865“, in: *NTM: Zeitschrift für Geschichte der Wissenschaften, Technik und Medizin* 12, 100-115.
- Schmidgen, Henning (2004): „Zeit der Fugen. Über Bewegungsverhältnisse im physiologischen Labor, ca. 1865“, in: Dieter Simon (Hrsg.), *Zeithorizonte in der Wissenschaft*, Berlin, 101-124.
- Schmidgen, Henning (2005) (Hrsg.), *Lebendige Zeit. Wissenskulturen im Werden*, Berlin.
- Schmidgen, Henning (2009): *Die Helmholtzkurven. Auf der Spur der verlorenen Zeit*, Berlin.
- Schmidgen, Henning (2012): „Das Konzert der Maschinen. Simondons politisches Programm“, in: *Zeitschrift für Medien- und Kulturforschung* 3(2), 117-134.
- Schmidt, Rudolf (1888): *Allgemeine Waffenkunde für Infanterie. Mit besonderer Berücksichtigung der neuesten Kriegs-Handfeuerwaffen der modernen Staaten*, Berlin.
- Scholz, Sebastian (2021): „Sensing the ‚Contemporary Condition‘: The Chronopolitics of Sensor-Media“, in: *Krisis | Journal for Contemporary Philosophy* 41(1), 135-156.
- Schott, G. (1925): „Messung der Meerestiefen durch Echolot, Vortrag vor dem 21. Deutschen Geographentag zu Breslau“, in: *Verhandlungen des Deutschen Geographentages* 11, Berlin.
- Schröter, Jens (2004): „Technik und Krieg. Fragen und Überlegungen zur militärischen Herkunft von Computertechnologien am Beispiel des Internets“, in: Harro Segeberg (Hrsg.), *Die Medien und ihre Technik. Theorien, Modelle, Geschichte*, Marburg, 356-370.
- Schröter, Jens (2009): „A momentary flash. Kurze Anmerkung zu sehr kurzen Lichtblitzen“, in: Axel Volmar (Hrsg.), *Zeitkritische Medien*, Berlin, 167-175.
- Schubart, L. (1924): „Die Verwendung der Tiefseelotungen für die Navigation mit Hilfe des Echolots“, in: *Annalen der Hydrographie und maritimen Meteorologie* 52(4), 73-75.
- Schure, Alexander (1962) (Hrsg.), *HF Übertragungsleitungen. Elektronik für den Praktiker*, Berlin.

- Schüttpelz, Erhard (2003): „Die Frage nach der Frage, auf die das Medium eine Antwort ist“, in: Albert Kümmel/Erhard Schüttpelz (Hrsg.), *Signale der Störung*, München, 15-30.
- Schüttpelz, Erhard (2006): „Die medienanthropologische Kehre der Kulturtechniken“, in: *Archiv für Mediengeschichte* 6, 87-110.
- Schüttpelz, Erhard et al. (2021) (Hrsg.), *Connect and Divide. The Practice Turn in Media Studies*, Zürich.
- Schüttpelz, Erhard (2022): „From Instruments to Containers, from Containers to Media: The Extensions of the Body“, in: *CRC 1187 Working Paper Series* 21.
- Schwesinger, Sebastian (2022): „Raumlose Räume und ortlose Objekte. Akustische Transfers zwischen Land und Meer“, in: *Navigationen: Zeitschrift für Medien- und Kulturwissenschaften* 22(1), 179-196, 188.
- Scriba, J.v. (1877): „Moderne Hilfsmittel der Kriegführung (1. Fortsetzung)“, in: *Allgemeine Schweizerische Militär-Zeitung. Organ der schweizerischen Armee* 23(28), 221-223.
- Scriba, J.v. (1877): „Moderne Hilfsmittel der Kriegführung (2. Fortsetzung)“, in: *Allgemeine Schweizerische Militär-Zeitung. Organ der schweizerischen Armee* 23(29), 229-231.
- Seeley, Stuart William (1946): „Shoran Precision Radar“, in: *Electrical Engineering* 65(4), 232-240.
- Sell, L. (1896): „Die Wassermesser für Hausleitungen“, in: *Polytechnisches Journal* 301, 241-248.
- Service, Jerry H. (1928): „The Transmission of Sound through Sea Water“, in: *Journal of the Franklin Institute* 206(6), 779-807.
- Shannon, Claude Elwood (1948): „A Mathematical Theory of Communication“, in: *Bell System Technical Journal* 27(3), 379-423.
- Shannon, Claude Elwood (1949): „Communication in the Presence of Noise“, in: *Proceedings of the IRE* 37(1), 10-21.
- Shannon, Claude Elwood (1949): „Communication Theory of Secrecy Systems“, in: *Bell System Technical Journal* 28, 656-715.
- Sharpless, Thomas K. (1948): „Mercury Delay Lines as a Memory Unit“, in: *Proceedings of a Symposium on Large-Scale Calculating Machinery*, Cambridge, 103-109.
- Shiga, John (2013): „Sonar: Empire, Media, and the Politics of Underwater Sound“, in: *Canadian Journal of Communication* 38(3), 357-377.
- Shiga, John (2015): „Sonar and the Channelization of the Ocean“, in: Paul Théberge/Kyle Devine/Tom Everrett (Hrsg.), *Living Stereo: Histories and Cultures of Multichannel Sound*, New York, 85-106.

