

Shintaro Miyazaki

Das Sonische und das Meer. Epistemogene Effekte von Sonar 1940|2000

2012

<https://doi.org/10.25969/mediarep/13833>

Veröffentlichungsversion / published version

Sammelbandbeitrag / collection article

Empfohlene Zitierung / Suggested Citation:

Miyazaki, Shintaro: Das Sonische und das Meer. Epistemogene Effekte von Sonar 1940|2000. In: Andi Schoon, Axel Volmar (Hg.): *Das geschulte Ohr. Eine Kulturgeschichte der Sonifikation*. Bielefeld: transcript 2012, S. 129–145. DOI: <https://doi.org/10.25969/mediarep/13833>.

Erstmalig hier erschienen / Initial publication here:

<https://doi.org/10.14361/transcript.9783839420492.129>

Nutzungsbedingungen:

Dieser Text wird unter einer Creative Commons - Namensnennung - Nicht kommerziell - Keine Bearbeitungen 4.0/ Lizenz zur Verfügung gestellt. Nähere Auskünfte zu dieser Lizenz finden Sie hier:

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Terms of use:

This document is made available under a creative commons - Attribution - Non Commercial - No Derivatives 4.0/ License. For more information see:

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Das Sonische und das Meer

Epistemogene Effekte von Sonar 1940 | 2000

Shintaro Miyazaki

Im Meer ist es meist dunkel. Wo es dunkel ist, kommt der Hörsinn zum Zug. Dieser ist jedoch unter Wasser limitiert, denn Schallwellen im Wasser schwingen sich durch Fleisch und Körperflüssigkeiten hindurch. Wir hören unter Wasser mit dem Schädel, nur dieser hat genug Impedanz respektive Resistenz für Schallwellen, die sich im Wasser verbreiten.¹ Dadurch wird das Richtungshören verhindert, denn dafür werden zwei Resonanzkörper – das linke *und* das rechte Ohr – benötigt. Der Schädel resoniert im Wasser jedoch als Ganzes. Epistemische Apparaturen, welche solche körperlichen Mängel aufheben sollen, werden oft virulent, wenn es um das Überleben von sozio-kulturellen Gefügen und Gemeinschaften geht. Im Fall des Hörens und Navigierens unter Wasser geschah dies in zweifacher Weise: Einerseits am 14. April 1912 durch den Untergang der Titanic wegen eines Zusammenstoßes mit einem Eisberg und andererseits durch die U-Boot Kriege des beginnenden ersten Weltkriegs, spätestens am 22. September 1914, als drei britische Panzerkreuzer von der U9 – ein U-Boot der Deutschen Kaiserlichen Marine – versenkt wurden. Beide massenmedial vermittelten Katastrophen entstanden aus mangelnden Kenntnissen über die Orientierung und Navigation unter Wasser. Sie provozierten technische Lösungen des präzisen Unterwasser-Richtungshörens und der Objekterkennung beziehungsweise der Erlangung von Kenntnissen über die unsichtbaren räumlichen Verhältnisse unter Wasser durch Schall, um etwa nahende Eisberge, angreifende Torpedos oder U-Boote zu *erhören*.

Der Begriff ›Sonar‹ wurde erst spät, nämlich 1942 von Frederick Vinton Hunt, dem damaligen Direktor des Harvard Underwater Sound Laboratory geprägt und war eine Ab-

1 Helmreich 2007, 624.

kürzung für *Sonic, Azimuth and Range*. »Sonar« wurde jedoch schon 1943 von der US Navy in das heute allgemein bekannte *Sounding, Navigation and Ranging* umgedeutet. In England benutzte man bis in die frühen 1950er Jahre das Akronym *ASDIC* das für *Anti-Submarine Division* plus *-ic* als adjektivische Endung der englischen Sprache stand.² Die diversen historischen Situationen, in denen die prinzipiell sonisch operierende Medientechnik Sonar involviert war, sind nicht nur durch materiell-physikalische, sondern auch epistemisch-kulturelle Verschaltungen, Gefüge und ihre Kurzschlüsse bedingt. Sonartechnologien induzierten in einigen hier nur exemplarisch darstellbaren historischen Situationen Praktiken der Sonifikation,³ die für Menschen zuvor Unhörbares in hörbare Phänomene durch den Einsatz akustischer Medientechnologien transformierten und gleichzeitig damit neues wissenschaftliches, aber ebenso militärstrategisches Wissen produzierten. Sonartechnologie bildet durch ihr spezifisch subnautisches Gefüge von Elektro-Akustik ein interessantes kultur- und medienhistorisches Untersuchungsgebiet, wenn es um die Frage nach dem Zusammenhang von Unsichtbarkeiten, Hörpraktiken und Medientechnologien geht. Mit *sonisch* ist dabei ein Wissensbereich gemeint, der zwischen einer technisch geprägten Wissenspraxis der Hydro- respektive Elektroakustik und einer kulturell beziehungsweise ästhetisch geprägten Praxis der Klangproduktion – vereinfacht formuliert zwischen den Begriffen Schall und Musik – oszilliert.⁴ Im vorliegenden Beitrag wird es nur indirekt um die computerbasierte Sonifikation von Daten, wie sie seit den 1990er Jahren in der wissenschaftlichen Gemeinschaft der *ICAD (International Conference on Auditory Display)* theoretisiert wurde, gehen. Vielmehr werden einige weniger beachtete Randphänomene einer »Kulturgeschichte der Sonifikation« untersucht, die sich in einigen historischen Konfigurationen der Sonartechnologie aufzeigen lassen. Die Untersuchung dieser Randphänomene zeigte, dass die Repräsentation von nichthörbaren Prozessen durch hörbare Prozesse nur solange praktiziert wird, bis technisch aufwändigere, aber für den Benutzer leichter zugängliche Verfahren, die meist nur das Auge ansprechen, praktisch implementierbar werden. Diese für den

2 Hackmann 1984.

3 Sonar und die Sonifikationsforschung haben ein prototypisches Verhältnis, so untersuchte bereits Gregory Kramer, einer der Begründer der wissenschaftlichen Auditory Display-Forschung in *An Introduction to Auditory Display* die sonisch operierende Medientechnik Sonar, nämlich im Abschnitt »Other uses of nonspeech audio to convey information.« Vgl. Kramer 1994b, 29–32.

4 Dazu Ernst 2008, 1. Als super-sonisch werden im Folgenden akustische Phänomene im Ultraschallbereich und als trans-sonisch klangähnliche, das heißt *schwingende* Phänomene, die aber physikalisch betrachtet nicht durch akustische, sondern zum Beispiel durch elektromagnetischer Verfahren erzeugt werden, bezeichnet.

