

# Echokardiographie beim Pferd / Physikalisch- technische Grundlagen

P. Stadler

Klinik für Pferde der Tierärztlichen Hochschule Hannover  
(Vorstand: Prof. Dr. E. Deegen)

## Einleitung

Die Untersuchung von anatomischen und funktionellen Besonderheiten des Pferdeherzens umfaßt bis heute die Auskultation, die Perkussion, die Elektrokardiographie, die Phonographie, z. T. auch die Röntgen- und Nuklear-technik sowie die Katheterisierung einzelner Herzabschnitte.

Die Ultraschalldiagnostik ergänzt in Form einer nichtinvasiven, bildgebenden Methode die Herzuntersuchung. Es ist somit möglich geworden, spezifische Herzerkrankungen zu erkennen und außerdem den Grad der Veränderung und die Beeinträchtigung der Funktion zu bewerten.

Die Echokardiographie versetzt den Untersucher in die Lage, das schlagende Herz in ein- und zweidimensionaler Darstellung auf dem Monitor zu verfolgen. Die Anwendung des Ultraschalls erfordert Verständnis für seine physikalischen Eigenschaften. Der Ultraschall liegt mit einer Frequenz von mehr als 20 000 Schwingungen pro Sekunde (20 Hz) oberhalb des hörbaren Bereiches. Für die medizinisch-diagnostische Anwendung werden weit höhere Frequenzen, nämlich solche von mehreren Millionen Schwingungen pro Sekunde, benötigt.

Die vorteilhaften Eigenschaften für den Gebrauch des Ultraschalls (US) in der Medizin sind:

- Ultraschall kann als Strahl gerichtet werden.
- Er folgt den Gesetzen von Reflexion und Brechung.
- Er wird auch von kleinen Objekten reflektiert.

Nachteilig ist die schlechte Ausbreitung in gasförmigen Medien, wie z. B. Luft. Deshalb ist ein luftfreier Kontakt des Schallkopfes zur Körperoberfläche des Patienten die Voraussetzung für eine Untersuchung mit dieser Technik. Der Schallkopf muß auf der enthaarten und mit einem Kontaktgel versehenen Haut des Pferdes sehr exakt angekoppelt werden.

Die Schalldurchlässigkeit eines Mediums wird als dessen akustische Impedanz bezeichnet. Sie errechnet sich aus dem Produkt der Dichte des Mediums und der Ausbreitungsgeschwindigkeit des Schalls in dem Medium. Die Ausbreitungsgeschwindigkeit ist gleich dem Produkt aus Frequenz und Wellenlänge ( $f \times \lambda$ ), also sind Frequenz und Wellenlänge einander umgekehrt proportional. Diese Tatsache

## Zusammenfassung

Es wurde ein Überblick über die physikalischen Eigenschaften des Ultraschalls, seine Erzeugung in einem Transducer sowie seine Ausbreitung im Gewebe beschrieben. Die in der Echokardiographie angewandten Darstellungsarten der Ultraschallechos auf Kathodenstrahlröhren (A-, B-, M-mode) wurden erläutert. Wie bei der Echokardiographie beim Menschen wird auch beim Pferd die Anwendung der Sektortechnik bevorzugt. Die geeigneten Darstellungsarten sind die des B- und des M-mode.

## Echocardiography in the horse

The physics of ultrasound, its generation in a transducer and its tissue penetration are addressed. The imaging systems of A-, B- and M-mode are explained. Like in echocardiography in human medicine, sector scanners are preferred for the horses heart examination. Suitable imaging systems are the M-(motion-)mode and two-dimensional formats (B-mode).

spielt eine Rolle bei der Auswahl des Schallkopfes für ein bestimmtes Untersuchungsobjekt. Die Eindringtiefe eines Ultraschallstrahles bei einem konstanten Medium ist um so größer, je größer die Wellenlänge bzw. je kleiner die Anzahl der Schwingungen pro Zeiteinheit ist. Die Auflösung dagegen ist um so besser, je kleiner die Wellenlänge bzw. je größer die Anzahl der Schwingungen pro Zeiteinheit ist.