- Shiga, John (2016): „Ping and the Material Meanings of Ocean Sound“, in: Nicole Starosielski/Janet Walker (Hrsg.), *Sustainable Media: Critical Approaches to Media and Environment*, New York, 128-145.
- Shiga, John (2017): „An Empire of Sound: Sentience, Sonar and Sensory Impudence“, in: Sheryl N. Hamilton et al. (Hrsg.), *Sensing Law*, Abingdon/New York, 238-256.
- Siebert, Bernhard (1993): *Relais. Geschichte der Literatur als Epoche der Post*, Berlin.
- Siebert, Bernhard (1994): „Eskalation eines Mediums. Die Lichtung des Radiohörens im Hochfrequenzkrieg“, in: TRANSIT (Hrsg.), *On the Air. Kunst im öffentlichen Datenraum*, Innsbruck, 13-39.
- Siebert, Bernhard (1999): „Das Leben zählt nicht. Natur- und Geisteswissenschaften bei Wilhem Dilthey aus mediengeschichtlicher Sicht“, in: Claus Pias (Hrsg.), *[me'dien]i. Dreizehn Vorträge zur Medienkultur*, Weimar, 161-182.
- Siebert, Bernhard (2003): *Passage des Digitalen. Zeichenpraktiken der neuzeitlichen Wissenschaften 1500-1900*, Berlin.
- Siebert, Bernhard (2007): „Die Geburt der Literatur aus dem Rauschen der Kanäle. Zur Poetik der phatischen Funktion“, in: Michael Franz/Wolfgang Schäffner/Bernhard Siebert/Robert Stockhammer (Hrsg.), *Electric Laokoon. Zeichen und Medien, von der Lochkarte zur Grammatologie*, Berlin, 5-41.
- Siebert, Bernhard (2011): „The Map is the Territory“, in: *Radical Philosophy* 169(5), 13-16.
- Siebert, Bernhard (2014): „Längengradbestimmung und Simultanität in Philosophie, Physik und Imperien“, in: *Zeitschrift für Medien und Kulturforschung* 5(2), 281-297.
- Siemens, Werner (1847): „Ueber Geschwindigkeitsmessung“, in: *Fortschritte der Physik im Jahre 1845* 1, 47-72.
- Siemens, Werner (1891 [1865]): „Die pneumatische Depeschbeförderung zwischen der Central-Telegraphenstation in Berlin und dem Börsengebäude dasselbst“, in: ders.: *Wissenschaftliche und Technische Arbeiten. Zweiter Band. Technische Arbeiten*, Berlin, 217-229.
- Silent, Harold (1925): „Echo-Suppressor Relay“, United States Patent Office No. 1.619.891, Application filed July 8, 1925, Patented March 8, 1927.
- Simondon, Gilbert (2012 [1958]): *Die Existenzweise technischer Objekte*, Zürich.
- Sitterly, B.W. (1948): „Principles of Loran“, in: Pierce, John Alvin/McKenzie, A.A./Woodward, Richard Horace (Hrsg.), *The LORAN System* (MIT Radiation Laboratory Series 4), New York, 52-106.
- Skolnik, Merrill I. (1962): *Introduction to Radar Systems*, New York et al.

- Soja, Edward W. (1996): *Thirdspace: Journeys to Los Angeles and Other Real and Imagined Places*, Cambridge/Oxford.
- Sokolov, Sergei (1929): „Zur Frage der Fortpflanzung ultraakustischer Schwingungen in verschiedenen Körpern“, in: *Elektrische Nachrichten-Technik* 6(11), 454-461.
- Sokoloff, Sergey (1937): „Means for Indicating Flaws in Materials“, United States Patent Office No. 2.164.125, Application Filed August 21, 1937, Patented June 29, 1939.
- Soller, Theodore/Star, Merle A./Valley, George E. (Hrsg.) (1948), *Cathode Ray Tube Displays* (MIT Radiation Laboratory Series 22), New York.
- Speiser, A. P. (1956): „Impulsprobleme der elektronischen Rechenmaschinen“, in: F. Winckel (Hrsg.), *Impulstechnik. Vortragsreihe des Außeninstituts der Technischen Universität Berlin-Charlottenburg*, Berlin/Heidelberg, 204-226.
- Spieß, Fritz (1927): „Bericht über die Expedition“, in: *Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin* 7/8, 344-358.
- Spieß, Fritz (1932): *Wissenschaftliche Ergebnisse der deutschen Atlantischen Expedition auf dem Forschungs- und Vermessungsschiff „Meteor“ 1925-1927, Band I, Das Forschungsschiff und seine Reise*, Berlin/Leipzig.
- Spon, Ernest (1881) (Hrsg.), *Supplement to Spons' Dictionary of Engineering, Civil, Mechanical, Military, and Naval. Division III*, London.
- Sprenger, Florian (2012): *Medien des Immediaten. Elektrizität, Telegraphie, McLuhan*, Berlin.
- Sprenger, Florian (2017): „Warum ist das Medium die Botschaft?“, in: Till Heilmann/Jens Schröter (Hrsg.), *Medien verstehen. Marshall McLuhans Understanding Media*, Lüneburg.
- Sprenger, Florian (2019): *Epistemologien des Umgebens. Zur Geschichte, Ökologie und Biopolitik künstlicher environments*, Bielefeld.
- Sterne, Jonathan (2009): „The Cat Telephone“, in: *The Velvet Light Trap* 64(1), 83-84.
- Steward, Garreth (2007): *Framed Time: Toward a Postfilmic Cinema*, Chicago, Ill.
- Stifler, W.W. (1950) (Hrsg.), *High-Speed Computing Devices*, York, PA.
- Stingelin, Martin (2004): „„Schreiben“. Einleitung“, in: ders./Davide Giuriato/Sandro Zanetti (Hrsg.), *„Mir ekelt vor diesem tintenklecksenden Säkulum“. Schreibszenen im Zeitalter der Manuskripte*, München, 7-21.
- Stockman, Harry (1948): „Communication by Means of Reflected Power“, in: *Proceedings of the IRE* 36(10), 1196-1204.
- Stocks, Theodor (1936): „Die Fortschritte in der Erforschung des Atlantischen Ozeans 1854-1934“, in: *Geographische Zeitschrift* 42(5), 161-181.

