

40 Jahre
Ultraschall-Realtime-Diagnostik

Inhalt

1. Einleitung
2. Grundlagenforschung
3. Pionierleistungen in der Medizin
4. Beginnende klinische Akzeptanz
5. Durchbruch des Realtime-Verfahrens
6. Ultraschalltechnologie heute
7. Neue Systeme, neue Horizonte

1. Einleitung

Ultraschall wird heute in der Medizin wie auch in vielen Zweigen der industriellen Technik mit großem Erfolg angewendet. Sein Einsatz ist fast ebenso vielseitig wie der der elektromagnetischen Wellen.

Man verwendet Ultraschall z. B. zum Orten von Fischschwärmen im Ozean, von Rissen und Lunken in Industriewerkstücken, bohrt mit Ultraschall Löcher in die härtesten Materialien und verschweißt Kunststoffe aller Art. Ein weiteres Einsatzgebiet ist die Reinigung komplexer Teile und Baugruppen der Elektrotechnik, Elektronik, Feinmechanik, Optik usw.

In der Medizin hat sich die Ultraschalltechnik innerhalb der letzten 40 Jahre zum weltweit meistgenutzten Diagnoseverfahren etabliert. In allen medizinischen Fachbereichen ist eine zuverlässige und sichere Diagnostik ohne bildgebenden Ultraschall nicht mehr vorstellbar. Die nicht belastende, nebenwirkungsfreie Anwendung, der geringe Zeitaufwand für die Untersuchung sowie der im Vergleich zu anderen bildgebenden Verfahren kostengünstige Einsatz haben zur schnellen Verbreitung wesentlich beigetragen.

Und die stetigen Innovationen weisen darauf hin, dass die Entwicklung auf diesem Gebiet bei weitem noch nicht abgeschlossen ist.

Kommen Sie mit uns, dem Wegbereiter der Realtime-Diagnostik, auf eine interessante und spannende Zeitreise durch 125 Jahre Geschichte des Ultraschalls.

2. Grundlagenforschung

Ultraschall als physikalisches Phänomen in der Natur sowie in der Technik ist seit langem bekannt. **Spallanzani** postulierte **1774** den „Sechsten Sinn“ der Fledermäuse, der **1938** von **Griffin** und **Galambos** experimentell als Ultraschall-Echoverfahren bewiesen wurde.

Die Gebrüder **Pierre** und **Jacques Curie** legten **1880** in Paris den Grundstein für unsere heutige Ultraschall-Technologie mit der Entdeckung des **reziproken piezoelektrischen Effektes**: Das Auftreten elektrischer Ladungen auf Kristalloberflächen, wenn der Kristall mechanisch beansprucht wird – und umgekehrt – die mechanische Verformung des Kristalls bei Anlegen einer elektrischen Spannung an dessen Oberfläche.

Durch weiterführende Forschungen, die Pierre zusammen mit seiner Frau **Marie** und **Henri Becquerel** betrieb, war **1913** das Basiswissen für die gezielte Erzeugung von Ultraschallwellen vorhanden.

Im selben Jahr – als Antwort auf die Tragödie des Untergangs der Titanic im April 1912 – machte der Physiker **Alexander Behm** erstmals den Vorschlag, Eisberge mittels Schallwellen nach dem Reflexionsverfahren zu orten (**Reichspatent Nr. 282009 vom 22. Juli 1913**).

Eine Realisierung war zu diesem Zeitpunkt wegen fehlender technischer Möglichkeiten zwar noch nicht möglich, das Prinzip des Echolotes war jedoch damit erklärt.



Pierre Curie, 1859-1906



Alexander Behm, 1880-1952

1917, nur vier Jahre später – inzwischen war die Elektronenröhre entwickelt – konstruierte der Physiker **Paul Langevin** das erste praktische Echolotgerät mit einer Ultraschall-Leistung von 1 kW, allerdings nicht zur Ortung von Eisbergen, sondern zum Aufspüren von Unterseebooten.

Diese Technologie wurde dann während des zweiten Weltkrieges unter dem Namen **SONAR** (**S**ound **N**avigation and **R**anging) gezielt weiterentwickelt und mit spektakulärem strategischen Erfolg eingesetzt.



Paul Langevin, 1872-1946

1929 unternahm **Sokolov** und **Firestone** erste Untersuchungen zur zerstörungsfreien Werkstoffprüfung mittels Ultraschall nach dem Durchschallungsverfahren. Mit dieser Methode war es ihnen erstmals möglich, von außen nicht sichtbare Fehler wie Risse, Lunker oder Fremdkörper einschüsse in metallenen Werkstücken nachzuweisen, ohne den Prüfling zu zerstören.