In der Echokardiographie bei Mensch und Pferd werden Frequenzen von etwa 2 Millionen Schwingungen pro Sekunde (2 MHz) angewendet. Das bedeutet beim Pferdeherzen einerseits eine Eindringtiefe von ca. 25 bis 30 cm, andererseits eine Registrierung separater Echos von Grenzflächen, die etwa 1 mm voneinander entfernt sind.

Unterschiedliche Gewebe schwächen den Ultraschall verschieden stark ab. Ein Maß für die Abschwächung im Gewebe ist der Halbenergieabstand. Dieser bezeichnet die Entfernung, bei der die Energie des Ultraschallstrahles in einem gewissen Medium auf die Hälfte des Ausgangswertes reduziert wird. Der Halbenergieabstand ist frequenzabhängig. In Tab. 1 sind Halbenergieabstände (in cm) für Gewebe und Materialien aufgeführt, die in der Echokardiographie eine Rolle spielen.

Aus den Werten in Tab. 1 wird deutlich, daß die echokardiographische Untersuchung auf die sog. „thorakalen Fenster“, d. h. auf die Zwischenrippenräume in Herznähe, begrenzt ist. Zusätzlich wird die Leitfähigkeit von einer stark bemuskelten Thoraxwand sowie von dem zwischen Herz und Thoraxwand gelegenen Lungengewebe eingeschränkt.

## Entstehung des Ultraschalls im Schallkopf (Transducer)

Der Ultraschall wird mit piezoelektrischen Kristallen, die im Schallkopf (Transducer, Abb. 1) angeordnet sind, erzeugt. Piezoelektrisch bedeutet druckelektrisch, d. h., ein Quarz mit einer druckelektrischen Eigenschaft ändert seine Kristallform unter dem Einfluß eines sich ändernden elektrischen Feldes und gerät in Schwingungen. So wird im Transducer elektrische in mechanische Energie umgewandelt und als Schallwelle in den Körper ausgesandt. Hier trifft sie auf unterschiedliche Gewebestrukturen, z. B. Kollagen (Herzklappen) oder Blut.

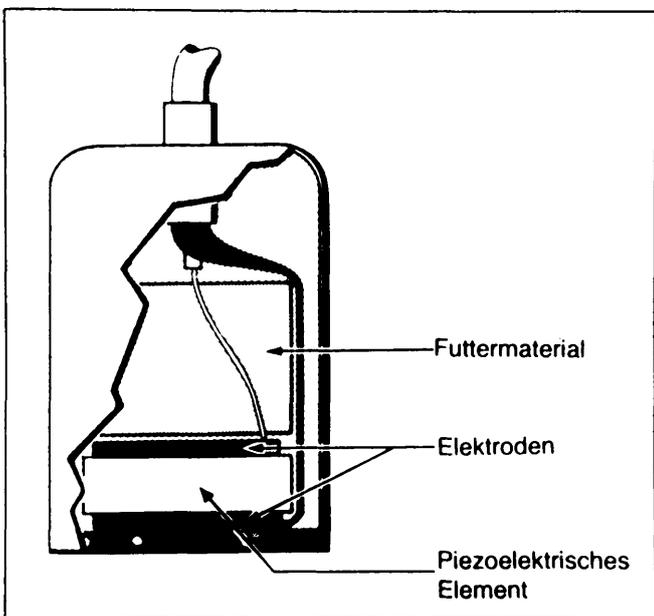
**Tab. 1:** Halbenergieabstände als Maß für die unterschiedliche Leitfähigkeit verschiedener Medien für den Ultraschall, bezogen auf 2 MHz (Feigenbaum, 1981)

Material	Halbenergieabstand (cm)
Wasser	380
Blut	15
Weichteile, außer Muskeln	1-5
Muskulatur	0,6-1
Knochen	0,2-0,7
Luft	0,08
Lunge	0,05

Abhängig von der akustischen Impedanz werden unterschiedlich große Energieanteile von den verschiedenen Geweben zurückgesandt. Diese Anteile treffen wiederum auf das Kristall und erzeugen nun im umgekehrten Sinne einen elektrischen Impuls. Der Transducer dient also als Sender und Empfänger von Ultraschallenergie. Die empfangenen elektrischen Impulse werden auf der Kathodenstrahlröhre des Echographen (Abb. 2) zu einem Bild zusammengesetzt.

