

Die Geschichte der Ultraschall Diagnostik

B. Frentzel-Beyme, Berlin

Auf der Suche nach ältesten Beschreibungen des Naturphänomens Echo wird man schon in den Schriften von Aristoteles (um 320 v. Chr.) fündig. Er formulierte bereits, dass Luft von einer Wand am Vordringen gehindert und gleich einem Ball zurückgeworfen wird. Solche unerklärlichen Naturerscheinungen wurden früher gerne in mystischen Sagen verarbeitet. So wurde das nicht fassbare Phänomen des Widerhalls zur Person der Bergnymphe Echo. Bei Ovid (43 bis 80 v. Chr.) verliebt sich Echo in Narzissus, der aber ihre Liebe verschmätzt (Abb. 1). Echo bestraft Narzissus durch unstillbare Selbstliebe, an der er stirbt. Die Nymphe Echo schließlich wird zu Fels und Stein, aber ihre Stimme bleibt als Echo erhalten. In der Überlieferung versinnbildlicht die nach Narzissus bekannte Blume kalte, herzlose Schönheit.

Das griechische Wort Echo findet erst im 16. Jahrhundert Eingang in die deutsche Sprache. 1673 veröffentlichte Athanasius Kircher sein Buch über die „Laut-oder Thon-Kunst“. Er beschreibt die Vermessung der Brunnentiefe mittels „Echometria“ und bestimmt die Schallgeschwindigkeit. In diese Zeit der Entdeckungen und Erklärungen der Schallausbreitung und manche ihrer Phänome fallen auch die Beobachtungen von Spalanzani über die Orientierung der Fledermäuse.

Für die technische Echographie legten die Gebrüder Curie 1880 mit der Entdeckung des piezoelektrischen Effektes den entscheidenden Grundstein. Sie haben bereits die Erzeugung von Ultraschallwellen postuliert.

Aber erst Anfang des letzten Jahrhunderts griffen Physiker die bisher unbeachtete Entdeckung auf. Als erster wohl der deutsche Physiker A. Behm, der an der Technischen Hochschule in Wien lehrte. Bei dem von ihm entwickelten Echolot wurde auf einer Seite eines Schiffes durch eine Lötpatrone ein Knallsignal erzeugt und auf der anderen Seite des Schiffes das Echo vom Meeresgrund so empfangen, dass die Entfernung auf einer Skala in Metern direkt abgelesen werden konnte (3). Vielleicht war auch M. Richardson der erste, der Ultraschall anwandte, da er 1912 in England ein Patent zur Ortung von Unterwasserhindernissen anmeldete (27). Im ersten Weltkrieg zeigte diese Entdeckung ihre historische Bedeutung, da deutsche Unterseeboote mit Ultraschall geortet und zerstört werden konnten. Die Pioniere dieser Entwicklung waren die Engländer M. Langevin und C. Chillkowski 1916 (5).

1928 entwickelte S. Sokolov Ultraschallmaterialprüfverfahren mit der Durchschallungsmethode (28). Das erste Echomaterialprüfgerät für zerstörungsfreie Materialprüfung wurde allerdings erst 1942 von F. Firestone aus den USA (11) und C. Dash aus England gebaut. Die nächste Anwendungsform des Ultraschalls war die Therapie.

1939 publizierte R. von Pohlmann aus Berlin eine Arbeit über die Behandlung der Epicondylitis der Violinspieler (25). Später wurde die Therapie auch sehr unkritisch angewandt. So war in den Verhandlungsberichten der Nord-Westdeutschen Gesellschaft der Gynäkologie 1947 zu lesen, dass „die selektive Wirkung der Ultraschallwellen auf Carcinomzellen größer ist als bei Röntgen- und Radiumstrahlen“ (15).