Eine deutliche Verbesserung dieser Methode wurde erreicht durch die ab 1950 erstmalig zur Verfügung stehenden **Ultraschall-Impulsgeräte**, die nach dem **Echoverfahren** arbeiteten. Die damit nutzbaren hohen Ultraschallfrequenzen im Bereich von **1 MHz bis 10 MHz** forderten eine medizinisch-diagnostische Anwendung geradezu heraus.

Materialprüfung einer
Antriebswelle mit Ultraschall
(Siemens 1953)



3. Pionierleistungen in der Medizin

1934 bereits begannen **J. Pützold** und **T. Hüter** bei den **Siemens Reiniger Werken** in Erlangen (heute Siemens Medical Solutions) mit Forschungsarbeiten auf dem Gebiet des therapeutischen Einsatzes von Ultraschallwellen.

Ein Ziel dieser Methode war es, Tumoren durch Ultraschallexposition „abzuschmelzen“. Nur zwei Jahre später war das erste Ultraschalltherapie-Serienprodukt, der **SONOSTAT**, auf dem Markt.



SONOSTAT, eines der ersten Ultraschalltherapiegeräte

Der Neurologe **K.-T. Dussik** aus Wien hatte **1938** erstmals den Gedanken, Ultraschallwellen für die medizinische Diagnostik nutzbar zu machen. **1942** publizierte er in der **Zeitschrift für Neurologische Psychiatrie** seine Methode der Hyperphonographie zum Nachweis pathologischer Veränderungen der geschlossenen Schädelkapsel.

Interne Gehirnstrukturen sollten aufgrund unterschiedlicher Schallschwächung im Durchschallungsverfahren analog zur Röntgendurchleuchtung dargestellt werden.

Zwischen der Abtasteinheit seines Hyperphonographen, bestehend aus dem Sender und dem damit mechanisch verbundenen Empfänger, wurde der Kopf des Patienten im Wasserbad (Koppelmedium für die Ultraschallwellen) gelagert und mäanderförmig abgetastet. Die am Empfänger auftreffenden Signale steuerten die Helligkeit eines ebenfalls mit der Abtasteinheit verbundenen Registrierlämpchens, welches ein fotografisches Papier punktuell belichtete.

Das Ergebnis waren die ersten medizinischen Ultraschallbilder nach dem Durchschallungsprinzip.



K.-T. Dussik, Durchschallungsbild des Schädels 1942



K.-T. Dussik, 1908-1968, mit seinem Hyperphonographen 1941

40 Jahre später, **1982**, wurde mit hohem Forschungsaufwand am Stanford Research Institute zusammen mit Siemens dieses Verfahren erneut untersucht und klinisch bewertet.

Es entstand der Prototyp einer sogenannten **Transmissionskamera**. Die klinischen Studien sind an der Orthopädischen Klinik in Münster durchgeführt worden.

Die Durchleuchtungssonographie konnte sich jedoch wegen grundsätzlicher physikalischer Limitierungen in der medizinischen Diagnostik nicht etablieren.

Auf dem ersten Kongress **Der Ultraschall in der Medizin** vom **2. bis 4. Mai 1948** in Erlangen berichtete neben K.-T. Dussik auch noch der Physiologe **W. D. Keidel** über seine Versuche, mit Hilfe des Durchschallungsverfahrens das Herzvolumen zu bestimmen.

Alle anderen Vorträge befassten sich ausschließlich mit der Ultraschalltherapie und deren Wirkung.



Erlanger Kongress 1948.
Wirkungsberichte zur
Ultraschalltherapie: Abszesse

Die Euphorie, mit der die Ultraschalltherapie zunächst bewertet wurde, wich jedoch nach widersprüchlichen Statistiken über die damit erzielten Heilerfolge nach und nach einer nüchternen Betrachtung.

Sie konnte sich aber bei einer Reihe von Erkrankungen z. B. bei Sportverletzungen erfolgreich behaupten.

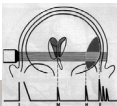
Seit **1980** wird die Ultraschalltherapie vermehrt zur Entfernung von Nieren- und Harnleitersteinen durch Stoßwellen (**LITHOSTAR**) und später auch zur Schmerztherapie in der Orthopädie (**SONOCUR**) klinisch angewendet.

