

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. Grundlagenexte 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 finanziell starken 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 Journals als Geräte „typical of modern industrial instruments“³⁰ berichtet. Ebenso wie es Echolate 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 Klemm, 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 diente: „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 werkstoffimmanenter Fehlerstellen als vertikaler Ausschlag auf einer Zeitachse auf dem Bildschirm sichtbar wurden. Diese Art der Synchronisierung nach Radarvorbild erlaubte, dass Entferungen zu etwaigen Fehlerstellen direkt auf dem Bildschirm abgelesen werden konnten, da Delays in Entfernen 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 Geomediien 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 kurзорisch 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/sec. 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.

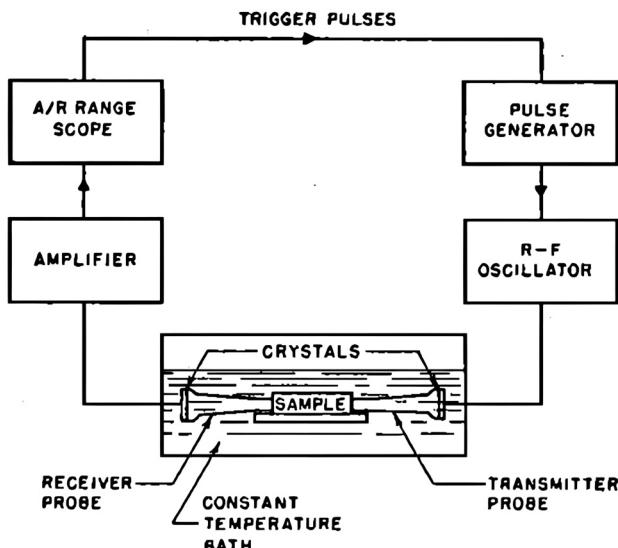


Abbildung 32: Schematische Darstellung der Apparatur zur Messung der Schallleitgeschwindigkeit von unterschiedlichem Gewebe („sample“, unten in der Abb.) durch George Ludwig.

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 Neuevaluation 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“ realisierte, 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 Oszillatoren weitauß höherer Schwingungen. Die neu konstruierte Apparatur nannten sie „Somoscope“,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 durchgeföhrten 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.