Fall des *passiven* Sonars⁵ detailliert untersuchte Tendenz zur Bildlichkeit⁶ provozierte Fragen bezüglich dem Status von Techniken der Hörbarmachung und damit von Sonifikation im Allgemeinen, die am Schluss des Beitrags dargelegt werden.

1. Präludien

Im vorliegenden Abschnitt werden die wichtigsten technikhistorischen Stationen und Eckdaten der Entwicklung des Sonars nachgezeichnet, um danach auf ihre sonischen Praktiken in jeweils spezifischen Kontexten und Konfigurationen eingehen zu können. Bereits Leonardo da Vinci erforschte im 15. Jahrhundert die Unterwasser-Akustik, doch erst die Physiker Jean-Daniel Colladon und Charles Strums machten 1826 konkrete Messungen am Genfersee und berechneten für die Verbreitungsgeschwindigkeit von Schall unter Wasser 1435m pro Sekunde bei 8 Grad Celsius, was mehr oder weniger dem heute akzeptierten Wert entspricht. Damit beträgt die Schallgeschwindigkeit im Wasser etwas mehr als das Vierfache der Geschwindigkeit in der Luft, die 343m pro Sekunde beträgt. Diese Kenntnisse legten die Grundsteine für die spätere Methode der Echolotung und Tiefenmessungen des Meeres, die ohne Sicht, sondern nur durch das Senden und Empfangen von Schallimpulsen erfolgte. Raum konnte von da an mit Zeitdauern gemessen werden. Klang wurde damit zur operativen Kernkomponente der Vermessung der Ozeane mittels Sonartechnologie.

Das Hydrophon – die Grundvoraussetzung für das Hören unter Wasser – wurde um 1889 von L.I. Blake an der Kansas University und etwas später von Elisha Gray und Arthur J. Mundy nochmals erfunden.⁷ Die Verbesserung der Erfindung resultierte 1905 in ein Patent, das aber alleine von Arthur J. Mundy eingereicht wurde und für den Bereich der damals bereits international erforschten Unterwasser-Telegrafie gedacht war. Dies war ebenso das neue Gebiet, in das der Rundfunkpionier Reginald Fessenden 1912 wech-

5 Im *aktiven* Sonar werden messende Schallimpulse aktiv ausgesendet, wohingegen im *passiven* Sonar Unterwassersignale empfangen und abgehört werden. Da es sich beim *aktiven* Sonar eher um ein Messverfahren handelt, das meist ohne eine besondere kognitive Performanz des Hörenden auskommt, konzentriert sich der vorliegende Beitrag vornehmlich auf das geschulte Ohr in Bezug zum *passiven* Sonar.

6 Zur Verschränkung von Bild und Objektivität siehe Daston, Galison 2007.

7 Elisha Gray ist berühmt dafür, dass er 1876 angeblicherweise zwei Stunden nach Alexander Graham Bell sein Patent für ein Telefon einreichen wollte, das Patent jedoch nicht bekam. Dafür prägte er den heute noch üblichen Begriff *Hydrophon* für Unterwasser-Mikrophone, der vorher für die Bezeichnung eines mit Wasser gefüllten Beutels, der mit einem Stethoskop verbunden war, benutzt wurde. Vgl. Hackmann 1984, 5.

selte, als er Probleme mit seiner Firma *National Electric Signaling Company (NESCO)* bekam.⁸ Doch nicht die Unterwasser-Telegrafie, sondern die subnautische Distanzmessung und Navigation waren das eigentliche Gebiet, für das sich Fessenden interessierte. Der Grund dafür war die Titanic-Katastrophe vom 14. April 1912,⁹ bei der das gigantische Passagierschiff Titanic mit einem Eisberg kollidierte und in die Tiefen des Meeres versank. Dabei starben 1513 Menschen. Die heute immer noch bekannte Katastrophe als Medienereignis löste – so zumindest die Anekdoten – bei drei Erfindern und Wissenschaftlern völlig unabhängig voneinander die Erfindung der Echolotung aus,¹⁰ darunter war ebenso Fessenden. Er reichte 1913 ein Patent mit dem Titel *Method and Apparatus for Submarine Signaling* ein und beschrieb darin seinen Oszillator, einer der ersten Unterwasser-Klangerzeuger, die nicht mehr wie bisher mit mechanischen – wie bei Glocken oder Wasserpfeifen –, sondern mit elektrodynamischen Verfahren Klang erzeugten. Am 27. April 1914 wurde ein Prototyp produziert.¹¹ Die Echolotung funktionierte mit dieser Technik leider nur in bestimmten idealen Situationen. Sie war noch nicht bereit für den Kriegseinsatz. Erst die im Auftrag der französischen Regierung während dem Ersten Weltkrieg entstandenen super-sonischen¹² Schallwandler von Constantin Chilowsky in Zusammenarbeit mit dem französischen Physiker und Professor am *Collège de France* in Paris Paul Langevin waren zuverlässig genug, sodass sie theoretisch unter erschwerten Bedingungen des Kriegs eingesetzt werden konnten. Am 29. Mai 1916 wurde das Patent *Procédés et appareil pour la production de signaux sous-marins dirigés et pour la localisation à distance d'obstacles sous-marins (Verfahren und Apparatur für die kontrollierte Erzeugung von Unterwassersignalen und für die Distanzortung von Hindernissen unter der Wasseroberfläche)*¹³ von Langevin eingereicht. Es beschrieb ein Verfahren, das eine spezielle Variante eines Kondensators, der mit elektrostatischen Kräften eine Glimmerplatte zum Schwingen brachte, benutzte.¹⁴ Diese Ultraschallerzeu-

8 Frost 2001, 466.

9 Ebd., 467.

10 Am 10. Mai 1912 reicht der Meteorologe, Physiker und Pionier der Wetterberechnung Lewis Fry Richardson sein Patent *Apparatus for Warning a Ship at Sea of its Nearness to Large Objects Wholly or Partly under Water* beim britischen Patentamt ein. Es beschrieb vor allem die Idee des Echolots, aber keine konkrete apparative Realisierung. Der deutsche Erfinder Alexander Brehm hingegen reichte am 21. Juli 1913 ein technisch detailliertes Patent für die *Einrichtung zur Messung von Meerestiefen und Entfernungen und Richtungen von Schiffen oder Hindernissen mit Hilfe reflektierter Schallwellen im deutschen Reichspatentamt* ein. Eine Weiterentwicklung dieser Apparatur wurde zehn Jahre später in der *Deutschen Atlantik Expedition* von 1925–27 massiv eingesetzt, die zum ersten Mal die Meerestiefen des Südatlantik kartografierte. Dazu Fußnote 44.