Die im Handel befindlichen Echographen sind so empfindlich, daß sie ein Signal selbst dann noch erkennen, wenn weniger als 1 % der ausgesandten Ultraschallenergie reflektiert wird.

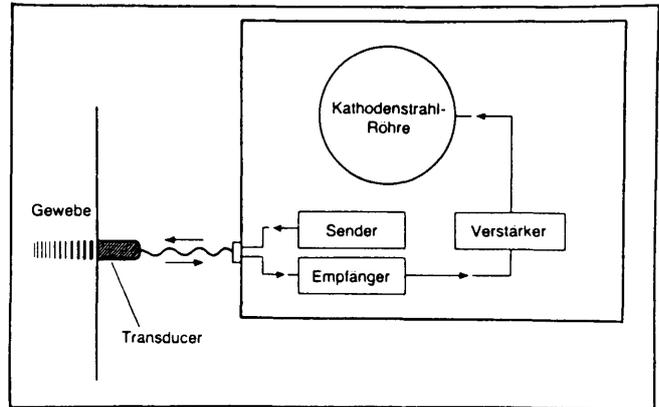
Die einfachste Darstellungsmöglichkeit von Ultraschallechos bildet die A-mode-Aufzeichnung. Sie wird heute kaum noch angewandt, ist aber die historische Grundlage der Ultraschallentwicklung in der Echokardiographie. Hierbei wird ein gerichteter Ultraschallstrahl durch ein Organ oder ein Gewebe geschickt. Für die A-mode-Registrierung wird in einem Koordinatensystem auf der Ordinate die Echostärke als Amplitude wiedergegeben, auf der Abszisse wird die Entfernung des Echos vom Transducer dargestellt (Abb. 3 und 4). Mit dieser Methode sind die ersten echokardiographischen Untersuchungen beim Menschen durchgeführt worden. Aus der A-mode-Darstellung



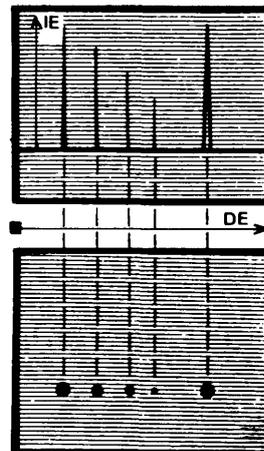
**Abb. 1:** Die wesentlichen Bestandteile eines Ultraschalltransducers (Feigenbaum, 1981).

wurde die B-mode-Darstellung entwickelt. Im amerikanischen Sprachgebrauch steht „B“ für „brightness“ (Helligkeit) (Abb. 3 und 4.) Man hat hierfür den Begriff B-mode auch ins Deutsche übernommen.

Die erzeugten Echos erscheinen bei der B-mode-Darstellung auf dem Oszilloskop nicht als „Ausschlag“ (Amplitude), sondern amplitudenmodelliert als Punkt. Würde man die aufrecht stehenden Wellen der A-mode-Darstellung von oben betrachten, entstünde eine Folge von Lichtpunkten, deren Intensität den zurückkommenden Echos proportional ist (Abb. 3).



**Abb. 2:** Die Komponenten eines Ultraschallechographen (Feigenbaum, 1981).



A-Mode (Amplitude-Modulation)

B-Mode (Brightness-Modulation)

**Abb. 3:** A-mode-Darstellung: Die rückkommenden Signale werden als aufrechte Wellen dargestellt, deren Amplitude (IE) der Intensität der Echos proportional ist. – B-mode-Darstellung: Die rückkommenden Signale werden als Punkte dargestellt, deren Helligkeit der Intensität der Echos proportional ist; DE = Entfernung der Echos vom Schallkopf (Götz, 1983).

Aus der B-mode-Darstellung wiederum wurde die M-mode-Projektion entwickelt. Dazu setzt man die im B-mode dargestellten Lichtpunkte in Bewegung und führt die Zeit als zweite Dimension ein. So werden bewegliche Strukturen als Wellenlinien wiedergegeben, stationäre Echos dagegen als gerade Linien (Abb. 4).