Der österreichische Neurologe K. Th. Dussik darf für sich in Anspruch nehmen, der erste Mediziner gewesen zu sein, der Ultraschall diagnostischen Zwecken nutzbar machte. In Zusammenarbeit mit seinem Bruder, einem Radiotechniker, begann er seine Arbeit 1938 am Physikalischen Institut der Wiener Universität und publizierte 1942 seine Methode der Hyperphonographie zur Beurteilung der Gehirnventrikel (7). Auf der einen Seite der Schädelkalotte wurde der Ultraschallsender aufgesetzt, der starr verbunden war mit dem auf der gegenüberliegenden Seite befestigten Empfänger (Abb.2). Die nach Durchlaufen des Schädels am Empfänger auftretende unterschiedliche Spannung wurde zur Helligkeitssteuerung eines Lämpchens verwendet, das eine photographische Platte belichtete. Durch paralleles Verschieben der Schallköpfe konnte Zeile für Zeile ein zweidimensionales Rasterbild zusammengesetzt werden (Abb.2b). Es handelte sich um eine Durchschallungs- bzw. Transmissionsmethode. Zitat aus einer Arbeit von K. Dussik 1949:

„Die Hyperphonographie erscheint als neuer, aussichtsreicher Weg, der allerdings allein für sich weder bestehen kann noch soll. Er wird vielmehr als neuer Baustein in das Gebäude der Hirndiagnostik eingegliedert werden unter steter Anerkennung des Primates der klinischen Untersuchung und Diagnostik“ (8).

Nach dem 2. Weltkrieg waren die durch den Krieg weiterentwickelten Sonar- und Radarsysteme und die verbesserte zerstörungsfreie Materialprüfung Ausgangspunkte für die weitere Entwicklung der Sonographie. Die stürmische und spannende Entwicklung, die nun begann, war nicht nur das Werk einiger schöpferischer, genialer Ärzte, sondern sie ist immer zu sehen als eine hervorragende Zusammenarbeit mit Physikern, Ingenieuren und Technikern, die sich im Folgenden – auch schon bei den Gebrütern Dussik (Arzt und Radiotechniker) beginnend – durch die Geschichte der Ultraschalldiagnostik zieht. 1949 stellten G. Ludwig und der Ingenieur F. Struthers das erste Impulsechoverfahren in der Medizin in Pennsylvania vor. Ein Ultraschallgerät zur zerstörungsfreien Materialprüfung wurde modifiziert. Ludwig war Chirurg und hauptsächlich an der Entdeckung von Gallensteinen interessiert. Nachdem er erste Erfahrungen mit künstlich in Hundegallenblasen implantierten Steinen gesammelt hatte, berichtete er von einer Treffsicherheit in vivo um 85 % bei der Entdeckung von Gallensteinen mit dem A-Bild (Abb.3) (22). Eine seiner großen bedeutenden Arbeiten war die genaue Messung der Ultraschallgeschwindigkeit in verschiedenen Weichteilen. D. Howry begann seine ersten Versuche mit einer Sonar- und Radaranlage der amerikanischen Marine 1948 in Denver noch während seiner radiologischen Ausbildungszeit. Er arbeitete zusammen mit dem Ingenieur R. Bliss aus einer kleinen Elektronikfirma. Als Radiologe war es das Ziel von Howry, Ultraschalltechniken und Geräte zu konstruieren, die die anatomischen Strukturen wie ein Röntgenbild zeigten (14). So entwickelten Howry u. Bliss 1950 den ersten Wasserbadscanner. Als Wasserbad diente zunächst eine Viehtränke, so dass dieses Gerät als der „cattle tank scanner“ in die Geschichte einging. Der Patient tauchte in dieses Wasserbad ein und der Schallkopf fuhr linear motorgesteuert entlang