4. Beginnende klinische Akzeptanz

Eindimensionale Ultraschallbilder

Wie bereits erwähnt, konnten sich die zunächst in Analogie zur Röntgendurchleuchtung vorgeschlagenen Verfahren zur Durchleuchtung des menschlichen Körpers mit Ultraschallwellen in der klinischen Praxis nicht etablieren. Gute Ergebnisse lieferte dagegen das eindimensionale Ultraschall-Echoimpulsverfahren (A-Scan: A wie Amplitude), das bereits aus der zerstörungsfreien Materialprüfung bekannt war. Beim A-Verfahren wird die diagnostische Frage gestellt, ob längs einer ganz bestimmten Schalleinstrahlrichtung normale oder pathologische Strukturen oder Konturen vorhanden sind.

Bereits 1949 konnten **G. Ludwig** und **F. Struthers** mit einem derartigen Gerät Gallensteine diagnostizieren.



Schematische Darstellung der Beschallungstechnik bei einem extrazerebralen Hämatom

L. Leksell, Lund/Schweden erarbeitete 1953 die Grundlagen der Ultraschall-Echoenzephalographie und erzielte beachtliche diagnostische Erfolge. Zur selben Zeit haben **I. Edler** und **C. H. Hertz**, ebenfalls in Lund, dieses Verfahren erfolgreich zur Diagnostik des Herzens eingesetzt und damit erste Grundlagen der Echokardiographie entwickelt. Beide, L. Leksell wie auch I. Edler, verwendeten für ihre Studien das selbe **Ultraschall-Materialprüfgerät Typ 1 von Siemens**.

Zeigen Amplitudenzacken des A-Bildes eine periodische Bewegung in Strahlrichtung, lässt sich daraus eine körperinterne Bewegung ableiten. Stellt einer dieser Amplitudenzacken z.B. das Echo einer Herzklappe dar, so wird sie sich analog zu deren Bewegungsrhythmus längs der Achse bewegen. Das brachte H. Hertz auf den Gedanken, diesen periodischen Vorgang in seinem zeitlichen Verlauf zu dokumentieren. Das aufgezeichnete Zeit-Weg-Diagramm hat dem Verfahren den Namen gegeben: **Time Motion (TM-Mode)**.

Darstellung der Herzbewegung, die untere Spur zeigt das EKG als Zeitreferenz



I. Edler und **C. H. Hertz** 1977 mit dem historischen Siemens-Echokardiographen aus dem Jahr 1953



J. Holmes,
Compound-Scanner 1960



Zweidimensionale Ultraschall-Schnittbilder

Tastet man mit dem Schallstrahl einen Körperquerschnitt ab und bildet die reflektierten Echos ortsgetreu als Helligkeitspunkte auf einem Bildschirm ab, so erhält man ein zweidimensionales Ultraschall-Schnittbild (B-Bild: B = brightness/Helligkeit) der entsprechenden Körperregion. Anfängliche Versuche (D. Howry/R. Bliss 1950, Wild/Reid 1951), bei welchen der Patient in einem Wasserbad lag, waren die Basis für die Weiterentwicklung der zweidimensionalen Ultraschall-Diagnostik.

1955 berichtete J. Holmes erstmalig über das von D. Howry entwickelte sogenannte **Compound-Verfahren**. Als Wasserbad diente nunmehr ein Bombenauswurfschacht einer B29. Der Schallkopf bewegte sich **kreisförmig** um den Patienten und beschallte ihn aus allen Richtungen.

1957 arbeitete I. Donald aus Glasgow mit seinem Kontakt-Compound-Scanner. Hier war es nicht mehr nötig, den Patienten in ein Wasserbad zu tauchen, sondern der Schallkopf wurde nach Auftragen eines Ultraschall-Koppel-Gels direkt auf die Haut aufgesetzt und von Hand geführt. Der Schallkopf war mit einem beweglichen Ausleger mechanisch verbunden.

Positionsgeber in den Gelenken des Gestänges gewährleisten eine ortsgetreue Abbildung auf einem Bildschirm. Dieses Verfahren geht davon aus, dass eine Überlagerung mehrerer unterschiedlicher Einzelbilder ein und derselben Schnittfläche zu einem auswertbaren Bild führt. Nach ersten Erprobungen in der Gynäkologie, führte er dieses Verfahren in den darauf folgenden Jahren zur klinischen Reife.

Für die Untersuchung und den Aufbau eines Gesamtbildes wurden Sekunden bis Minuten benötigt, d.h. die Darstellung von Bewegungsvorgängen war deshalb mit diesem Ultraschall-Bildgebungsverfahren nicht möglich. Bildartefakte, hervorgerufen durch Bewegungen, Schallbrechung oder Dejustierung des Abtastrsystems erschwerten die klinische Diagnostik.