- Submarine Signal Company (1913): „What Remains to be Done“, in: *Submarine Signal Bulletin* 42, 3.
- Submarine Signal Company (1930): *The Submarine Signal Fathometer for Visual Echo Soundings*, Boston, MA.
- Sutherland, Ivan (2012): „The TX-2 Computer and Sketchpad“, in: *Lincoln Laboratory Journal* 19(1), 82-84.
- Taha, Nadine (2012): „Patent in Action. Das US-amerikanische Patent aus der Perspektive der Science and Technology Studies“, in: *Zeitschrift für Medienwissenschaft* 4(1), 36-47.
- Tawney, Gereld L. (1941): „Electrical Time Delay Line“, United States Patent Office No. 2.390.563, Application filed October 14, 1941, Patented December 11, 1945.
- Taylor, Janelle S. (1998): „Image of Contradiction: Obstetrical Ultrasound in American Culture“, in: Sarah Franklin/Helena Ragoné (Hrsg.), *Reproducing Reproduction: Kinship, Power, and Technological Innovation*, Philadelphia, 15-45.
- Taylor, Norman H. (1989): „Retrospective“ (Review of the first 10 Years of Displays from '47 to '57), in: *SIGGRAPH '89 Panel Proceeding, Special Session: Retrospectives I: The early Years in Computer Graphics at MIT, Lincoln Lab and Harvard*, 20-25.
- Täubrich, Hans-Christian (1997 [1996]): „Wissen ist Macht. Der heimliche Griff nach Brief und Siegel“, in: Klaus Beyrer/Hans-Christian Täubrich (Hrsg.), *Der Brief. Eine Kulturgeschichte der schriftlichen Kommunikation*, Heidelberg, 46-53.
- Thielmann, Tristan (2006): „Statt einer Einleitung: Eine Mediengeschichte des Displays“, in: *Navigationen: Zeitschrift für Medien- und Kulturwissenschaften* 6(2), 13-30.
- Thielmann, Tristan (2012): „Taking into Account. Harold Garfinkels Beitrag für eine Theorie sozialer Medien“, in: *Zeitschrift für Medienwissenschaft* 4(1), 85-102.
- Thielmann, Tristan (2018): „Der einleuchtende Grund digitaler Bilder. Die Mediengeschichte und Medienpraxistheorie des Displays“, in: Ursula Frohne/Lilian Haberer/Annette Urban (Hrsg.), *Display/Dispositiv. Ästhetische Ordnungen*, Paderborn, 525-575.
- Thielmann, Tristan (2022): „Environmental Conditioning: Mobile Geomedia and their Lines of Becoming in the Air, on Land, and on Water“, in: *New Media & Society* 24(11), 2438-2467.
- Thielmann, Tristan/Schüttpelz, Erhard (2013) (Hrsg.), *Akteur-Medien-Theorie*, Bielefeld.