Die M-mode-Echokardiographie eignet sich gut, die Bewegung von Herzstrukturen auf dem Oszilloskop darzustellen (Abb. 4). Dazu wird eine vertikale B-mode-Aufzeichnung in einer konstanten Zeit von links nach rechts über eine Kathodenstrahlröhre geschwenkt. Es ergibt sich dar-

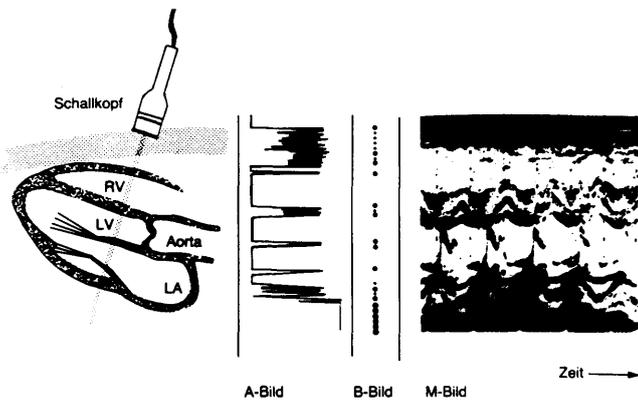


Abb. 4: Entstehung des A-, B-, M-Bildes bei der Echokardiographie (Götz, 1983).

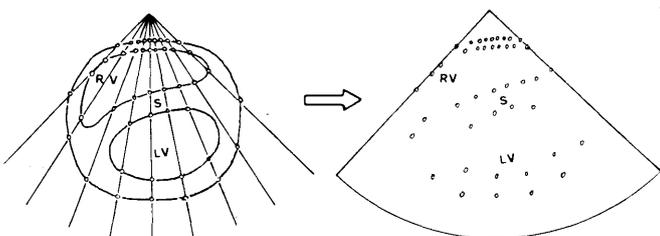


Abb. 5: Die Entstehung eines zweidimensionalen Bildes. Der abtastende Ultraschall, auf der linken Bildhälfte schematisiert, verursacht Echos der Gewebeschichten. Der Echograph ordnet die empfangenen Echos auf dem Bildschirm zu einem B-mode-Schnittbild an (Rantanen, 1986).

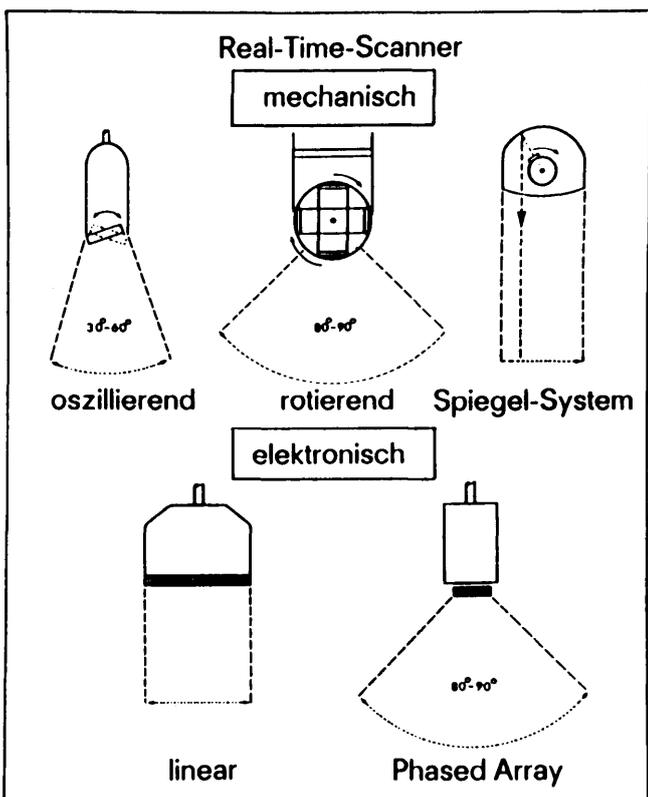


Abb. 6: Verschiedene Schallkopftypen (Scanner) für die Ultraschall-diagnostik (Feigenbaum, 1981).

aus die M-mode-Darstellung. „M“ steht für „motion“ (Bewegung). Für diese Art der Darstellung eines Ultraschallbildes liegen sowohl beim Menschen als auch beim Pferd die meisten Erfahrungen vor.