11 Frost 2001, 470ff.

12 Siehe Fußnote 4.

13 Übersetzung von S.M.

14 Zimmerman 2002, 41ff.

ger konnten im Bereich von 50-200 kHz aktiv schwingen *und* passiv resonieren. Das heißt, sie waren sowohl Mikrofon als auch Lautsprecher. Da die Tiefenmessungen mit diesen Verbesserungen noch ungenügend kontrollierbar waren, suchten Chilowsky und Langevin nach weiteren Verbesserungen und fanden einige im Februar 1917, indem sie einen piezo-elektrischen Klangerzeuger aus Quarz entwickelten, der sich viel einfacher handhaben ließ.¹⁵ Die nun ziemlich ausgereifte Entwicklung erweckte das Interesse der Briten und Amerikaner, die ebenso bereits an ähnlichen Entwicklungen forschten, aber bisher erfolglos blieben, woraufhin Langevin seine Resultate am 31. Oktober 1918 – elf Tage vor dem Ende des Ersten Weltkriegs – an der *Interallied Conference on Submarine Detection by Means of Supersonics* in Paris vorstellte.¹⁶ Obwohl der Erste Weltkrieg bald vorbei war, war die militärische Relevanz der damals brandneuen Technologie hoch genug, sodass die kriegsfähigen Nationen – allen voran die Briten – die Entwicklung im Bereich des Unterwasserhörens und -navigierens, massiv vorantrieben. Das Vereinte Königreich Englands beziehungsweise die Royal Navy etablierte sich ab den 1920er Jahren dadurch bis etwa zum Kriegseintritt der USA im Dezember 1941 zur (medien-) technologischen Speerspitze des Unterwasserhörens.¹⁷ In den anderen kriegsfähigen Nationen gingen die Forschungen nach dem Ersten Weltkrieg parallel weiter beziehungsweise begannen bereits vorher, doch jeweils in unterschiedlichen Größenordnungen. Anstatt die einzelnen mikrohistorischen Entwicklungen und ihre Effekte unnötig kompliziert darzustellen, soll hier lediglich darauf hingewiesen werden, dass es ähnlich wie beim Radar¹⁸ einen Wissenstransfer zwischen den Briten und den Amerikaner gab, wobei die USA seit ihrem Kriegseintritt in den Zweiten Weltkrieg massiv in kriegsrelevante Forschung investierten und dabei die Entwicklungen der Briten überboten. Während die Franzosen, Briten und Amerikaner zugespielt formuliert sich eher auf die Echolotung konzentrierten, waren es die Deutschen, welche die passive Aushorchung von feindlichen Kriegsschiffen und U-Booten weiterentwickelten.¹⁹ Dabei war das Gruppenhorchgerät (GHG) das wichtigste Unterwasserortungsgerät der deutschen U-Boote. Es wurde ab 1925 entwickelt und ab 1935 in alle deutschen U-Boote eingebaut.²⁰ Anders als bei den drehbaren Horchanlagen der Amerikaner waren die zuerst elektrodynamischen und später auf Piezokristallen basierenden Mikrophone im Rumpf der U-Boote in längeren Reihen eingebaut. Durch einen »Kompensator« – vereinfacht gesagt ein

15 Ebd., 42.

16 Die vom *Research Information Service of the American National Academy of Sciences* ins Englische übersetzte Version des Vortrags ist vollständig in Zimmermann 2002 abgedruckt. Vgl. ebd., 43–53.

17 Dazu ausführlich Hackmann 1984, 73–95.

18 Hagemayer 1979, 340.

19 Hackmann 1984, 295 und Rössler 1991, 12, 19.

20 Rössler 1991, 22, 25.

Analogrechner – konnte die Richtung der Schallquelle bestimmt werden. Am Ende der Schaltung von Vorverstärkern und Klangfiltern war ein Kopfhörer des »Horchers« angeschlossen.²¹

Die wichtigsten technischen Voraussetzungen für die Medientechnik, die etwa zwanzig Jahre später Sonar genannt wurde, waren bereits anfangs der 1920er Jahre gegeben. Trotzdem springt der historiografische Fokus des vorliegenden Beitrags im Folgenden um zwanzig Jahre vorwärts. Ein Handbuch für angehende Sonaroperateure der US Navy von 1944 beschrieb nicht nur auf einfachste und zugänglichste Art die praktische Arbeit des auditiven Suchens nach feindlichen Schiffen und Torpedos, sondern erlaubte den nach fast siebzig Jahren Abstand immer noch nachvollziehbaren hörenden Abgleich mit einer Schulungsschallplatte aus der selben Zeit.²² Im Zuge der Frage nach dem Verhältnis von möglichen randständigen Praktiken der Sonifikation mit einigen historischen Konstellationen der Sonartechnologie überzeugen Klangbeispiele aus der Matrosenschulung der US Navy in Kombination mit Schulungsdokumenten weitaus mehr als bisher unauffindbare Dokumente der Zeit zwischen 1925 und 1935, da es hier vornehmlich um eine Untersuchung der hörenden Praktiken eines Sonaroperateurs geht.

2. Geschulte Ohren im passiven Sonar 1940

Ein Sonaroperateur auf einem U-Boot der US Navy während und kurz nach dem Zweiten Weltkrieg musste sich mit folgenden fünf Geräten auskennen: erstens dem Hydrophon, zweitens dem Audioverstärker und der Filteranlage, drittens dem Kopfhörer, viertens dem mechanischen Kontrollmechanismus für die Drehung des Hydrophons und fünftens den elektrischen Kabeln, die alle Teile miteinander verbanden.²³ Dabei gab es zwei verschiedene Hydrophonarten, die jeweils den sonischen und super-sonischen Bereich abhörten, wobei die super-sonischen Signale jeweils in den hörbaren Bereich moduliert wurden. Super-sonischer Schall – Ultraschall – wurde meist von Schiffen für die Ortung

21 Ebd., 26, 39ff.

22 Zwei historische Handbücher der US Navy werden für die folgende Untersuchung des passiven Sonars der 1940er Jahre dienen: das erste Dokument ist das *Submarine Sonar Operator's Manual* von 1944 für die Ausbildung von Sonaroperateuren. Das zweite Dokument *Naval Sonar* von 1953 ist eine etwas tiefere Einleitung in Sonar für *electronic officers* der Navy, die sich hauptsächlich auf Sonarrüstung und Operationsweisen des Zweiten Weltkriegs bezieht. Neben diesen beiden Quellen dienen Tonaufnahmen aus Trainings-Schallplatten der selben Zeit als Untersuchungsmaterial. Vgl. für die Trainingsschallplatte <http://www.hnsa.org/sound/>, 10.3.2011.