- Thompson, Emily (2004): *The Soundscape of Modernity. Architectural Acoustics and the Culture of Listening in America, 1900-1933*, Cambridge, MA et al.
- Thompson, R.J. (2010): *Crystal Clear: The Struggle for Reliable Communications Technology in World War II*, Piscataway, NJ.
- Tkaczyk, Viktoria (2006): „Cumulus ex machina. Wolkeninszenierungen in Theater und Wissenschaft“, in Helmar Schramm/Ludwig Schwarte/Jan Lazardzig (Hrsg.), *Spektakuläre Experimente. Praktiken der Evidenzproduktion im 17. Jahrhundert*, Berlin/New York, 43-77.
- Tkaczyk, Viktoria (2014): „Listening in Circles. Spoken Drama and the Architects of Sound, 1750–1830“, in: *Annals of Science* 71(3), 299-334.
- Tkaczyk, Viktoria (2014): „Performativität und Wissen(schaft)sgeschichte“, in: Klaus W. Hempfer/Jörg Volbers (Hrsg.), *Theorien des Performativen: Sprache – Wissen – Praxis. Eine kritische Bestandsaufnahme*, Bielefeld, 115-140.
- Tkaczyk, Viktoria (2015): „The Shot is Fired Unheard: Sigmund Exner and the Physiology of Reverberation“, in: *Grey Room* 60, 66-81.
- Tompkins, Dave (2010): *How to Wreck a Nice Beach: The Vocoder from World War II to Hip Hop. The Machine Speaks*, New York et al.
- Trenkle, Fritz (1979): *Die deutschen Funk-Navigations- und Funk-Führungsverfahren bis 1945*, Stuttgart.
- Trenkle, Fritz (1981): *Die deutschen Funkpeil- und -Horch-Verfahren bis 1945*, Ulm.
- Trenkle, Fritz (1982): *Die deutschen Funklenkverfahren bis 1945*, Heidelberg.
- Trenkle, Fritz (1987): *Die deutschen Funkführungsverfahren bis 1945*, Heidelberg.
- Turing, Alan M. (1992 [1947]): „Lecture to the London Mathematical Society on 20 February 1947“, in: *Mechanical Intelligence. Collected Works of A.M. Turing, Vol. 1*, hrsg. v. Darrel Ince, Amsterdam et al., 106-124.
- 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.
- Turnbull, L. (1854): „Observations on a Telegraph Line between Europe and America“, in: *Journal of the Franklin Institute of the State of Pennsylvania, Third Series* 28, 58-62.
- Turner, L.A. (1947): „Radar Beacons“, in Ridenour (Hrsg.), *Radar System Engineering*, 243-270.
- Turner, Walther (1978): *Die Stadtröhrepost in Wien 1875-1956*, Wien.
- Tuve, Merle A./Dahl, O. (1928): „A Transmitter Modulating Device for the Study of the Kennelly-Heaviside Layer by the Echo Method“, in: *Proceedings of the Institute of Radio Engineers* 16(6), 794-798.

- Tyndall, John (1874): „On the Atmosphere as a Vehicle of Sound“, in: *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* 164, 183-244.
- Tyndall, John (1878): „Recent Experiments on Fog-Signals“, in: *Proceedings of the Royal Society of London* 27, 245-258.
- Ullmann, Dieter (1982): „Die ersten Messungen der Schallgeschwindigkeit in Luft und das Schallortungsverfahren von Jonas Meldercreutz“, in: *Centaurus* 26(1), 25-37.
- Ullmann, Dieter (1989): „Die Entwicklung der Raumakustik im 19. Jahrhundert“, in: *Sudhoffs Archiv* 73(2), 208-215.
- Ullmann, Bernd (2014): *AN/FSQ-7: The computer that shaped the Cold War*, München.
- United States Department of Commerce, Civil Aeronautics Administration (1949) (Hrsg.), *LORAN (Long Range Navigation) (Bulletin No. 7)*, Washington, D.C.
- United States Atomic Energy Commission (1955): *Studies in Methods in Instruments to Improve the Localization of Radioactive Materials in the Body with Special Reference to the Diagnosis of Brain Tumors, and the Use of Ultrasonic Techniques. Final Progress Report*, Minneapolis.
- United States Office of Naval Research (1958) (Hrsg.), *The Ocean as the Operating Environment of the Navy: A Symposium Sponsored by the Office of Naval Research, March 11, 12, and 13, 1958, U.S. Navy Electronic Laboratory*, San Diego, California, Washington, D.C.
- Upham, J. Baxter (1852): „Acoustic Architecture, or, the Construction of Buildings with Reference to Sound and the best Musical Effect“, in: *Dwight's Journal of Music. A Paper of Art and Literature* 2(3), v. 23. Oktober, 17-18.
- Upham, J. Baxter (1853): „A Consideration of some of the Phenomena and Laws of Sound, and their application in the Construction of Buildings designed especially for Musical Effects“, in: *The American Journal of Science and Arts* 15(44), 215-225 u. 348-363.
- Vardalas, John (1994): „From DATAR to the FP-6000 Computer: Technological Change in a Canadian Industrial Context“, in: *IEEE Annals of the History of Computing* 16(2), 20-30.
- Vehlken, Sebastian (2017): „Der Anti-U-Boot-Krieg und die Operationalisierung der Ozeane im Kalten Krieg“, in: Lars Nowak (Hrsg.), *Medien – Krieg – Raum*, Paderborn, 357-375.
- Verhoeff, Nanna (2012): *Mobile Screens: The Visual Regime of Navigation*, Amsterdam.
- Vinzent, Markus (2019): *Writing the History of Early Christianity: From Reception to Retrospection*, Cambridge.
- Virilio, Paul (1977): *Vitesse et politique. Essai de dromologie*, Paris.