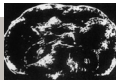
Trotz der entscheidenden Limitierungen des Compound-Verfahrens erkämpfte sich diese Art der Ultraschall-Bildgebung in den folgenden Jahren als schonendes, nichtinvasives diagnostisches Verfahren in vielen Disziplinen fortschreitende Akzeptanz in der klinischen Routine.



1954, erster zweidimensionaler Compound-Scanner mit kreisförmig umlaufendem Schallkopf



Compound-Scanner, Prinzipdarstellung



Ein typisches „bistables“ Compound-Bild aus jener Zeit

5. Durchbruch des Realtime-Verfahrens

Im Jahre 1960 wurde einem jungen Ingenieur, **Richard Soldner**, das Ultraschallgebiet in der Entwicklungsabteilung der Siemens Reiniger Werke übertragen.

Zunächst nur mit der Weiterentwicklung der Ultraschall-Therapiegeräte befasst, arbeitete er im selben Jahr an der Entwicklung eines Ultraschall-bildgerätes, mit dem der Wert dieser Methode bei der Differenzierung von Tumoren der weiblichen Brust verifiziert werden sollte.

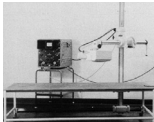
R. Soldner kam sehr bald zu der Erkenntnis, dass das bildgebende Ultraschallverfahren für die Diagnostik in allen medizinischen Fachdisziplinen wertvolle Informationen bieten kann, dass aber für die vorgesehene Anwendung der damalige Stand der Technik – das Compound-Verfahren – in der klinischen Routine keinen Erfolg haben würde: Der Bildaufbau und damit die gesamte Untersuchung dauerten für einen Routineeinsatz entschieden zu lang, eine mehrfache manuelle Abtastung des weichen Gewebes würde unweigerlich zu Bildartefakten führen.



Der einzige Ausweg zur Lösung dieser Probleme war eine einmalige schnelle Abtastung der gesamten Schritzebene mit hoher Wiederholungsrate. Realtime war somit bereits bei Beginn der Entwicklung das Ziel, von dessen Realisierung R. Soldner überzeugt war.

In seinem Laborleiter **W. Krause**, Mitentwickler des Siemens Materialprüfgerätes, hatte er einen kooperativen Förderer für sein Vorhaben.

Bereits im Jahre 1963 konnte er einen Prototyp des legendären **VIDOSON**, des ersten **Realtime-Ultraschallgerätes** auf dem Weltmarkt, in der Frauenklinik der Universität Würzburg klinisch erproben.



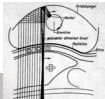
Erster Prototyp des VIDOSON 1963

Richard Soldner 1961
in seinem Ultraschall-Labor



VIDOSON 1963,
erstes klinisches
Realtime-Bild
der Mamma

Die revolutionäre automatische Scantechnik des VIDOSON – zwei im Brennpunkt einer hochwertigen Spiegeloptik rotierende Ultraschall-Richtstrahler – ermöglichte es erstmalig, Schnittbilder vom menschlichen Körper in so kurzen Zeitintervallen und in so schneller Aufeinanderfolge (15 Bilder pro Sekunde mit je 140 Zeilen) auf einem Bildschirm darzustellen, dass sich nicht nur stationäre Zustände direkt und augenblicklich betrachten, sondern auch Bewegungsvorgänge im Körperinneren unmittelbar beobachten, fotografieren und filmen ließen.



VIDOSON,
Prinzip der
automatischen
Abtastung

Das Zeit- wie auch das Dokumentationsproblem waren hiermit eliminiert, Bildartefakte bedingt durch Bewegungsunschärfen oder Deckungsfehler konnten systembedingt nicht mehr auftreten.

Der wesentliche Vorteil des VIDOSON-Bildes aber war die Darstellung von Grauwerten, eine unverzichtbare Bedingung für die Gewebisdifferenzierung.

Das Ultraschall-Realtime-Verfahren war geboren!

Die ersten Anwendungsgebiete waren die Gynäkologie und die Geburtshilfe. Im Vergleich zur Röntgendiagnostik war die Gefahr von Frucht- und Erbschädigungen beseitigt, und die diagnostische Information wie Lage des Embryos und der Plazenta im Uterus, Größe des kindlichen Kopfes sowie Vorliegen von Zwillingsschwangerschaften oder Vorhandensein von Tumoren und Zysten ließen sich frühzeitig und mit hoher Sicherheit erkennen.