der Tränke. Diese Bilder waren noch inkomplett, da die Strukturen nur von einer Richtung angeschallt wurden und stellten sich nur quasi zweidimensional dar. 1954 wurde dann der erste zweidimensionale compound-scanner vorgestellt. Als Wasserbehälter diente nun ein Bombenauswurfschacht von der B29, (J. Holmes : „we could pick it up for a song“) so dass dieses Gerät als der „gun turret scanner“ in die Geschichte einging (Abb. 4). Der Schallkopf fuhr automatisch semizirkulär im Wasserbad und beschallte so den Patienten aus allen Richtungen. Gleichzeitig wurde der Schallkopf während der Bewegung auch in einem bestimmten Winkelgrad automatisch hin und her bewegt (compound). Bereits 1951 stieß J. Holmes zu dieser Arbeitsgruppe, der die Untersuchungen auf die Organe des Oberbauches ausweitete. Bei den bisherigen Geräten lag der Patient im Wasserbad und bei der Untersuchung des Halses sogar bis zur Nasenspitze und musste mit Bleiplatten beschwert werden (Abb.4). Um auch „kranke“ Patienten untersuchen zu können, wurde dann der nächste Scanner entwickelt, der sog. „half pan scanner“. Es handelte sich um ein semizirkuläres Becken, bei dem in der geraden Seite eine Einbuchtung zum Wasser hin bestand, die mit einer Plastikmembran versehen war. Der Patient saß auf einem modifizierten Zahnarztstuhl und wurde in dieser Einbuchtung fixiert, nachdem er mit Autoöl eingeschmiert worden war. Der Schallkopf fuhr im Wasserbad automatisch in der compound-Technik. Um mehrere Schnittebenen zu erhalten, wurde der Stuhl herauf- und heruntergefahren, da die Schallkopfanordnung starr war (Abb. 5). Mit dem „half pan scanner“ wurden gute Bilder von Leber, Milz und Harnblase gefertigt. Auch Leberabszesse und Zysten, polyzystische Nierenveränderungen wurden untersucht, der Restharn bestimmt (Abb. 5 b) und auch Brustkarzinome diagnostiziert.

Die 2. große Arbeitsgruppe – fast zur gleichen Zeit und unabhängig voneinander – war die in Minneapolis. Sie bestand aus dem Chirurgen J. Wild und dem Ingenieur J. Reid. Sie machten ihre ersten Experimente mit einem Radartrainer der amerikanischen Marine. In einem großen Wassertank waren die geographischen Gegebenheiten von feindlichen Ländern nachgebaut und mit Ultraschall Radarimpulse simuliert worden. Da sie etwa 2 Mio. mal langsamer als Radiowellen sind, konnten die Piloten im verlangsamt simulierten Feindflug die Geographie feindlicher Länder studieren. Wilds erstes medizinisch- diagnostisches Interesse galt der Dickenmessung der Darmwand. Bereits 1950 konnte er drei verschiedene Wandschichten nachweisen (31). In einem ihrer klassischen Experimente erkannten sie wegweisend für ihr weiteres Vorgehen, dass die Echos eines normalen Magens different von einem karzinomatösen Magen waren. Wild und Reid waren die ersten, die in der Ultraschalldiagnostik eine Methode sahen, Gewebecharakterisierung vorzunehmen und dies war das Hauptziel ihrer nachfolgenden Arbeiten. Nachdem sie 1952 ein B –Bild-Gerät entwickelt hatten (Abb.6), richtete sich ihr Hauptinteresse auf die Entdeckung von Brusttumoren und bereits 1952 beschrieben sie unterschiedliche Gewebeechos (32). 1956 publizierten sie Untersuchungen von 17 Brustknoten und berichteten von einer Treffsicherheit von über 90 %. Die Durchführung dieser Untersuchungen war besonders schwierig, da es Frauen verboten war, das Navy-Gelände zu betreten und sie deshalb eingeschmuggelt werden mussten. In den 60er Jahren versuchte Wild, ein Früherkennungsprogramm für das Brustkarzinom aufzuziehen. Jedoch war der Zeitpunkt für eine breitere Akzeptanz noch nicht gegeben.

1956 entwickelten sie den ersten Transrektalscanner, um große Darmtumore zu sichern, weiter einen Transmissionscanner für Herzstudien und andere.