- Virilio, Paul (2006 [1984]): „Die Auflösung des Stadtbildes“; in: Jörg Dünne/Stephan Günzel (Hrsg.), *Raumtheorie. Grundlagentexte aus Philosophie und Kulturwissenschaften*, Frankfurt a.M.
- Virilio, Paul (1990): „Das dritte Intervall. Ein kritischer Übergang“, in: Edith Decker/Peter Weibel (Hrsg.), *Vom Verschwinden der Ferne. Telekommunikation und Kunst*, Köln, 335-346
- Virilio, Paul (1996): „Das dritte Intervall“, in: ders.: *Fluchtgeschwindigkeit*, München/Wien, 19-36.
- Vogl, Joseph (2001): „Medien-Werden: Galileis Fernrohr“, in: Lorenz Engell/Joseph Vogl (Hrsg.), *Archiv für Mediengeschichte* 1: „Mediale Historiographien“, 115-124.
- Vogl, Joseph/Balke, Friedrich/Siegert, Bernhard (2013) (Hrsg.), *Archiv für Mediengeschichte* 13: „Mediengeschichte nach Friedrich Kittler“.
- Vogler, Georg (1792): „Bemerkungen über die der Musik vortheilhafteste Bauart eines Musikchors“, in: *Journal von und für Deutschland* 9(2), 178-181.
- Volmar, Axel (2009) (Hrsg.), *Zeitkritische Medien*, Berlin.
- Volmar, Axel (2012): „Stethoskop und Telefon. Akustemische Technologien des 19. Jahrhunderts“, in: Andi Schoon/Axel Volmar (Hrsg.), *Das geschulte Ohr. Eine Kulturgeschichte der Sonifikation*, Bielefeld, 71-94.
- Volmar, Axel (2014): „In Stahlgewittern. Mediale Rekonstruktionen der Klanglandschaft des Ersten Weltkriegs in der Weimarer Republik“, in: Natalie Binczek/Cornelia Epping-Jäger (Hrsg.), *Das Hörbuch: Praktiken audioliteralen Schreibens und Verstehens*, Paderborn, 47-63.
- Volmar, Axel (2015): *Klang-Experimente: Die auditive Kultur der Naturwissenschaften 1761-1961*, Frankfurt a.M.
- Volmar, Axel/Stine, Kyle (2021) (Hrsg.), *Media Infrastructures and the Politics of Digital Time: Essays on Hardwired Temporalities*, Amsterdam.
- Volta, Alexander [Alessandro] (1793): *Schriften über die thierische Elektrizität*, hrsg. v. Johann Mayer, Prag.
- Völz, Horst/Höltgen, Stefan (2018): *Medientechnisches Wissen 1: Logik: Informations- und Speichertheorie*, Berlin/Boston.
- Wagner, Wolf-Rüdiger (2021): *Die Entstehung der Mediengesellschaft. 100 Mediengeschichten aus dem 19. Jahrhundert*, Bielefeld.
- Wajcman, Judy (2000): „Reflections on Gender and Technology Studies: In What State is the Art?“, in: *Social Studies of Science* 30(3), 447-464.
- Walser, George (1919): „Submarine Listening Apparatus“, United States Patent Office No. 1.391.654. Application filed April, 1919, Patented September 20, 1921.

- Waterston, John (o.J.): „Ocean of Things“, Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA): *Our Research*, <https://www.darpa.mil/program/ocean-of-things>, 01.11.2022.
- Watson, Rod/Carlin, Andrew P. (2012): „Information‘: Praxeological Considerations“, in: *Human Studies* 35(2), 327-345.
- Watson-Watt, Robert (1923): „Directional observations of atmospherics 1916–1920“, in: *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science* 45(269), 1010-1026.
- Watson-Watt, Robert (1929): „Weather and Wireless“, in: *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 55(231), 273-301.
- Watson-Watt, Robert Alexander (1935): „Detection and Location of Aircraft by Radio Methods. Memorandum for C.S.S.A.D. dated 27th February, 1935“, o.A.
- Watson-Watt, Robert A. (1945): „Radar in War and in Peace“, in: *Nature* 156, 319-324.
- Watson-Watt, Robert (1959): *The Pulse of Radar*, New York.
- Watson-Watt, Robert/Herd, J. F. (1926): „An instantaneous direct-reading Radiogoniometer“, in: *Journal of the Institution of Electrical Engineers* 64, 611-622.
- Weaver, Warren (1964 [1949]): „Recent Contributions to the Mathematical Theory of Communication“, in: Claude E. Shannon/Warren Weaver: *The Mathematical Theory of Communication*, Urbana, 1-28.
- Weber, Wilhelm (1830): „Ueber die specifische Wärme fester Körper, insbesondere der Metalle“, in: *Annalen der Physik und Chemie*, 177-213.
- Weinbrenner, Friedrich (1809): *Üeber Theater in architektonischer Hinsicht mit Beziehung auf Plan und Ausführung des neuen Hoftheaters zu Carlsruhe*, Tübingen.
- Wengel, Wolfgang (2002): „Comeback der Rohrpost? 125 Jahre Stadtrohrpost Berlin – auch heute noch ein Vorbild für technische Innovation“, in: *Das Archiv* 1(2), 6-19.
- Werber, Niels (1997): „Weltgeschichte als Thriller. Über Harold Innis, den Lehrer Marshall McLuhans“, <https://homepage.ruhr-uni-bochum.de/niels.werber/Publikationen/innis.htm>, 07.11.2022.
- Wertheim, M. G. (1844): „Recherches sur l'Élasticité“, in: *Annales de Chimie et de Physique* 3, 385-454.
- Wertheim, Guillaume (1848): „Mémoire sur la vitesse du son dans les liquides“, in: *Annales de Chimie et de Physique* 23, 434-475.
- Wertheim, H.H./Breguet (1853): „Versuche über die Geschwindigkeit des Schalls in Eisen“, in: *Annalen der Physik und Chemie, Ergänzungsband III (nach Band 87)*, 157-159.

