

## 2. LITERATURÜBERSICHT

### 2.1. Sonographietechnik

#### 2.1.1. Physikalische Grundlagen

Die folgenden Grundlagen entstammen dem Atlas und Lehrbuch der Ultraschalldiagnostik bei Hund und Katze (*Poulsen Nautrup 1998*) sowie dem Buch Veterinary Ultrasonography (*Goddard 1995*).

##### 2.1.1.1 Ultraschall

Mit Ultraschall bezeichnet man den oberhalb des menschlichen Hörbereiches befindlichen Schallbereich zwischen 20 kHz und 100 MHz. Die in der Medizin genutzten Frequenzbereiche liegen bei 1-10 MHz, in Sonderfällen bis zu 20 MHz.

Schallwellen werden erzeugt, wenn Materieteilchen durch eine Erregung dazu veranlaßt werden, um ihren Ruhepunkt zu schwingen. Dabei erfährt die Materie eine räumliche und zeitliche Zustandsänderung, es kommt zu abwechselnder Verdichtung und Verdünnung der Teilchen. Diese Erregung breitet sich nun mit einer für jede Materie charakteristischen Ausbreitungsgeschwindigkeit wellenförmig im Raum aus. Den Zyklus aus Teilchenverdünnung und -verdichtung nennt man die Wellenlänge  $\lambda$ . Sie verhält sich umgekehrt proportional zu den Schwingungen pro Zeiteinheit, der sogenannten Frequenz  $f$ . Eine hohe Frequenz bedeutet also kurze Wellenlängen und umgekehrt. Für die Ausbreitungsgeschwindigkeit von Wellen steht der Buchstabe  $c$ .

In Formeln ausgedrückt ergeben sich folgende Beziehungen:

$$\lambda \sim 1/f \quad \lambda = c/f \quad \Leftrightarrow \quad c = \lambda \cdot f \quad \Leftrightarrow \quad f = c/\lambda$$

Die in der Medizin gebräuchlichen Wellenlängen liegen, ausgehend von einer Frequenz von 1-10 MHz, demnach bei 1,5 – 0,15 mm mit einer durchschnittlichen Ausbreitungsgeschwindigkeit im Weichteilgewebe von ca. 1540 m/s.

Bedeutung für die medizinische Ultraschallnutzung haben nur jene Wellen, deren Amplituden in Ausbreitungsrichtung liegen. Sie heißen Longitudinalwellen im Gegensatz zu den Transversalwellen, deren Schwingungen senkrecht zur Fortpflanzungsrichtung erfolgen.

### 2.1.1.2 Schallintensität

Die Amplituden einer Welle entsprechen der maximalen Auslenkung der Schwingung und stehen in direktem Zusammenhang mit der zugeführten Erregungsenergie. Vergrößert sich die Amplitude aufgrund erhöhter Energiezufuhr bedeutet dies eine Zunahme der Leistung und man spricht von einer erhöhten Schallintensität. Diese spiegelt sich im Falle des Ultraschallbildes als eine Aufhellung der Abbildung dar.

Diese, eine Flächeneinheit durchquerende, momentane Leistung  $J$  ( $\text{W}/\text{cm}^2$ ) liegt in der Ultraschalldiagnostik generell bei ca.  $10\text{-}50 \text{ mW}/\text{cm}^2$ .

### 2.1.1.3 Impedanz

Jedes Material besitzt für sich charakteristische akustische Eigenschaften, die der Schallausbreitung entgegenwirken. Hierbei spielt z. B. die Trägheit der Teilchenmasse eine Rolle, die überwunden werden muß, um es zum Schwingen zu bringen. Diese als Schallwellenwiderstand oder akustische Impedanz bezeichnete Größe  $Z$  errechnet sich aus der Materiedichte  $\rho$  und der Ausbreitungsgeschwindigkeit  $c$  wie folgt:

$$Z = \rho \cdot c$$

Weist ein Körper oder Organ Impedanzunterschiede auf so verhält sich die Grenze dazwischen als akustische Grenzfläche. Diese Grenzflächen sind in der Lage, Schallwellen zu reflektieren.