Der klinische Durchbruch dieser neuen Methode gelang **1965** einem jungen Assistenzarzt der Universitäts-Frauenklinik Münster, **H.-J. Holländer**, mit seinem Vortrag vor der Medizinischen Gesellschaft Münster mit dem Titel: **„Neue Möglichkeiten der Ultraschalldiagnostik in der Gynäkologie und Geburtshilfe“**.



H.-J. Holländer 1965, Myom



H.-J. Holländer 1965, Blasenmole, 78. 55W

H.-J. Holländer erklärte nach der ersten klinischen Erprobung:

„Unser primäres Ziel war die Darstellung gynäkologischer Tumoren z. B. Myome und Ovarialtumoren. Hierbei waren wir rasch erfolgreich. Wir wunderten uns allerdings zunächst, dass die Binnenstruktur der Myome nicht zur Darstellung kam, bis wir lernten, mit dem Einstellknopf „Verstärkerschwelle“ zu spielen. Durch Optimierung der Verstärkung wurden plötzlich auch Binnenstrukturen deutlich sichtbar.“

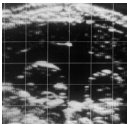
Nachdem das neue VIDOSON zunächst von manchen Kollegen mit Skepsis oder gar Spott betrachtet wurde, änderte sich deren Einschätzung, als es mir gelang, bei einer 81-jährigen, adipösen Patientin eindeutig einen Ovarialtumor darzustellen, der vorher selbst in Narkose nicht getastet worden war.“



Verbessertes VIDOSON aus dem Jahre 1966

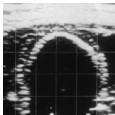
Sehr schnell sprach sich der entscheidende diagnostische Vorteil des VIDOSON herum, und es folgten weitere klinische Studien mit einem neuen VIDOSON, das eine wesentlich verbesserte Bildqualität aufwies:

- Höhere laterale Auflösung
- Größere Detailerkennbarkeit
- Bessere Gewebsdifferenzierung
- Kontrastreicherer und ruhigeres Bild

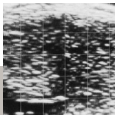


H.-J. Holländer 1966,
Zwillinge in der 17. SSW

Schon 1966 stellte man in Münster den Embryo ab der 12. Woche p.m. und die Herzaktion ab der 13. Woche dar. Auch Messungen des fetalen Schädels waren bereits ab der 13. Woche möglich.



H.-J. Holländer 1966,
Schädeldarstellung bei Hydrops fetalis



H.-J. Holländer 1966,
entsprechende hydropische Plazenta

Bald wuchs auch zunehmend das Interesse der Kollegen aus den internistischen Abteilungen.

1966 wurde der wissenschaftliche Assistent der Medizinischen Universitäts-Klinik in Erlangen, **Gerhard Rettenmaier**, damit beauftragt, den Nutzen der Realtime-Diagnostik mit dem VIDOSON für die Innere Medizin zu bewerten.



G. Rettenmaier,
Untersuchung eines Leberpatienten

Seine grundlegenden Arbeiten im Bereich der Oberbauchdiagnostik sind Meilensteine in der Geschichte der Realtime-Sonographie:

- Auf dem Internationalen Gastroenterologen-Kongress, der 1968 in Prag stattfand, hielt er seinen ersten, stark beachteten Vortrag zum Thema „Realtime-Leber-Sonographie“.
- Auf dem ersten Ultraschall-Weltkongress im Juni 1969 in Wien berichtete G. Rettenmaier über die intralhepatischen Echomuster im VIDOSON-Bild und ihre diagnostische Bedeutung sowie über die diagnostische Nutzung der Bewegungsphänomene wie Pulsation, Atemverschieblichkeit und Palpationseffekte, die nur im Realtime-Verfahren möglich sind.

Im Ultraschall-Labor der Medizinischen Univ.-Klinik in Erlangen ließ sich bald **Harald Lutz** als erster fester Mitarbeiter von G. Rettenmaier einweisen.

G. Rettenmaier:

„Manch einer der Gastärzte, die wegen der Endoskopie nach Erlangen gekommen waren, ließ sich vom hellen, metallischen Klicken der elektromagnetischen Bremsen am VIDOSON-Stativ verführen und lief zur Sonographie über.“

H. Lutz übernahm das Erlanger Labor, nachdem G. Rettenmaier in Böblingen Chefarzt geworden war und in **Karlheinz Seitz** einen begeisterten und einflussreichen langjährigen Mitarbeiter und Co-Autor gefunden hatte.

Die Ultraschallwelt war zu dieser Zeit noch in zwei Lager gespalten: Compound-Scan contra RealTime. Zwischen beiden Parteien wurden lebhaft Diskussionen über die Vor- und Nachteile der verschiedenen Methoden geführt, die noch Jahre andauerten, bis sich schließlich das Realtime-Verfahren durchsetzte.