- Wetter, Johann (1829): *Untersuchungen über die wichtigsten Gegenstände der Theaterbaukunst, die vortheilhaftesten Formen des Auditoriums, und die zweckmässigste Anordnung der Bühne und des Prosceniums, in optischer und akustischer Hinsicht*, Mainz.
- Wever, Ernest Glen/Bray, Charles W. (1930): „Action Currents in the Auditory Nerve in Response to Acoustical Stimulation“, in: *Proceedings of the National Academy of Science* 16, 344-350.
- White, S. Young (1948): „Applications of Ultrasonics to Biology“, in: *Audio Engineering* 32, 30 u. 42-45.
- Wickberg, Adam/Gärdebo, Johan (2023) (Hrsg.), *Environing Media*, London.
- Wiener, Norbert (1948): *Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine*, Cambridge, MA.
- Wild, John J. (1950): „The Use of Ultrasonic Pulses for the Measurement of Biologic Tissues and the Detection of Tissue Density Changes“, in: *Surgery* 27, 183-188.
- Wild, John J./Neal, D. (1951): „The Use of High Frequency Ultrasound Waves for Detecting Changes in Texture of Living Tissues“, in: *The Lancet* 1, 655-657.
- Wild, John J./Reid, John M. (1952): „Application of Echo-Ranging Techniques to the Determination of Structure of Biological Tissue“, in: *Science* 115, 226-230.
- Wilkins, Arnold (2006): *The Birth of the British Radar. The Memoirs of Arnold „Skip“ Wilkins*, hrsg. v. Colin Latham u. Anne Stobbs, Bedford.
- Williams, Edward Christopher (1968): „The Origin of the Term ‚Operational Research‘ and the Early Development of the Military Work“, in: *Operational Research Quarterly* 19(2), 111-113.
- Williams, Frederic C. (1949): „Basic Concepts and the Method of Approach“, in: Britton Chance/Vernon Hughes/Edward F. MacNichol/David Sayre/Frederic C. Williams (Hrsg.), *Waveforms* (MIT Radiation Laboratory Series 19), New York, 8-16.
- Williams, Frederic C. (1975): „Early Computers at Manchester University“, in: *The Radio and Electronic Engineer* 45(7), 327-331.
- Williams, Michael R. (1997): *A History of Computing Technology, 2. Aufl.*, Los Alamitos.
- Winkler, Hartmut (1999): „Die prekäre Rolle der Technik. Technikzentrierte versus ‚anthropologische‘ Mediengeschichtsschreibung“, in: Claus Pias (Hrsg.), *[me'dian]i. dreizehn vortraege zur medienkultur*, Weimar, 221-238.
- Winkler, Hartmut (2004): „Übertragen – Post, Transport, Metapher“, in: Jürgen Fohrmann (Hrsg.), *Rhetorik. Figurationen der Performanz*, Stuttgart, 383-294.
- Winkler, Harmut (2008): *Basiswissen Medien*, Frankfurt a.M.
- Winkler, Hartmut (2015): *Prozessieren. Die dritte, vernachlässigte Medienfunktion*, Paderborn.

- Winner, Langdon (1993): „Upon Opening the Black Box and Finding it Empty: Social Constructivism and the Philosophy of Technology“, in: *Science, Technology & Human Values* 18(3), 362-378.
- Wood, Derek/Dempster, Derek (1961): *The Narrow Margin. The Battle of Britain and the Rise of Air Power 1930-1940*, London.
- Wood, Robert Williams (1939): *Supersonics. The Science of Inaudible Sound*, Providence, RI.
- Woodward, Philip Mayne (1953): *Probability and Information Theory, with Applications to Radar*, London.
- Woodward, Philip Mayne (1953): „Theory of Radar Information“, in: *Transactions of the IRE Professional Group on Information Theory* 1(1), 108-113.
- Woodward, Philip Mayne/Davies, I.L. (1950): „A Theory of Radar Information“, in: *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science* 41(321), 1001-1017.
- Woodward, Richard Horace (1948): „Receiver-Indicators“, in: Pierce, John Alvin/McKenzie, A. A./Woodward, Richard Horace (Hrsg.), *The LORAN System* (MIT Radiation Laboratory Series 4), New York, 345-385.
- Wright, Sumner Bisbee (1937): „The Vodas“, in: *Bell System Technical Journal* 16, 456-474.
- Wundt, Wilhelm (1873): *Lehrbuch der Physiologie des Menschen. Dritte völlig umgearbeitete Auflage*, Erlangen.
- Young, Thomas (1845 [1807]): *A Course of Lectures on Natural Philosophy and the Mechanical Arts. Volume I*, London.
- Younghusband, Eileen (2013): *One Woman's War*, Cardiff.
- Yoxen, Edward (1993 [1987]): „Seeing with Sound: A Study of the Development of Medical Images“, in: Wiebe E. Bijker/Thomas P. Hughes/Trevor Pinch (Hrsg.), *The Social Construction of Technological Systems. New Directions in the Sociology and History of Technology*, Cambridge, MA./London, 281-303.
- Zimmerman, C.L. (1947): „The U.S. Tactical Air Commands“, in: Ridenour: *Radar Systems Engineering*, 229-238.
- Zimmerman, David (1996): *Top Secret Exchange: The Tizard Mission and the Scientific War*, Montreal.
- Zimmerman, David (2001): *Britain's Shield. Radar and the Defeat of the Luftwaffe*, Gloucestershire.
- Zimmerman, David (2004): „Information and the Air Defence Revolution, 1917-40“, in: *The Journal of Strategic Studies* 27(2), 370-394.