23 Bureau of Naval Personnel 1944, 2.

von U-Booten eingesetzt. Alle fünf Teile bildeten zusammen ein elektro-akustisches Gefüge, wobei das mühsam angelegte, operative und auditive Wissen des Operators hier eine wichtige Rolle spielte. Er hörte seine subnautische Umgebung nach spezifischen sonischen und rhythmischen Qualitäten ab, deren Quellen – meist Schiffe an der Oberfläche oder Torpedos – der Operator anhand seines Hörwissens und seiner Hörerfahrung identifizieren konnte. Wie es oft bei auditiven Wissensformen der Fall ist, scheint es sich hierbei um ein implizites Wissen gehandelt zu haben. Kennzeichnend für ein solches Körper- und Wahrnehmungswissen ist die damit einhergehende Schwierigkeit, ein derartiges Wissen detailliert durch diskursive Beschreibungen zu explizieren.²⁴ Die Hörbarmachung beziehungsweise die Verklanglichung, das heißt die Sonifikation im weitesten Sinne, geschah – wie noch zu zeigen ist – im Zwischenbereich von Operator und Technik.²⁵ Der analytische Fokus darf demnach weder alleine beim Klang noch bei der Technik verharren, sondern muss ebenso das komplizierte Zusammenspiel der Perception des U-Boot-Matrosen mit der involvierten Audiotechnik, dem U-Boot, mit seiner geophysikalischen Umwelt und schließlich mit dem feindlichen Objekt einbeziehen.

Wenn eine verdächtige Geräuschquelle durch das ständige Absuchen gefunden wurde, erfolgte ein möglichst effizientes Abhören mithilfe von elektrischen Klangfiltern in Kombination mit einem Drehmechanismus. Wie bereits konstatiert, ist das menschliche Richtungshören unter Wasser eingeschränkt. Der Drehmechanismus konnte die Richtung des Hydrophons ändern und erlaubte damit ein 360-Grad-Abhören. Durch geschicktes Drehen des Hydrophons und hörendes Vergleichen von unterschiedlichen Winkelpositionen ließ sich die Richtung, aus der eine Geräuschquelle stammt, ermitteln. Dabei musste der Operator ständig die korrekte Position der Quelle präzisieren, aber auch nach weiteren Geräuschquellen suchen und musste stets sowohl die Schaltelemente des Klangfiltermoduls als auch den Drehmechanismus bedienen.

Das technische Ohr des Sonaroperators diente nicht nur der Überwachung von feindlichen Schiffsbewegungen, sondern auch der Selbstüberwachung, denn er hörte ebenso die verräterischen Geräusche des eigenen U-Bootes und konnte seinem höheren Offizier Gegenmaßnahmen vorschlagen.

Eine schematische und abstrahierte Darstellung der Verschaltung der Elektronik einer für die US Navy der 1940er Jahre typischen Sonararüstung mit der Bezeichnung JP-1 ist auf Abb. 1 dargestellt. Im Zentrum steht eine Schaltbank von verschiedenen Hochpassfiltern, die den hörbaren Bereich in verschiedene Frequenzbereiche einteilte, d.h.

24 Zum Thema implizites Wissen Neuweg 2001, 12ff., 151ff.. Dazu ebenso in Bezug zu Hörerfahrungen Schulze 2008, 153-157.

25 Zur Rolle des Operators bzw. des Benutzers in sozio-technischen Gefügen Latour 2006, 485.

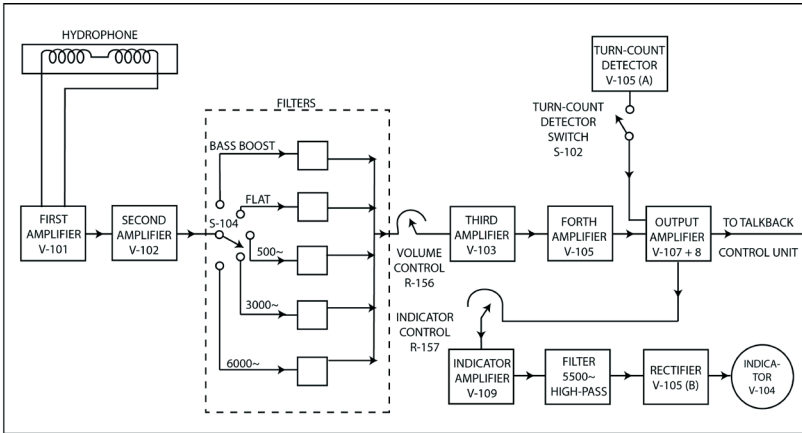


Abb. 1: Blockschaltdiagramm des JP-1 Sonar Equipments. Nach einer Abb. aus: Bureau of Naval Personnel 1953, 242.

mittels analoger Technik zerlegte und die gezielte Selektion von einzelnen Frequenzbändern ermöglichte. Dabei gab es beim JP-1 fünf Frequenzbereiche: erstens eine Hervorhebung tieferer Frequenzen, welche »Bassboost« genannt wurde,²⁶ zweitens eine filterlose Einstellung, die auch »Flat« genannt wurde, drittens einen Hochpassfilter bei 500 Hz, der alle Frequenzen unterhalb von 500 Hz dämpfte, viertens einen Hochpassfilter bei 3000 Hz und fünftens ebenso einen Hochpassfilter bei 6000 Hz. Während der Schulung erlernte der Operateur die Grundlagen der Akustik und Signalverarbeitung, sodass er wusste, dass die Richtung von tiefen Tönen eher schwierig zu detektieren ist, wohingegen Erzeuger von hohen Frequenzen beziehungsweise breitbandigen Geräuschen, etwa von Schiffsmotoren, deren tieferen Frequenzen weggefiltert wurden, ihre präzise, räumliche Lage in Bezug zum Operateur verraten.

Propeller noise is made up of all frequencies. But background noise, from the water and the submarine, is mostly low-frequency sounds. Therefore, by operating with a high-frequency filter you can get rid of the background noise, yet still hear the screws. Also at higher frequencies the target is heard over a narrower arc. So it is wise to use the highest filter setting on which the target can be heard.²⁷

26 Bureau of Naval Personnel 1944, 17.
27 Ebd., 24.

Insgesamt zählten sowohl Klangeigenschaften wie stehend-durchgehender, rhythmisch-unterbrochener oder aperiodisch-transitiver Klang als auch die Tonhöhe und weitere Klangcharakteristika, um die Klänge sowohl bezüglich ihrer potentiellen Quellen als auch in das Schema Feind/Verbündeter einzuordnen. Die Fähigkeit des Gehörs, das Gehörte als »auditive Gestalten«, die automatisch zu Klassen gruppiert werden, zu erkennen,²⁸ wurde hier gefördert und trainiert, sodass der Operateur ohne lange nachdenken zu müssen die mittels des beschriebenen Medienegefüges von Hydrophon, Audioverstärker, Drehmechanismus, Klangfiltern und Kopfhörer gehörten Klänge erkennen und nicht nur die Kategorie des Senders – etwa ein feindlicher Flugzeugträger, Schnellboot oder Zerstörer – sondern auch seine Winkel-Position in Bezug zum U-Boot und die ungefähre Entfernung angeben konnte.