Der nächste faszinierende Höhepunkt der Ultraschallgeschichte kam mit dem Gynäkologen I. Donald und dem Ingenieur T. Brown aus Glasgow. 1954 fuhren sie in eine benachbarte Atomkesselfabrik, um dort mit dem zerstörungsfreien Materialprüfgerät gynäkologische Tumore – vor allem große Ovarcysten und Myome – zu untersuchen. Ihre erste erfolgreiche Arbeit mit dem A-Bild war das Messen des biparietalen Durchmessers des kindlichen Schädels und so konnte zum ersten Mal der Geburtstermin mit Ultraschall bestimmt werden. 1957 konstruierten sie den ersten Kontakt-compound-Scanner (6). Jetzt war es nicht mehr nötig, den Patienten in ein Wasserbad zu tauchen, sondern der Schallkopf wurde direkt auf die Haut aufgesetzt und von Hand bewegt (Abb. 7). 1962 konstruierten Donald u. Brown den „Diasonographen“, von dem 12 Geräte kommerziell vertrieben wurden. Donald entdeckte als erster Zwillinge (Abb.7b) - und Drillingsschwangerschaften, Hydramnion, Blasenmolen, Frühschwangerschaften, Hydrozephalus und propagierte die Untersuchung mit gefüllter Harnblase. 1965 konstruierten J. Holmes und 1966 P. Wells ähnliche Kontakt-compound-Scanner. Der Schallkopf war an einem Arm befestigt, der durch Gelenke frei beweglich war. Durch eine Mechanik konnte die Schnittbildebene versetzt werden. Dies war die Grundlage für alle späteren Compound-Scanner und der Weg war nun frei zu einer breiteren Anwendung der Ultraschallmethode in der Medizin, auch wenn I. Donald 1958 seine Ergebnisse noch sehr kritisch beurteilte : „.... but our findings are still of more academic interest than practical importance, and we do not feel that our clinical judgment should be influenced by our ultrasonic findings“ (6).

In Sydney, Australien blieben G. Kossoff und W. Garrett der Wasservorlaufstrecke treu und konstruierten 1962 einen

Immersionsscanner, das Octoson, der bis etwa Anfang der 80er Jahre vergleichsweise sehr gute Bilder lieferte. Ihr großer Verdienst ist jedoch die Einführung der Graustufen des B-Bilds, die sog. grey-scale-Technik, die sie 1972 vorstellten (18). Die zweidimensionale Methode, die mit Howry begann und das eindimensionale A-Bild verdrängte, brachte eine deutliche Verbesserung der anatomischen Zuordnung, wurde jedoch erkauft durch den Verlust der im A-Bild enthaltenen Information über die Gewebestruktur. Die zweidimensionale Darstellung war eine sogenannte bistabile, bei der die Bilder nur schwarz-weiß abgebildet wurden. (Abb. 8). Die grey-scale-Technik von Kossoff u. Garret brachte die verlorene Information des A-Bildes wieder zurück ins zweidimensionale Bild, also die Abbildungsweise, die wir heute nur noch gewohnt sind (Abb. 9).

Parallel zu dieser Entwicklung der Geräte und der abdominalen Sonographie wurde auch in anderen Fachbereichen die Echographie eingeführt, die dort bis Anfang der 70er Jahre intensiver, häufiger und erfolgreicher eingesetzt wurde. Bereits 1953 erschienen die ersten Arbeiten von I. Edler und C. Hertz aus Schweden über die Darstellung intracardialer Strukturen (9). Zunächst liehen sie sich ein Materialprüfgerät von einer Malmoer-Schiffswerft, aber erst mit einem Materialprüfgerät von Krautkrämer /Siemens konnten sie die Methode verbessern und 1961 ihre klassische Arbeit über die Echocardiographie veröffentlichen.

L. Leksell borgte sich ab 1954 das Materialprüfgerät von den Kollegen Hertz und Edler aus und stellte als erster erfolgreich das Mittelecho im Gehirn ein: Die Geburtsstunde der Echoencephalographie (20).

1956 beschrieben G. Mundt u. W. Hughes die Möglichkeit, mit einem A-Mode-Gerät Läsionen am Auge zu entdecken (24). A. Oksala aus Finnland entdeckte erstmalig Fremdkörper im Auge. 1958 stellten G. Baum u. J. Greenwood in New York den ersten Compound-Scanner für die Echoophthalmographie vor, der bereits mit Frequenzen von 7-15 MHz arbeitete. Eine Wasservorlaufstrecke war noch nötig, so dass der Patient eine wassergefüllte Tauchermaske aufsetzen musste (2). Baum demonstrierte erfolgreich intraokuläre Tumore und beschrieb deren Größe, Konfiguration und anatomische Lage. Weitere Pioniere der Echoophthalmographie waren W. Buschmann in der Charité, Berlin und K. Ossoinig in Wien.