Abbildungen

- 1 Anonym (o.J.): „The IEX Speed Bump“, <https://exchange.iex.io/about/speed-bump/>, 29.10.2022.
- 2 Langhans, Carl Ferdinand (1810): *Ueber Theater oder Bemerkungen über Katakustik in Beziehung auf Theater*, Berlin, dort Fig. 47 (o.S.).
- 3 Originalabbildung aus: Moigno, François Marie (1849): *Traité de telegraphie électrique renfermant son histoire, sa théorie et la description des appareils* [Kurztitel], Paris. Hier wurde die Abbildung entnommen aus: Schmidgen, Henning (2004): „Die Geschwindigkeit von Gefühlen und Gedanken: Die Entwicklung psychophysiologischer Zeitmessung, 1850-1865“, in: *NTM Zeitschrift für Geschichte der Wissenschaften, Technik und Medizin* 12, 100-115, 102.
- 4 Donders, Franciscus Cornelis (1868): „Die Schnelligkeit psychischer Prozesse“, in: *Archiv für Anatomie, Physiologie und wissenschaftliche Medizin* 35, 657-681, 657.
- 5 Langendorff, Oscar (1891): *Physiologische Graphik. Ein Leitfaden der in der Physiologie gebräuchlichen Registrirmethoden*, Leipzig/Wien, 128.
- 6 Vanessa Couchman: „The Pneumatic Postal Service of Paris“, <https://vanessa.couchmanwriter.com/2019/07/02/the-pneumatic-postal-service-of-paris>, 01.11.2022.
- 7 Chwolson, O.D. (1919): *Die Lehre vom Schall. Zweite verbesserte und vermehrte Auflage*, hrsg. v. Gerhard Schmidt, Wiesbaden, 33.
- 8 Bontemps, Charles (1876): *Les Systèmes Télégraphiques. Aériens – Électriques – Pneumatiques*, Paris, Plate IX.
- 9 Bontemps, Charles (1876): *Les Systèmes Télégraphiques. Aériens – Électriques – Pneumatiques*, Paris, 331.
- 10 von Schellendorff, Paul Bronsart (1875): *Der Dienst des Generalstabes. Erster Theil*, Berlin, 224.
- 11 Jüllig, Max (1881): „Ueber akustische Distanzmessung. Vortrag, gehalten am 17. November 1880“, in: *Schriften des Vereins zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse* 21, 55-87, 82.
- 12 Bowlker, Thomas James (1908): „Apparatus for Submarine Signaling“, United States Patent Office No. 964.830, Application filed March 26, 1908, Patented July 12, 1910, Fig. 1.
- 13 Aigner, Franz (1922): *Unterwasserschalltechnik. Grundlagen, Ziele und Grenzen*, Berlin, 247.

- 14 Standards and Curriculum Division, Training, Bureau of Naval Personnel (1944): *Submarine Sonar Operator's Manual*, NAVPERS [Naval Personnel] 16167, 16.
- 15 Behm, Alexander (1928): „Die Entstehung des Echolots“, in: *Die Naturwissenschaften* 16(45-47), 962-969, 964.
- 16 Behm, Alexander (1916): „Anordnung zur Bestimmung von Meerestiefen und sonstigen Entfernungen unter Wasser“ (Basis Schallgeschwindigkeit), deutsches Patent Nr. 310,690, eingereicht am 7.1.1916, veröffentlicht am 26.09.1921.
- 17 Behm, Alexander (1928), „Die Entstehung des Echolots“, in: *Die Naturwissenschaften* 16(45-47), 962-969, 965.
- 18 Spiess, Fritz (1932): *Wissenschaftliche Ergebnisse der deutschen Atlantischen Expedition auf dem Forschungs- und Vermessungsschiff „Meteor“ 1925-1927, Band I, Das Forschungsschiff und seine Reise*, Berlin/Leipzig, 189.
- 19 Spieß, Fritz (1927): „Bericht über die Expedition“, in: *Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin* 7/8, 344-358, 352.
- 20 https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/5/53/SS_Princess_May_3c33388u.jpg/1200px-SS_Princess_May_3c33388u.jpg, 01.10.2023.
- 21 Gray, Elisha/Mundy, Arthur J. (1899): „Transmission of Sound“, United States Patent Office No. 636.519, Application Filed April 14, 1899, Patented November 7, 1899, Fig. 5 u. 6.
- 22 Submarine Signal Company (1906): *Submarine Signals* [Werbeanzeige], in: *The Marine Review* 34(25), 12.
- 23 Hayes, Hammond V. (1920): *Submarine Signaling. Its Application in Peace and War*, Boston, 30.
- 24 Hayes, Hammond V. (1920): *Submarine Signaling. Its Application in Peace and War*, Boston, 15.
- 25 Long, Frank S. (1908): „Ship-Detector“, United States Patent Office No. 948.424, Application filed February 21, 1908, Patented February 8, 1910, Fig. 1 u. 2.
- 26 Anonym (1934): „How Echoes are Produced. NBC Engineers Perfect Artificial Sound Reflection“, in: *Broadcast News* 13, 26-27, 26.
- 27 Percival, William Spencer (1939): „Delay Device for Use in Transmission of Oscillations“, United States Patent Office No. 2.263.902, Application filed February 2, 1939, Patented November 25, 1941, Fig. 1.
- 28 Emslie, Alfred G./McConnell, Robert A. (1947): „Moving Target Identification“, in: Louis N. Ridenour (Hrsg.), *Radar System Engineering* (MIT Radiation Laboratory Series 1), New York, 626-679, 631.
- 29 Sharpless, Thomas K. (1948): „Mercury Delay Lines as a Memory Unit“, in: *Proceedings of a Symposium on Large-Scale Calculating Machinery*, Cambridge, 103-109, 104.
- 30 Heising, Raymond A. (1940): „Radio Extension Links to the Telephone System“, in: *Bell System Technical Journal* 19, 611-646, 620.
- 31 Dussik, Karl Theo (1942): „Über die Möglichkeit, hochfrequente mechanische Schwingungen als diagnostisches Hilfsmittel zu verwerten“, in: *Zeitschrift für die gesamte Neurologie und Psychiatrie* 174, 153-168, 161.