Die Klassifizierung der Klänge lernte der Operateur als erstes anhand einer Schulungsschallplatte,²⁹ die seine Wahrnehmung präkonditionierte. Die Klangfilterung als epistemisches Hilfsmittel wurde Teil seiner Operativität, denn ohne sie wäre die korrekte Beurteilung und Einordnung der Klangquellen erschwert gewesen. Ihre Benutzung wird bereits in den ersten Schulungsklangbeispielen vorgeführt.³⁰ Der Wellenfilter, der ursprünglich für die Effizienzsteigerung der Telefonie und Telegrafie zwischen 1890 und 1920 entwickelt wurde,³¹ sorgte im Kontext des Unterwasserhörens für die Steigerung der kognitiven und epistemischen Effizienz des hörenden Sonaroperators, der den hörbaren Frequenzbereich nicht einfach als unteilbares Ganzes hörte, sondern dank der Filterung aktiv in zwar grobe, aber annähernd diskrete Bereiche teilen respektive ungewollte Frequenzbereiche ausfiltern konnte. Erst diese Potentialität einer kontrollierten und aktiven Einteilung und Kategorisierung von Klängen durch ihre Frequenzanteile, d.h. durch ihre Klangfarben, löste eine Welle der auditiven Exploration von Unterwasserklängen aus, die, wie bereits erläutert, in Deutschland durch die Gruppenhorchgeräte bereits etwa ab 1925 durchgeführt wurden.³² Das Reale der meist unhörbaren Unterwasserklänge, Vibrationen, Töne und Impulse wurde durch die Möglichkeit ihrer Filterung, De-Komposition und grobe Diskretisierung zumindest rudimentär in sprachlich-symbolische Klassenbezeichnungen einteilbar und damit begreifbar gemacht. Es lässt sich spekulieren, dass es womöglich eine epistemische Korrelation zwischen der Idee, das Meer als Nachrichtenkanal für eine Unterwassertelegrafie zu nutzen, und der Meta-

28 Hermann 2008, 210.

29 Die Audiodateien sind unter dem Titel JP Sonar online. Vgl. <http://www.hnsa.org/sound/>, 10.3.2011. 30 Ebd.

31 Hirt, Volmar 2009.

32 Rössler 1991, 21ff..

pher des Hinhorchens nach neuen *Nachrichten* unterschiedlicher feindlicher Klangquellen mittels avancierter Medientechnik gab.

Unterwasserklänge in den U-Booten waren theoretisch bereits mit bloßem Ohr hörbar, doch wurden sie, wie anhand des spezifischen Falls des Mediengefüges namens JP-1 beschrieben wurde, technisch vermittelt. Unhörbare super-sonische oder nur durch die Kombination von Filter und Verstärker heraushörbare Signale wurden durch die Sonar-Ausrüstung hörbar gemacht, wobei ebenso die Richtung, aus der ein Klangsignal emittiert wurde, bestimmt werden konnte, was unter Wasser mit bloßem Ohr ebenso unmöglich war. Im Verbund mit dem auf Klangperzeptionen basierenden Erfahrungs-, Körper- und Wahrnehmungswissen kann hier meines Erachtens von einer randständigen Praxis der Sonifikation ausgegangen werden. Denn diese zeichnet sich sowohl durch einen technischen als auch kognitiven Mehraufwand aus, um unhörbare Prozesse aktiv in nicht-sprachliche Klangprozesse zu transformieren.³³

3. Passive Sonarsysteme 2000

War die analoge Filterung von elektrischen Signalen durch die Kombination von Widerständen und Kondensatoren als Signalverarbeitung operativ eingeschränkt, so wurde diese durch die Emergenz von digitaler Signalverarbeitungstechnik maßgeblich verändert. *Digital signal processing* (DSP) entstand in den 1970er Jahren³⁴ und wurde Anfang der 1980er Jahre durch das Aufkommen von DSP-Chips wie etwa dem NEC μ PD7720³⁵ beschleunigt. Analoge Filter wie sie im JP-1 der US Navy während des Zweiten Weltkriegs eingesetzt wurden, konnten seitdem digital simuliert werden. Seit der Entwicklung und Formulierung der schnellen Fourier-Transformation – *Fast Fourier Transformation* (FFT) – durch James W. Cooley (*1926) und John W. Tukey (1915–2000) im Jahr 1965,³⁶ der Verbilligung und gleichzeitigen Steigerung der Zuverlässigkeit von digitalen rechnenden Gefügen in den 1980er Jahren, konnten Signale und damit sowohl sonische als auch trans-sonische – das heißt etwa elektromagnetische – Oszillationen in ihre harmonischen Komponenten zerlegt werden. Spektralanalysen wurden damit möglich. Jeder Klang wurde in seiner Individualität symbolisch, also digital, erfassbar. Das Reale der Unterwasserklänge, ihre Klangcharakteristik, konnte nicht nur wie bis dahin rudimentär,