### 2.1.1.4 Reflexion und Transmission

Trifft eine Ultraschallwelle auf eine akustische Grenzfläche, so wird ein Teil der Welle reflektiert. Wie groß dieser Anteil ist hängt vom Impedanzsprung der beiden aneinanderliegenden Gewebe ab. Der übrige Teil der Welle wird fortgeleitet, man spricht von Transmission. Je größer der Impedanzunterschied ist, desto mehr verschiebt sich das Verhältnis von Reflexion und Transmission zu Gunsten der Reflexion. Als relatives Maß fuer die Reflexion an senkrecht getroffenen Grenzflächen gilt der Reflexionsfaktor :

$$R = (Z_2 - Z_1) : (Z_2 + Z_1)$$

Im Beispiel bedeutet dies folgendes: Trifft die Ultraschallwelle auf ein Material wie Knochen oder Luft, welche gegenüber Weichteilgewebe eine deutlich abweichende Impedanz besitzen, wird der weitaus größte Teil der Welle reflektiert. Es gibt kaum Transmission, so daß hinter der Grenzfläche befindliche Strukturen nicht dargestellt werden können. Ein weiterer Grund dafür liegt in der Absorption begründet (s.u.).

### 2.1.1.5 Brechung

Senkrecht auf eine akustische Grenzfläche auftreffende Ultraschallwellen werden um  $180^\circ$  in die ihrer Ausbreitungsrichtung entgegengesetzte Richtung reflektiert. Nur so ist es dem Ultraschallkopf möglich, gleichzeitig als Sender und Empfänger der Wellen zu fungieren, und die so reflektierten Wellen zur Auswertung gelangen zu lassen. Schräg auftreffende Wellen werden gemäß des Gesetzes „Einfallswinkel gleich Ausfallswinkel“ reflektiert und erreichen den Ultraschallkopf zum Großteil nicht. Der transmittierte Anteil des schräg auftreffenden Schalls erfährt nach den Brechungsgesetzen eine Richtungsänderung. Diese richtet sich nach den Fortpflanzungsgeschwindigkeiten der beiden Medien. Ist diese im ersten Medium größer, so wird der Schall zum Lot des Auftreffpunktes auf der Grenzfläche hin gebrochen. Ist sie im sich anschließenden Medium größer, wird die Welle vom Lot weg gebrochen.

Hieraus ergibt sich, daß nur nahezu senkrecht getroffene Grenzflächen im Ultraschallbild sicher zu beurteilen sind.

### 2.1.1.6 Absorption

Der meiste Energieverlust, den der Ultraschall in biologischem Gewebe erfährt, erfolgt durch Absorption. Hierbei wird beim Durchgang der Ultraschallwellen durch die Materie ein Teil der Schallenergie in Wärme umgewandelt. Sie steht dem Bildaufbau nicht mehr zur Verfügung.

In Weichteilgewebe ist die Absorption relativ gering, während sie in Knochengewebe sehr hoch ist, was zu einem sogenannten Schallschatten hinter Grenzflächen zu hoch absorbierenden Stoffen wie Knochen führt. Erhöht man die Frequenz des verwendeten Ultraschalles, so erhöht sich auch der Anteil absorbierter Energie und zwar im Weichteilgewebe linear zur Frequenzerhöhung, im Knochen jedoch zum Quadrat der Frequenzänderung. Somit liegt die Abhängigkeit der Eindringtiefe mit der verwendeten

Frequenz der Ultraschallwelle auf der Hand. Ein 7,5 MHz-Schallkopf z. B. besitzt im Weichteilgewebe eine Eindringtiefe von 70 mm, ein 5 Mhz-Schallkopf eine Eindringtiefe von 100 mm.

### 2.1.1.7 Streuung

An rauhen Oberflächen kommt es zu einer ungerichteten Reflexion der Wellen in verschiedene Richtungen, d.h. die Wellen werden gestreut. Dies bedeutet einen geringgradigen Energieverlust, der von der Schallfrequenz und der Stärke der Rauigkeit abhängt. Tangential getroffene Strukturen können nur durch Streuung sichtbar gemacht werden.