In Japan begannen die Arbeiten mit der Ultraschalldiagnostik um 1950 parallel zu der Entwicklung in Europa und in den USA.

Interessanterweise waren hier nicht die Materialprüfgeräte der Ausgangspunkt, sondern die Ultraschallgeräte zur Entdeckung von Fischschwärmen. In Japan wurde in der Echoencephalographie und mit der Doppler-Methode zur Untersuchung am Herzen gearbeitet und vor allem an der Ca-Früherkennung geforscht. 1957 veröffentlichten Y. Kikuchi, R. Uchida, K. Tanaka und T. Wagai ihre klassische Publikation: „Early cancer diagnosis through ultrasonics“, in dem ein Wasserbadscanner beschrieben wird und Karzinombilder vom Abdomen gezeigt werden (17). 1964 konstruierten H. Takahashi u. T. Ouchi einen transrektalen Scanner, den H. Watanabe 1968 zu einem zweidimensionalen Bild verfeinerte, in einen Untersuchungsstuhl einbaute und so die ersten transrektal gewonnenen Prostatabilder vorstellen konnte (30). Die Entwicklung eines transurethralen Scanners gelang in Dänemark H. H. Holm (13).

H. Großmann, R. Millner u. M. von Ardenne aus Dresden und Halle konstruierten in den 60er Jahren eine Focoscan-Anlage (1)

Seite 10

und versuchten mittels Ultraschall eine Osteoporosemessung durchzuführen. Sie stellten 1967 einen transrektalen Scanner mit A-Bild und andere Geräte vor.

Die neuere Geschichte beginnt mit den Real-time-Geräten. Die Ära der Wasserbaduntersuchungen war vorbei und es standen Kontakt-compound-Scanner zur Verfügung, wobei die Grauabstufung sich erst allmählich durchzusetzen begann (Abb. 9). Es ist verständlich, dass diese Methode nur von einem Kreis von Enthusiasten angewandt wurde, da zur Bedienung der Geräte ein großes physikalisches Wissen und ein immenser Zeitaufwand notwendig war. So verwundert nicht ein Ausspruch von Skolnik aus dem Jahre 1968: „Mit dem momentanen Stand der Technik ist der Ultraschall mehr eine Kunst als eine Wissenschaft“.

Das erste Echtzeitgerät, der sog. „schnelle B-Scan“, wurde von W. Krause u. R. Soldner bereits 1965 in den Siemenswerken in Erlangen vorgestellt (19). Das Vidoson war ein mechanischer Parallels scanner (Abb. 10). Im Brennpunkt eines Parabolspiegels drehte sich die Schallquelle innerhalb eines Wasserbads. Die Schallimpulse wurden gegen den Parabolspiegel ausgesandt und von diesem reflektiert, so dass bei sich drehender Schallquelle eine parallele Verschiebung resultierte und ein 14 cm großer Körperausschnitt in Echtzeit (16 Bilder pro Sekunde) sichtbar wurde. Interessanterweise war dieses Gerät konzipiert für ein Mammakarzinomscreening und somit für die Gynäkologen bestimmt (Abb. 10b). Sehr schnell jedoch wurde es von Internisten und Radiologen entdeckt und die Geschichte des Vidosons ist untrennbar mit den Namen G. Rettenmaier verbunden, der bereits 1969 eine Arbeit über die Leber sonographie veröffentlichte (26).

Für die Echtzeitdarstellung wurden zwei andere Gerätetypen in den Niederlanden konzipiert. Mit J. Somer in Utrecht begann die Entwicklung der Sektor-Scanner 1968 (29) und N. Bom war der Pionier der Multielement-Scanner (4). Als 1975 auf dem 2. Europäischen Ultraschallkongreß in München erstmals ein Multielement-Scanner