33 Kramer 1994a, 1.

34 Oppenheim, Schafer 1975.

35 Kittler 1986, 379.

36 Cooley, Tukey 1969.

sondern sowohl in höchster Zeit- als auch Wertauflösung digital, genauer gesagt auf symbolische Weise – durch Datensätze – annähernd vollständig erfasst werden. Damit ließen sich nicht nur vielseitige Klangdatenbanken einrichten, die bereits lange vor der Zeit der Digitalisierung in der frühen Nachkriegszeit im Rahmen des SOSUS-Projektes (Sound Surveillance System) vom *Office of Naval Intelligence* der US Navy entwickelt wurden, wo die einzelnen Klänge durch wiederholtes Anhören miteinander verglichen und gelernt werden konnten, sondern die Klänge konnten mit dem Aufkommen von DSP, dadurch dass ihre spezifischen Eigenschaften, etwa das Timbre und die Tonhöhe nach entsprechenden Analysen in Datensätze symbolisiert bereit lagen, weiter verarbeitet und kategorisiert werden. Das implizite Wissen des Sonar-Operateurs, das direkt am Klangmaterial erlernt wurde, konnte damit mehr und mehr durch eine Datenbank von Spektralanalysen, d.h. Klangfarbenverläufen, diverser Unterwassergeräuschen, ersetzt werden. Künstliche neuronale Netze implementiert als maschinelle Lernalgorithmen in hochtechnisierten Sonarsystemen sind etwa seit den späten 1990er Jahren in der Lage, aus diesen Datenbeständen durch automatisches Training zu lernen und das Gelernte auf neue, noch nicht analysierte Klangquellen anzuwenden.³⁷ Selbstorganisierende Kohonen-Netzwerke lernen dabei aus den Daten und teilen jede Klangquelle in vordefinierte Kategorien wie Schnellboot, Fischschwarm, Wal, Vulkan, Flugzeugträger, U-Boot etc. ein, wobei ähnliche Geräusche durch mehrfache algorithmische Iteration und Adaption in die gleiche Kategorie kommen.³⁸ Um 2003 konzentrierte sich die dafür nötige interdisziplinäre Forschung im Zwischenbereich von Mathematik, Informatik, Ingenieurwissenschaften und Ozeanografie, soweit überschaubar, auf das maschinelle Einordnen von künstlichen Geräuschen, die von Maschinen und Schiffen erzeugt wurden, doch auch einzelne Fischarten lassen sich, wenn gutes Ausgangsmaterial vorhanden ist, erkennen.³⁹

Beim passiven Sonar der 1940er Jahre geschah die Hörbarmachung im Verbund von Operateur, Audiotechnik und U-Boot, wobei wichtige Faktoren wie die Selektion von Geräuschquellen einerseits durch das Drehhydrophon, andererseits durch die Klangfilter noch weitgehend von den Operationen und Entscheidungen des Matrosen abhängig war. Der Sonar-Operateur war damit trotz der Bezeichnung ›passives Sonar‹ kein passiver Zuhörer, sondern ein aktiver ›Sonifikator‹, der mit seiner medial erzeugten ›Sonifikation‹⁴⁰ interagierte und gleichzeitig die Bedeutung – die Lage und Art des

37 Howell et al. 2003. Ebenso Chen et al. 1998.

38 Chen et al., 51ff. oder Howell et al. 2003, 1921.

39 Howell et al., 1918ff.

40 Wiederum geht es mir hier nicht um einen herkömmlichen Begriff der Sonifikation als computerbasierte Hörbarmachung von Datenstrukturen oder -prozessen, sondern um kognitive und noch nicht

feindlichen Schiffes – die er aus dem Gehörten interpretierte, an weitere höhere Offiziere in seinem U-Boot kommunizierte. Seit der Einführung von DSP in den 1970er Jahren und der Möglichkeit des automatisierten »Trainings«⁴¹ durch künstliche neuronale Netzwerke und maschinelle Intelligenzen ab den späten 1990er Jahren kann sowohl das Hörwissen des Sonaroperateurs als auch die dafür notwendige Ausbildung eingespart werden. Die Welt der Unterwasserklänge transformierte sich zu einer unhörbaren Geräuschkulisse für Maschinen, die für Menschen meist nur noch an der Oberfläche von Visualisierungen und *Interfaces* sichtbar, aber nicht mehr hörbar wurde.⁴² Die Interaktionsoberflächen hochmodernster Sonarsysteme im 21. Jahrhundert zeichnen sich gerade durch das Fehlen von klanggenerierenden Prozesse aus.⁴³ Der Prozess der Sonifikation ist in diesem Mediengefüge zwar nicht mehr hörbar, doch bleibt seine Gebundenheit an akustischen Phänomenen, die nun maschinenintern verarbeitet werden, bestehen. Sonarsysteme, die scheinbar geräuschlos arbeiten und nur noch über Bildschirme und visuelle Darstellungsformen sinnlich erfahrbar sind, haben damit, um es metaphorisch und in Anlehnung an Heideggers Seinsgeschichte zu formulieren, ihre sonische und sonifizierende Seinsweise vergessen.

4. Transduktionen

Eine ähnliche Tendenz zeigte sich beim aktiven Sonar, das anfangs noch eine hörend nachvollziehbare Medientechnik war,⁴⁴ die sich aber bereits in den 1920er und 30er Jahren durch die Inskriptionsapparaturen von Langevin und Florisson zu einem bildgebenden Verfahren entwickelte.⁴⁵ Die neusten Entwicklungen des aktiven Sonars, wie

vollständig algorithmisierte Varianten der »Sonifikation« in ihrer bereits erläuterten erweiterten Bedeutung.

41 Chen et al. 1998, 47 oder Howell et al. 2003, 1917.

42 Vgl. für den Bereich der Tiefseeforschung Helmreich 2007, 625.

43 Logischerweise wären diese ebenso mit Klängen ausgestattet. Sie wären aber Bedienhilfen und hätten keine real-physikalische Verbindung mit den zu erkennenden Unterwasserobjekten. Die Existenz von hybriden Systemen wird hier nicht ausgeschlossen.

44 Vgl. die wiss. Dokumentation über die *Deutsche Atlantik Expedition* von 1925–27 durch Hans Mauer und Theodor Stocks, insbesondere die Beschreibung der Pionierphase der noch hörend praktizierten Echolotung (aktives Sonar) in Mauer 1933 (Textteil), 14, 18, 23ff.

45 Pat. Nr. 575.435 (eingereicht am 27. Dez. 1923) in Frankreich und US. Pat. 1,858,931 (eingereicht, 8. Dez. 1924). Die britische *Royal Navy* verbesserte die Apparatur und nannte sie *Echo-Range-Recorder*. Dazu Hackmann 1984, 223ff. u. Tafel 9.11.

das *Multibeam Sonar* oder das *Side Scan Sonar*, die nur noch hochaufgelöste, farbige und dynamische Bilder generieren,⁴⁶ bestätigen diese Tendenzen auf drastischer Weise. Werden die beiden verschiedenen Modi des Sonars, einerseits das passive und andererseits das aktive Sonar, ihr Zusammenspiel mit ihren Benutzern und ihre jeweiligen Eskalationen miteinander verglichen, dann zeigt sich eine kategoriale Differenz im Modus der Prozessualität der verschiedenen Technologien. Beim aktiven Sonar ging es dabei eher um die speichernde Bestimmung von Meerestiefen und ihre Darstellung, beim passiven Sonar ging es hingegen um ein aktiv verarbeitendes Horchen. Messungen und ihre Speicherung sind einfacher in Medien zu implementieren, komplexer hingegen ist die algorithmische Programmierung von intensiver Datenverarbeitung, die für das maschinelle Horchen in Echtzeit notwendig wäre. Diese eher systematische Feststellung könnte ebenso für eine »Kulturgeschichte der Sonifikation« von Relevanz sein.