H.-J. Holländer:

„In Wien lernte ich 1969 auch Herrn Rettenmaier kennen, den Pionier der VIDOSON-Anwendung auf internistischem Gebiet. Er trug dort seine Untersuchungsergebnisse über normale und krankhafte Ultraschallreflexionen in der Leber vor. Danach hatte er heftigen Streit mit den Anwendern der Compound-Technik mit Speicherröhre, welche die normale Leber echoleer fanden, während Rettenmaier mit dem VIDOSON auch in der normalen Leber ein Echomuster fand. Er bezeichnete später die fehlende Darstellung von Grauwerten als einen Geburtsfehler der Speicherbild-Technologie, der erst 1977 durch eine neue Grauwerttechnik der Compound-Geräte beseitigt wurde.“



G. Rettenmaier 1968,
fortgeschrittene Leberzirrhose,
Azotie



G. Rettenmaier 1968,
Metastasenleber



H. Lutz 1973,
Pankreasneuroendokrin



J. Gehrke, Dept. of Medicine,
Hammer-smith Hospital, London

1973 begann **Jürgen Gehrke** im Hammersmith Hospital, London, mit seinen Arbeiten, zweidimensionale Herzschnittbilder darzustellen und erweiterte die Echokardiographie mit den weltweit ersten EKG-getriggerten VIDOSON-Videoaufnahmen. Das VIDOSON erlaubte es, das ganze Herz mit der damals sonst nicht möglichen Graustufendarstellung zu zeigen. Schon 1974 führte er seine Methode im Department of Cardiology als Routinediagnostik ein.

Mit den zunehmenden Erfolgen der Ultraschall-Realtime-Diagnostik setzte bald auch eine Flut von Hospitanten ein, die an den wenigen erfahrenen Stellen in die Geheimnisse der Ultraschall-diagnostik eingeweiht werden wollten. Das führte dazu, dass G. Rettenmaier in Böblingen im November 1973 in einem ersten Ultraschall-Trainingskurs 15 interessierte Anwender in die Sonographie einführte.

Der Unterrichtsstoff dieser Kurse nahm mit größer werdender Erfahrung sehr bald zu, sodass er schließlich in einem dreistufigen Konzept vermittelt wurde. Mitarbeiter aus dem Ultraschall-Labor von Siemens referierten dabei über die physikalisch-technischen Grundlagen der Methode.



J. Gehrke 1973,
Längsschnitt des Herzens, beträchtlich
vergrößerter linker Vorhof bei Mitralklappenstenose

Dieses Konzept wurde zum Vorbild für weitere zahlreiche Ultraschallkurse in Deutschland. Weit über 1.000 Kollegen aus dem In- und Ausland wurden im Laufe der Zeit von ihm ausgebildet.



G. Rettenmaier und
K.-H. Seitz in einem
Ultraschall-Trainingskurs

Das Ultraschall-Realtime-Verfahren konnte sich schließlich in vielen Bereichen der klinischen Routinediagnostik durchsetzen.

In den darauf folgenden Jahren wurden bei Siemens ständig weitere innovative High-Tech-Systeme für die Ultraschall-Diagnostik entwickelt und erfolgreich auf den Markt gebracht, z.B. das erste elektronische **Linear-Array** der Welt (1969), das erste **Annular-Array** der Welt mit dynamischer Fokussierung (1971), das erste **voll-digitale Ultraschallsystem** der Welt (1980), Dopplengeräte für die Anwendung in der Angiologie und Neurologie sowie Phased-Array-Systeme für die Kardiologie mit farbcodierter Darstellung des Blutflusses.



Mittelgradige
Trikuspidal-Regurgitation

6. Ultraschalltechnologie heute

Die heutigen Entwicklungstrends in der Sonographie basieren auf den ständig wachsenden technischen Möglichkeiten der Elektronik.

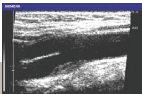
Sie bieten dem Anwender immer höhere diagnostische Sicherheit durch bessere Auflösung, aber auch Arbeitserleichterung in der täglichen Routine bis hin zu neuen Anwendungsfeldern für die wissenschaftliche Forschung.

Einige Verfahren werden beispielhaft im Folgenden beschrieben.