Die M-mode-Darstellung ist am besten für exakte Messungen der Herzdimension und Detailerkennung der Öffnungs- und Schließvorgänge der Herzklappen geeignet. Außerdem ist eine genaue zeitliche Zuordnung der Herzaktion zum EKG im Herzzyklus möglich, weil das Elektrokardiogramm synchron dazugeschaltet werden kann. Zur Dokumentation eignet sich die Registrierung auf lichtempfindlichem Papier mit Hilfe eines Videodruckers oder einer Polaroidkamera.

Eine weitere für die Echokardiographie an Bedeutung gewinnende Darstellung auf einer Kathodenstrahlröhre hat mehrere Bezeichnungen. Die gebräuchlichsten sind „Schnittbildkardiographie“, „Zweidimensionale Echokardiographie“ oder „Real-Time-Echokardiographie“ (Echtzeit-Echokardiographie). Leider wird die Terminologie durch die darüber hinaus noch verwendeten Begriffe wie „Ultraschall-Kinematographie“ (Asberg, 1967), „Cine-Ultraschallkardiographie“ (Gramiak et al., 1973), „Ultraschall-Tomographie“ (Kratochwil et al., 1974), „Ultraschall-Kardiotomographie“ (Ebina et al., 1967), „Kardiale Ultrasonographie“ (King, 1973) und „Ultraschall-Kardiokymographie“ sehr verwirrend.

Im folgenden wird hierfür der Begriff „Schnittbildechokardiographie“ verwendet. Bei der Schnittbildechokardiographie setzt sich das Bild zweidimensional aus der Tiefe und der Breite zusammen. Es entsteht ein räumlich orientiertes Schnittbild, weil die Echos aller schallgebenden Gewebeschneidflächen in einem von der Bauart des Schallkopfes vorgegebenen Sektor zur gleichen Zeit auf dem Bildschirm erscheinen (Abb. 5).

In solch einem von der Bauart des Schallkopfes vorgegebenen Winkel bzw. Sektor wird das Herz von dem Ultraschallstrahl abgetastet. Das bedeutet, der Ultraschallstrahl wird mit einer bestimmten Geschwindigkeit von einer Seite des Sektors zur anderen und wieder zurück geschwenkt. Während dieser Schwenkung wird kontinuierlich Ultraschall mit einer bestimmten Frequenz ausgesendet und von allen in dem Sektor liegenden echogebenden Geweben mehr oder minder stark reflektiert.

Für die Entstehung eines Videobildes im Zusammenhang mit der Ultraschalltechnik wird die Trägheit des menschlichen Auges ausgenutzt. Mit der sektorförmigen Abtastung werden Ultraschallbilder mit Bildfrequenzen zwischen 10 bis 50 Hz, sog. Real-Time-Bilder, erzeugt. Bei einer Bildfrequenz von mindestens 20 pro Sekunde kann das menschliche Auge Bewegungsabläufe flimmerfrei auf dem Monitor verfolgen.

Eine Beschreibung der verschiedenen technischen Möglichkeiten, die Kristalle in einem Transducer anzuordnen, würde den Rahmen dieser Arbeit sprengen. Es sei nur erwähnt, daß wegen des kleinen thorakalen Fensters für die Echokardiographie beim Pferd die sog. Sektorschallköpfe eindeutig im Vorteil sind, während in der Gynäkologie besonders Linearschallköpfe verwendet werden. Sektorschallköpfe können auf Grund der Anordnung ihrer Kri-

stalle mit einer kleinen Auflagefläche im Interkostalraum einen relativ großen Querschnitt des Herzens abtasten (Abb. 6).

Vergleicht man die Darstellungsweisen M-mode und Schnittbildechokardiographie, so zeigt der M-mode eindeutig bessere Auflösung in der axialen Dimension, kann jedoch die laterale Dimension nicht erfassen. Dieses wiederum gelingt mit der Schnittbildechokardiographie zusätzlich, da hier eine räumliche Orientierung vorliegt. Somit stellen beide Untersuchungsmethoden eine gegenseitige Ergänzung dar. Will man jedoch Informationen über die Blutflußverhältnisse gewinnen, ist eine andere Methode, die Dopplertechnik, das Mittel der Wahl. Trifft ein Ultraschall auf ein bewegtes Ziel, z. B. fließendes Blut, so findet eine Frequenzänderung des zurückkommenden