Sonische Prozesse sind akustische Prozesse, die zwischen reiner Physik und symbolischer Semantik oszillieren, etwa indem sie von Menschen perzipiert werden, ihre Generierung kann jedoch völlig zwecklos sein. Beispiele dafür wären das Geräusch eines Wasserkochers oder eines Schiffsmotorpropellers. Die Unfähigkeit, akustische Prozesse rein als solche – ohne Semantik – wahrzunehmen, sondern immer bereits eine Erklärung für die Geräusche zu liefern, dient der meist impliziten Navigation, Orientierung und Lagebestimmungen im Alltag.⁴⁷ Geräusche besitzen eine materielle Referentialität, die beim Hörer Bedeutungen, wie etwa das Sieden von Wasser oder die Anwesenheit eines Schiffs, erzeugen, die jedoch menschliche Semantisierungen von rein intentionslosen Signalen sind. Sonifizierende Prozesse hingegen zeichnen sich – so mein Vorschlag – durch eine explizite Intentionalität, die solche scheinbar naturgegebene Situationen durch medientechnischen Aufwand künstlich herstellt, aus.

5. Die Frage nach der medientechnischen Zeitökonomie

Im Zuge des Versuchs die Bandbreite zwischen sonischen und sonifizierenden Prozessen insbesondere in Bezug auf die dargelegten Eskalationen der Sonartechnologie auszulegen und um die historischen Agenturen, ihre epistemogenen, d.h. durch die spezifischen Wahrnehmungs-, Handlungsweisen und -möglichkeiten des Sonars bedingten, Tendenzen und ihre Effekte zu verstehen, wurde die Frage nach dem Grad des medientechnischen Aufwands und seiner Zeitökonomie virulent.

46 Balabanian et al., 155.

47 Kramer 1994a, 3-5.

Ab wann ist ein sonischer Prozess aufwändig genug, dass er als sonifizierender Prozess – demnach als Sonifikation – bezeichnet werden kann? Und ab wann werden sonifizierende Prozesse durch bildgebende oder visualisierende Medientechniken ersetzt? Das führt zur Frage nach dem Grad der maschinellen Automation und hardwaremäßigen Verschaltung. Welche Prozesse geschehen in der Kognition des Hörenden und welche Prozesse in Medien- und Maschinengefügen? In einem weiteren Schritt muss ebenso die Frage nach der Hörbarkeit respektive Unhörbarkeit dieser Prozesse gestellt werden. Dies scheint unnötig und für eine ›Kulturgeschichte der Sonifikation‹, bei der es doch eindeutig um Hörpraktiken und Hörwissen gehen soll, höchst problematisch zu sein. Die meisten unhörbaren Prozesse der elektronischen Signal- und Datenverarbeitung können jedoch mit einfachen Mitteln verklänglich werden. Unhörbare, trans-sonische Prozesse werden damit sowohl im analogen als auch im digitalen Bereich der Signalverarbeitung äußerst leicht in Klang als Audifikation transformierbar, dazu reicht etwa das Anbringen zweier Kabel (Masse und Signal) an blanken Stellen in der Elektronik, deren elektronische Signale per Audioverstärker durch Lautsprecher transduziert werden⁴⁸ oder das absichtliche Falschlesen von Daten durch Software,⁴⁹ die zum Beispiel Bilddaten in Klangdaten umwandeln kann. Durch solche gezielten Eingriffe ließe sich theoretisch etwa der medienarchäologische Bezug von aktuellen bildgebenden und visualisierenden Sonartechnologien zum Sonischen schnell wieder herstellen. Das Vergessen könnte sich so zum Erinnern verwandeln.

Wie dargelegt, ging es bei der vorliegenden Untersuchung gleichsam um die Faktizität – um Aspekte der Machung von Hörbarmachungen – und nicht nur um die Hörbarkeit von Sonartechnologien. Dabei zeigte sich, dass es nicht alleine um Hörpraktiken und Hörwissen geht, sondern ebenso um ihre Abhängigkeit von Medientechnologien, ihren Benutzern und der Zeitökonomie ihrer Interaktion. Beim passiven Sonar im Kriegseinsatz ging es, wie dargelegt, um das Fällen von schnellen, kriegskritischen Entscheidungen auf Basis von meist nur implizit erlernbaren Fähigkeiten und Automatismen. Die epistemische Leistung des Sonaroperators in Verschaltung mit der Sonarausrüstung und seinem antrainierten Hörwissen, aber ebenso der Aufwand für ihre medientechnische Implementierung in Hard- und Software, ist im Vergleich zum aktiven Sonar wesentlich höher, wo es lediglich um ein passives Abtasten des Meeresgrundes mittels Schallimpulsen und um das anschließende Auswerten respektive Beobachten der gewonnenen

48 Eine ähnliche Praxis wurde bereits um 1900 in der Erforschung der Elektrophysiologie von tierischen und menschlichen Nervensystemen verübt. Dabei wurden Telefone und Elektroden benutzt, um elektrische Aktivitäten von Nervensystemen abzuhören. Dazu ausführlich Volmar 2010.

49 Soundhack, programmiert von Tom Erbe, bereits in den 1990er Jahren veröffentlicht und seit dem als Freeware distribuiert, ist ein Beispiel einer solchen Software. Dazu <http://soundhack.henfast.com/freeware/>, 10.3.2011.

Messdaten ging. Diese Daten sollten objektiv und überblickbar sein, damit sie später mit anderen Daten vergleichbar wären. Vor allem im Fall von ozeanografischen Projekten gab es keinen unmittelbaren Zeitdruck, denn es ging nicht direkt um Menschenleben oder Territorialkämpfe, sondern um die geophysikalische Vermessung und Kartografierung der Meere. Zwischen dem passiven und dem aktiven Sonar bestehen demnach klare Differenzen in ihren Zeitökonomien.

Während das aktive Sonar bereits in den 1920er und 30er Jahren von einem sonischen zu einem bildgebenden Verfahren wurde, geschah die Verstummung des passiven ›sonifizierenden‹ Sonars erst am Ende des 20. Jahrhunderts. Ihre historische Stabilität als Hörpraxis im Verbund von Mensch und Medientechnik, bei der das verkörperte Wissen des Sonaroperators erst in den späten 1990er Jahren durch hochkomplexe Maschinenintelligenzen ersetzt werden konnte, zeigte, dass gerade bei solchen oder ähnlichen schwierig zu (medien-)technisierenden Verfahren der Verschränkung von Mensch und Mediengefüge, d.h. an medialen Schnittstellen, welche die interaktive navigationsmäßige Exploration⁵⁰ von dynamischen Wissens- und Datenräumen unter Echtzeitbedingungen ermöglichen, Praktiken der Hörbarmachung substantielle Rollen spielen könnten.