- 32 Ludwig, G.D. (1950): „The Velocity of Sound through Tissues and the Acoustic Impedance of Tissues“, in: *Journal of the Acoustical Society of America* 22(6), 862-866, 863.
- 33 Anonym (1954): „Sound-Wave Portrait in the Flesh. A Sonarlike Device Produces Pictures of the Human Body's Soft Tissues which are Invisible to X-rays“, in: *Life*, v. 20. September, 71-72, 71.
- 34 Air Ministry (1941) (Hrsg.), *The Battle of Britain. August-October 1940*, London, 9.
- 35 © Imperial War Museum (IWM) AMY 157. Hier wurde die Abbildung entnommen aus Borbach, Christoph (2022): „Operations rooms. Infrastructures et pratiques des visualisations aériennes durant la Seconde Guerre mondiale“, in: *Transbordeur. Photographie histoire société* 6, 112-121, 119.
- 36 © IWM CH 13680. Hier wurde die Abbildung entnommen aus Borbach, Christoph (2022): „Operations rooms. Infrastructures et pratiques des visualisations aériennes durant la Seconde Guerre mondiale“, in: *Transbordeur. Photographie histoire société* 6, 112-121, 112.
- 37 Sitterly, B.W. (1948): „Principles of Loran“, in: John Alvin Pierce/A.A. McKenzie/Richard Horace Woodward (Hrsg.), *The LORAN System* (MIT Radiation Laboratory Series 4), New York, 52-106, 53.
- 38 Sitterly, B.W. (1948): „Principles of Loran“, in: John Alvin Pierce/A.A. McKenzie/Richard Horace Woodward (Hrsg.), *The LORAN System* (MIT Radiation Laboratory Series 4), New York, 52-106, 54.
- 39 Anonym (1945): „Radar: A Story in Pictures“, in: *Bell Telephone Magazine* 24(4), 256-282, 278.
- 40 Anonym (1945): „Radar: A Story in Pictures“, in: *Bell Telephone Magazine* 24(4), 256-282, 270.
- 41 Williams, Frederic C. (1949): „Basic Concepts and the Method of Approach“, in: Britton Chance/Vernon Hughes/Edward F. MacNichol/David Sayre/Frederic C. Williams (Hrsg.), *Waveforms* (MIT Radiation Laboratory Series 19), New York, 8-16, 10.
- 42 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, 361-394, 386.
- 43 Kelly, Marvin J. (1945): „Radar and Bell Laboratories“, in: *Bell Telephone Magazine* 24(4), 221-255, 223.
- 44 Zusammenstellung von Einzelabbildungen aus: Ridenour, Louis N. et al. (1947): „The Gathering and Presentation of Radar Data“, in: ders. (Hrsg.), *Radar System Engineering*, 160-212.
- 45 Taylor, Norman H. (1989): „Retrospective“ (Review of the first 10 Years of Displays from '47 to '57), in: *SIGGRAPH '89 Panel Proceeding, Special Session: Retrospectives I: The early Years in Computer Graphics at MIT, Lincoln Lab and Harvard*, 20-25, 20.
- 46 Zusammenstellung von Einzelabbildungen aus: Laposky, Ben Francis (1969): „Oscillons: Electronic Abstractions“, in: *Leonardo* 2(4), 345-354.
- 47 Taylor, Norman H. (1989): „Retrospective“ (Review of the first 10 Years of Displays from '47 to '57), in: *SIGGRAPH '89 Panel Proceeding, Special Session: Retrospectives I: The early Years in Computer Graphics at MIT, Lincoln Lab and Harvard*, 20-25, 21.

- 48** Eigene Abbildung auf Basis von Shannon, Claude E. (1948): „A Mathematical Theory of Communication“, in: *The Bell System Technical Journal* 27(3), 379-423, 381.