Seite 11

(ADR/Kranzbühler) vorgestellt wurde und 1977 der erste serienreife Sektorscanner (Combison 100/Kretztechnik) auf den Markt kam, änderte sich die Situation für die Ultraschaller zunächst langsam, dann schlagartig. Bis Ende der 70er Jahre waren wir Ultraschaller immer noch belächelte Einzelkämpfer, die „Mondlandschaften in dunklen Räumen auf mysteriöse Art und Weise bildlich darstellten“. Wohl jeder aus dieser Zeit kann berichten, wie viele Jahre es gedauert hat, z. B. die Chirurgen zu überzeugen, dass ein weißer Klecks mit deutlichem schwarzem Kometenschweif in einem schwarzen Loch ein Gallenstein ist. Das Unverständnis der damaligen Zeit zeigt auch eine Episode aus meinem Krankenhaus 1978. Von der dermatologischen Abteilung wurde eine Patientin nach der Ultraschalluntersuchung zum Röntgen überwiesen mit der Bemerkung: „Seit Sonographie Bewegungseinschränkung (12).“

Ab Anfang der 80er Jahre kam dann mit den Geräten der nächsten Generation der gewaltige Durchbruch und der Ultraschall konnte in viele Fachbereiche Einzug finden. Mit Zunahme der Geräte, der verbesserten Auflösung und Gerätetechnik steigt auch die Bandbreite der Untersuchungen. Auch früher belächelte Untersuchungen wie Hüftsonographie, Darstellung der Appendix, der Prostata, der Schilddrüse, der Mamma, der Halslymphknoten, der Speicheldrüsen, der NNH, ja sogar der Bandscheiben ist heutzutage Standardrepertoire. Für die Untersuchungen werden auch immer neue Applikationsformen geschaffen, so z. B. intraösophageal, intragastral, intraduodenal, intraoperativ, intravaginal, intrarektal, intravesikal und intraluminär. Die ultraschallgezielten Punktionen wurden schon sehr früh von H.H. Holm in Dänemark eingeführt. Die Duplex- und die farbkodierte Duplexsonographie haben wieder neue Indikationsbereiche erschlossen und nicht nur die Gefäßdiagnostik wesentlich verbessert, sondern auch zusammen mit den Kontrastverstärkern die Diagnostik von Raumforderungen, insbesondere der Leberherde revolutioniert (Abb. 11).

In der Gewebeanalyse wurde sehr früh geforscht. Angefangen von J. Wild, dessen Hauptantriebskraft die Gewebedifferenzierung war (31), ging die Entwicklung weiter zur „sensitivity-graded-method“, die auf dem Prinzip beruhte, dass mit zunehmender Echoverstärkung sich solide Strukturen mit Echos anfüllen, während Flüssigkeiten echoleer bleiben. Diese Methode wurde von T. Kobayashi erfolgreich zur Differenzierung von Brusttumoren angewandt. Quantitative Aussagen zur Gewebedifferenzierung wurden von K. Schentke u. F. Renger 1964 und von R. Mountford u. P. Wells 1972 durch statistische Untersuchungen der Echoamplituden des A-Bilds erarbeitet. G. van Kaik u. A. Lorenz arbeiteten in der Gewebeanalyse mit rechnergestützten Amplitudenmessungen (16) und R. Millner in Halle mit der Spektroskopie (23). T. Loch u. H. Bertermann versuchen mit einem supraschnellen Rechner das Prostatakarzinom während der Live-Untersuchungen rot aufblitzen zu lassen (21).

Relativ neu sind die dreidimensionalen Darstellungen, die vor allem im Bereich der Geburtshilfe Erfolg versprechen.

Die Neuentwicklungen und Forschungen erweitern ständig das diagnostische Spektrum und haben somit einen wichtigen Stellenwert. Noch längst sind nicht alle Informationen der primären Schallinformation und der Digitalisierung genutzt. Weitere Entwicklungsmöglichkeiten in der Gerätetechnik sind zu sehen im 4D Ultraschall, in der Konzeption des Rechnersehens, der Ultraschallkatheter, des Notebooks mit Ultraschall-Maus, der Osteoporosemessung, der akustischen Mikroskopie. Methodisch wird an der Elastographie, der Sono-Histologie, der Verbesserung der US-Kontrastmittel, an der intraoperativen, bildbasierten Navigation u.a. gearbeitet (10).

Die Geschichte der Ultraschalldiagnostik ist noch längst nicht abgeschlossen. Es wird noch viel zu tun sein!