6. Quellen

- Balabanian, Jean-Paul et. al. (2007): Sonar Explorer: A New Tool for Visualization of Fish Schools from 3D Sonar Data, in: Museth, K., Möller, T., Ynnerman, A. (Hg.), Data Visualization - EuroVis 2007, Norrköping, Sweden, 155-162.
- Bureau of Naval Personnel (Standards and Curriculum Division, Training) (1944): Submarine Sonar Operator's Manual (Navpers 16167), <http://www.hnsa.org/doc/fleetsub/sonar/index.htm>, 10.3.2011.
- Bureau of Naval Personnel (1953): Naval Sonar (Navpers 10884), <http://www.hnsa.org/doc/sonar/index.htm>, 10.3.2011.
- Chen, Chin-Hsing, Lee, Jiann-Der, Lin, Ming-Chin (1998): Classification of Underwater Signals Using Wavelet Transforms and Neural Networks, in: Mathematical and Computer Modelling (Vol. 27, No. 2), 47-60.
- Cooley, James W., Tukey, John W. (1969): An Algorithm for the Machine Calculation of Complex Fourier Series, in: Oppenheim, Alan V. (Hg.), Reprint, Papers on Digital

50 Zur interaktiven Exploration von Datenräumen Hermann 2008.

- Signal Processing (orig. in: *Mathematics of Computation*, Vol. 19, April 1965, S. 297–301), Cambridge, Massachusetts, 146-150.
- Daston, Lorraine, Galison, Peter (2007): *Objektivität* (übersetzt von Christa Krüger), Frankfurt am Main.
- Ernst, Wolfgang (2008): Zum Begriff des Sonischen (mit medienarchäologischem Ohr erhört/vernommen), in: *PopScriptum 10 – Das Sonische - Sounds zwischen Akustik und Ästhetik* (Schriftenreihe herausgegeben vom Forschungszentrum Populäre Musik der Humboldt-Universität zu Berlin), <http://www2.hu-berlin.de/fpm/popscrip/themen/pst10/ernst.htm>, 10.3.2011.
- Frost, Gary Lewis (2001): *Inventing Schemes and Strategies: The Making and Selling of the Fessenden Oscillator*, in: *Technology and Culture* (Vol. 42, No. 3, July), 462-488.
- Hagemayer, Friedrich-Wilhelm (1979): *Die Entstehung von Informationskonzepten in der Nachrichtentechnik. Eine Fallstudie zur Theoriebildung in der Technik in Industrie- und Kriegsforschung*, Phil. Diss. Freie Universität Berlin.
- Hackmann, Willem (1984): *Seek and Strike. Sonar, anti-submarine warfare and the Royal Navy 1914-54*, London.
- Helmreich, Stefan (2007): *An anthropologist underwater. Immersive soundscapes, submarine cyborgs, and transductive ethnography*, in: *American Ethnologist* (Vol. 34, No. 4), 621-641.
- Hermann, Thomas (2008): *Daten hören. Sonifikation zur explorativen Datenanalyse*, in: Holger Schulze (Hg.), *Sound Studies. Traditionen – Methoden – Desiderate. Eine Einführung* (Sound Studies, Bd. 1), Bielefeld, 209-228.
- Hirt, Kilian, Volmar, Axel (2009): *Kanalarbeit. Das Übertragungsproblem in der Geschichte der Kommunikationstechnik und die Entstehung der Signalverarbeitung*, in: Volmar, Axel (Hg.), *Zeitkritische Medien*, Berlin, 213-238.
- Howell, B.P., Wood, S.L., Koksal, S. (2003): *Passive Sonar Recognition and Analysis Using Hybrid Neural Networks*, in: *OCEANS 2003*, 22-26 Sept., Proceedings, Volume 4, 1917-1924.
- Kittler, Friedrich (1986): *Grammophon, Film, Typewriter*, Berlin.
- Kramer, Gregory (1994a): *An Introduction to Auditory Display*, in: Kramer, Gregory (Hg.), *Auditory Display. Sonification, Audification and Auditory Interfaces*, Reading, Massachusetts, 1-77.
- Kramer, Gregory (1994b): *Some Organizing Principles for Representing Data with Sound*, in: Kramer, Gregory (Hg.), *Auditory Display. Sonification, Audification and Auditory Interfaces*, Reading, Massachusetts, 185-221.
- Langevin, Paul, Florisson, Charles L. (1924): *U.S. Pat. 1,858,931 Method and Apparatus for Sounding and for Locating Submarine Obstacles by Means of Ultra Audible Waves*, USA.

- Latour, Bruno (2006): Über technische Vermittlung: Philosophie, Soziologie und Genealogie, in: Bellinger, Andréa, Krieger, David J. (Hg.), ANThology. Ein einführendes Handbuch zur Akteur-Netzwerk-Theorie, Bielefeld, 483–528.
- Mauer, Hans, Stocks, Theodor (1933a): Die Echolotungen des Meteor (Wissenschaftliche Ergebnisse der Deutschen Atlantischen Expedition auf dem Forschungs- und Vermessungsschiff Meteor 1925–1927, Bd. 2, Textteil und Echolotprofile), hrsg. v. Albert Defant (im Auftrage der Notgemeinschaft der deutschen Wissenschaft), Leipzig und Berlin.
- Neuweg, Georg H. (2001): Könnerschaft und implizites Wissen: Zur lehr-lerntheoretischen Bedeutung der Erkenntnis- und Wissenstheorie Michael Polanyis, Münster (2. korrigierte Aufl.).
- Oppenheim, Alan V., Schafer, Roland W. (1975): Digital Signal Processing, New Jersey.
- Rössler, Eberhard (1991): Die Sonaranlagen der deutschen U-Boote. Entwicklung, Erprobung und Einsatz akustischer Ortungs- und Täuschungseinrichtungen für Unterseeboote in Deutschland, Herford.
- Schulze, Holger (2008): Bewegung Berührung Übertragung. Einführung in eine historische Anthropologie des Klangs, in: Holger, Schulze (Hg.), Sound Studies. Traditionen – Methoden – Desiderate. Eine Einführung (Sound Studies, Bd. 1), Bielefeld, 143-165.
- Volmar, Axel (2010): Listening to the Body Electric. Electrophysiology and the Telephone in the Late 19th century, in: Max-Planck-Institute for the History of Science (Hg.), The Virtual Laboratory (ISSN 1866-4784), <http://vlp.mpiwg-berlin.mpg.de/references?id=art76>, 10.3.2011.
- Zimmerman, David (2002): Paul Langevin and the Discovery of Active Sonar or Asdic, in: The Northern Mariner (Vol. 12, Nr. 1), 39-52.