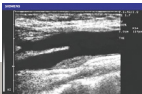
Verfahren der Signalverarbeitung beim Empfang zur Verbesserung von Kontrast und Auflösung (Tissue Harmonic Imaging, THI)

Die heutigen volldigitalen Systeme bieten auf kleinstem Raum höchste Signalverarbeitungsgeschwindigkeiten und hochfrequente Speichermöglichkeiten, die u.a. für Tissue-Harmonic-Imaging zur Verbesserung der Bildqualität beitragen. Durch Nutzung der harmonischen Frequenzanteile in den Gewebeschos können Gefäßwände klarer und artefaktfreier dargestellt werden.

Tissue Harmonic Imaging bedeutet eine überragende Steigerung der Bildqualität und erhöht die Anzahl der mit Ultraschall diagnostizierbaren Patienten entscheidend.



A. c. c., Bild in Standardpräsentation



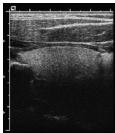
A. c. c., Bild mit Tissue Harmonic Imaging

**Verfahren der Signalerzeugung
beim Senden zur Erhöhung der Eindringtiefe
(Chirp Coded Excitation, CCE)**

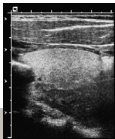
Hierbei wird der ausgesendete Ultraschallpuls zeitlich verlängert und zusätzlich frequenzmoduliert. Der Puls besitzt somit bei gleicher Amplitude höhere Energie.

Die nach einem patentierten Verfahren komprimierten Echos führen zu Bildern hervorragender axialer und lateraler Auflösung. Hierdurch gewinnt man eine größere Eindringtiefe, die sonst nur mit niedrigeren Frequenzen erzielt worden wäre.

Chirp Coded Excitation erhöht die Eindringtiefe auf ein bisher nicht für möglich gehaltenes Maß und bietet dabei höchste Auflösung durch die Nutzung hoher Frequenzanteile im Spektrum der Sendepulse.



Schilddrüse, Bild in Standardpräsentation

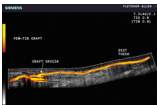


Schilddrüse, Bild mit Chirp Coded Excitation

Verfahren der Bildverrechnung und Bildpräsentation zur Unterstützung einer differenzierteren Diagnose

Panoramabild (SieScape)

Diese Bildpräsentation bietet die hohe Detail- und Kontrastauflösung des Einzelbildes bei einer maximalen geometrischen Darstellung von bis zu 60 cm. Die Darstellung erhält man nur durch Verrechnung der Einzelbilder – ohne zusätzliche Sensoren.



Darstellung der A. femoralis und der A. tibialis mit ColorSieScape

Das Panoramabild eignet sich zur Dokumentation von großräumigen Befunden sowie zur Verdeutlichung anatomischer Zusammenhänge.

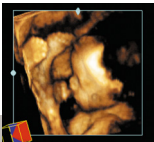
3D/4D-Bildgebung

Für die 3D-Bildgebung wird der Schallkopf entweder von Hand oder automatisch quer zur Scan-Ebene bewegt.

Die dabei gewonnenen Informationen beinhalten entweder nur das B-Bild oder auch die Flussinformation. Aus diesem Datensatz können mit Hilfe schneller Rechenoperationen dreidimensionale Oberflächenbilder oder diskrete Schnittebenen zur Ansicht gebracht werden.

Ist die Bildrate ausreichend hoch, um die Bewegung innerhalb des betrachteten Volumens verfolgen zu können, wird dies 4D-Bildgebung genannt.

Die 4. Dimension ist dabei die Zeit.

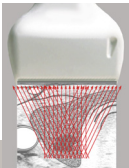


3D-Bild eines Fetus

**Spatial Compounding (SieClear)
und Frequency Compounding zur
deutlicheren Darstellung von Konturen**

Beim Spatial Compounding-Verfahren werden die Echosignale eines Zielgebietes in Realtime aus unterschiedlichen Richtungen aufgenommen. Die erhaltenen Einzelinformationen werden ortsrichtig zu einem Gesamtbild verrechnet.

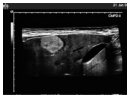
Beim Frequency Compounding-Verfahren werden für die Bildberechnung die Informationen unterschiedlicher Frequenzen ausgewertet.