Ultraschallsignals statt. Diese Frequenzänderung ist als „Dopplereffekt“ bekannt. Der Frequenzunterschied zwischen ausgesandtem und zurückkehrendem Ultraschall liegt innerhalb des hörbaren Bereichs und ist der Bewegungsgeschwindigkeit des untersuchten Objektes proportional. Ist der Winkel zwischen dem Schallstrahl und dem bewegten Ziel bekannt, so ist die Geschwindigkeit der Blutströmung errechenbar. Das Ergebnis dieser Untersuchung kann man z. B. über Lautsprecher abhören oder graphisch darstellen.

Bei einer Aorteninsuffizienz entsteht z. B. ein Blutrückstrom in die linke Herzkammer während der Diastole. Die Rückflußgeschwindigkeit ist mit dem Dopplerprinzip meßbar.

### Literatur

- Asberg, A. (1967): Ultrasonic cinematography of the living heart. *Ultrasonic* 6, 113.
- Ebina, T., Oka, S., Tanaka, M., Kosaka, S., Terasawa, Y., Unno, K., Kikuchi, D., und Uchida, R. (1967). The ultrasono-tomography of the heart and great vessels in living human subjects by means of the ultrasonic reflection technique. *Jpn Heart J.* 8, 331.
- Feigenbaum, H. (1981): *Echocardiography*. Edition 3, Philadelphia, Lea & Febiger.
- Götz, A.-J. (1973): *Kompendium der medizinisch-diagnostischen Ultrasonographie*, Stuttgart, Enke.
- Gramiak, R., Waag, R., und Simon, W. (1973): Cine ultrasound-cardiography. *Radiologie* 107, 175.
- King, D. L. (1973): Cardiac ultrasonography. Cross-sectional ultrasonic imaging of the heart. *Circulation* 47, 843.

- Kratochwil, A., Jantsch, C., Mösslacher, H., Slany, J., und Wenger, R. (1974): Ultrasonic tomography of the heart. *Ultrasound Med. Biol.* 1, 275.
- Rantanen, N. W. (1986): *Diagnostic ultrasound*. The Vet. Clinics of North America Equine Practice, Philadelphia, W. B. Saunders.

Dr. P. Stadler  
Klinik für Pferde  
Tierärztliche Hochschule Hannover  
Bischofsholer Damm 15  
D-3000 Hannover

### Kurzreferat

## Rechtliche Aspekte beim Doping von Pferden

(Legal aspects in the doping of horses)

H. D. Wagner (1988)

Tierärztliche Umschau 43, 146-147

Nach dem neuen Tierschutzgesetz (seit 1. 1. 1987) ist es ausdrücklich verboten, an einem Tier bei sportlichen Wettkämpfen oder ähnlichen Veranstaltungen Dopingmittel anzuwenden. Schon nach dem bisherigen Tierschutzgesetz wäre es dem Staat möglich gewesen, das Doping bei Tieren zu verfolgen; es wurde jedoch keine eigene Dopingfah-

dung betrieben. Vielmehr haben die 3 Pferdesportverbände in der Bundesrepublik Deutschland seit Jahren selbständig entsprechende Kontrollen durchgeführt. Die Motive der Verbände sind Tierschutz, Verfälschung der Vergleichbarkeit von Sportleistungen, Wettbetrug, Unfallgefahr für den Pferdesportler und Verfälschung tierzuchtrelevanter Ausgabewerte.

Im Gesetz ist nicht definiert, was „Dopingmittel“ sind. Es ist davon auszugehen, daß die Behörden mindestens all das als „Doping“ betrachten, was auch die Verbände so definieren. Die verbotenen Substanzen sind dort in Listen aufgeführt; darüber hinaus heißt es: „Jede andere Substanz als normale Nahrung, die in der Lage sein kann, die Leistung eines Pferdes zu beeinflussen“ ist verboten.

Künftig ist eine Doppelfahndung durch Verbände und Staat möglich. Der Autor hält es für wünschenswert, wenn die Fahndung weder einseitig – wie bisher von den Zuchtverbänden praktiziert – noch parallel, sondern in sinnvoller Zusammenarbeit durchgeführt werden würde.

K. H. Schuwerk