Automatische Abtastung des Zielgebietes aus unterschiedlichen Richtungen



Abdominelles SieClear,
Spatial Compounding mit 3 Subaperturen



Abdominelles FreeStyle Frequency-
Compounding mit 2 Sendefrequenzen

**Der große Vorteil dieser beiden
Verfahren ist die bessere
Differenzierbarkeit kleinster
Gewebsunterschiede.**

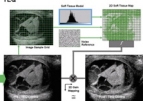
Automatische Optimierung des Gesamtsystems für schnelles, reproduzierbares Untersuchen (Tissue Equalization, TEQ)

Der Anwender kann normalerweise mit den klassischen Bedienelementen eines Ultraschallgerätes (DGC) nur die für eine bestimmte Tiefe wirkende Verstärkung einstellen. Die Einstellung der lateralen Verstärkung kann jedoch nicht beeinflusst werden. Durch intelligente Bildverarbeitungsalgorithmen ist es heute möglich, eine automatische Bildoptimierung vorzunehmen. Das Ergebnis ist die bestmögliche Einstellung für die unterschiedlichsten Fragestellungen.

Diese automatische Optimierung führt zu kürzeren Untersuchungszeiten und erhöht die Konzentration auf den Patienten.

Einen wichtigen Beitrag liefert dieses Verfahren in Bezug auf die Standardisierung der Ultraschalluntersuchung, die dadurch reproduzierbar gemacht werden kann.

TEQ



Prinzip der Tissue Equalization

Spezialverfahren bei der Verwendung von Ultraschall-Kontrastmitteln zur Darstellung und Differenzierung von Raumforderungen (Contrast Pulse Sequencing, CPS)

Bei der Bildgebung mit Hilfe von Kontrastmitteln der 2. Generation (Low-MI-Imaging) gibt es ganz neue Ansätze, um das Einfließen und Verbleiben des Kontrastmittels im Gewebe beurteilen zu können.

Dafür ermöglicht das Contrast Pulse Sequencing-Verfahren durch eine optimierte Anreignungssequenz und eine sequentiell unterschiedliche Verarbeitung der empfangenen Echosignale die klare Differenzierung von Gewebe und Kontrastmittel.

Dies kann soweit optimiert werden, dass das Gewebe vollständig unterdrückt ist, und nur das Kontrastmittel als Bild präsentiert wird.



Prof. C. Dietrich, Bad Mergentheim, Leberdarstellung (FNH) mit Kontrastmittel

7. Neue Systeme, neue Horizonte

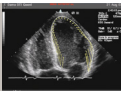
Eine extrem hohe technologische Leistung stellt aktuell das **Phased Array AcuNav** dar. Es ist ein vollständiges 7,5 MHz-Array mit 64 Elementen, das in der Spitze eines Katheters mit dem Durchmesser von ca. 3 mm untergebracht ist.

Es wird über den venösen Zugang in das rechte Herz eingeführt und liefert Bilder höchster Qualität direkt aus dem Herzen.



AcuNav, das intrakardiale Phased Array

Ein weiteres Highlight auf Grund der zur Verfügung stehenden hohen Rechnerleistungen ist, die Drehbewegung des schlagenden Herzens zu erfassen und die komplexen Wandbewegungen dreidimensional vektoriell darzustellen sowie auszuwerten (Velocity Vector Imaging, VVI).



Velocity Vector Imaging

In naher Zukunft werden weitere intelligente Verfahren und insbesondere neue Schallkopf-Technologien auf Siliziumbasis die Einsatzmöglichkeiten der Ultraschalldiagnostik ungeahnt erweitern und zu immer leistungsfähigeren Systemen führen.

Zuverlässige Informationen dieses kostengünstigen und vielseitig einsetzbaren bildgebenden Verfahrens erlauben eine frühzeitige, schnelle und sichere Diagnose. Das nützt nicht nur dem Patienten, sondern optimiert auch die Prozesse im Krankenhaus, trägt also damit entscheidend zur Kostensenkung im Gesundheitswesen bei.

Bei steigender Lebenserwartung, die zu vermehrten Anforderungen an das Gesundheitswesen führt, ist dieser Aspekt – gepaart mit dem hohen diagnostischen Nutzen – ein ganz wesentliches Kriterium für den einzigartigen Wert und den universellen Einsatz der Ultraschalldiagnostik in der Medizintechnik.

Bildquellen:

Kongressband „Der Ultraschall in der Medizin,
Mai 1998“

Autoren:

- Prof. H. J. Hallgräfer
- Prof. G. Bellenxer
- Prof. C. H. Hertz
- Siemens Medical Solutions

Siemens AG
Wittelsbacherplatz 2
D-80333 München
Deutschland

Headquarters
Siemens AG, Medical Solutions
Henkestr. 127, D-91052 Erlangen
Deutschland
Telefon +49 9131 84-0
www.Siemens.com/medical

Siemens AG, Medical Solutions
Ultraschall Diagnostik
Henkestr. 127, D-91052 Erlangen
Deutschland
Telefon +49 9131 84-6907
www.Siemens.com/medical

Siemens **Medical**
Solutions that help