### 2.1.1.8 Beugung

An Randbereichen von stark absorbierenden Stoffen wie Knochen oder an abgerundeten Organenden werden die Schallwellen in den Schallschatten hinein gebeugt. Diese Beugung resultiert in einem divergierenden Schallschatten.

### 2.1.1.9 Dopplereffekt

Von bewegten Objekten reflektierte Schallwellen unterliegen einer Frequenzverschiebung, dem sogenannten Dopplershift. Der Dopplershift ( $f_d$ ) ist die Differenz aus reflektierter Frequenz ( $f_1$ ) und ausgesandter Frequenz ( $f_0$ ).

$$f_d = f_1 - f_0$$

Eine sich auf den Empfänger zubewegende Schallquelle zeichnet sich durch eine scheinbar größere Frequenz, eine sich wegbewegende durch eine scheinbar kleinere Frequenz aus. Dabei ist die Größe der Frequenzverschiebung von der Geschwindigkeit der bewegten Schallquelle abhängig.

## 2.1.2 Technische Grundlagen

### 2.1.2.1 Erzeugung und Empfang von Ultraschallwellen

Der umkehrbare piezoelektrische Effekt bestimmter Kristalle ist die Grundlage zur Erzeugung und zum Empfang von Ultraschallwellen durch einen Schallkopf. In der Sonde werden die Kristalle durch hochfrequente elektrische Wechselspannung zum Schwingen angeregt, woraufhin diese Schwingungen als Ultraschallwellen abgegeben werden. Reflektierte Wellen erzeugen im selben Kristall eine wiederum meßbare Wechselspannung.

### 2.1.2.2 Zweidimensionales Real-Time B-Bild-Verfahren

Diese im Allgemeinen bei der heutigen Sonographie im engeren Sinne übliche Methode der Wahl bietet ein zweidimensionales Schnittbild mit Bildaufbauzeiten zwischen 20 und 50 oder mehr Bildern pro Sekunde. Das Scannen des Bildbereiches erfolgt automatisch entweder mechanisch oder elektronisch. Ein schnellerer Bildaufbau ermöglicht eine Beurteilung der Bewegung von Organen in Echtzeit, eine geringe Bildrate dagegen eine höhere Zeilendichte.

### 2.1.2.3 Annular-Array Sektorschallkopf

Das durch einen Sektorschallkopf erzeugte Bild ist trapezförmig und besteht aus radiär verlaufenden, divergierenden Bildzeilen. Die sogenannte Annular-(Phased)-Array Technik bezeichnet die Verwendung ringförmig angeordneter Einzel-Piezoelemente. Während die radiären Abtastimpulse durch mechanische Pendelbewegung entstehen, erfolgt die Fokussierung elektronisch durch gezielte Einzelansteuerung der Elemente in Phase.

Vorteilhaft hierbei ist die geringe Größe der benötigten Auflagefläche des Schallkopfes und die damit verbundene sichere Ankopplung.

Nachteilig ist die gewöhnungsbedürftige Verzerrung des dargestellten Gewebes sowie die geringe schallkopfnaher Auflösung, die zur Verwendung einer Vorlaufstrecke bei der Darstellung oberflächlicher Strukturen zwingt.

#### 2.1.2.4 Auflösungsvermögen

Man unterscheidet zwischen dem axialen und lateralen Auflösungsvermögen, d.h. der Darstellungsmöglichkeit zweier gerade noch unterscheidbarer hintereinander bzw. nebeneinander liegender akustischer Grenzflächen. Die axiale Auflösung hängt von der Impulsdauer und der Ausbreitungsgeschwindigkeit im Gewebe ab, da die Reflexion einer Schallwelle an einer Grenzfläche vollständig abgeschlossen sein muß, bevor die von einer dahinterbefindlichen Grenzfläche reflektierte Welle erstere erreicht, um sie von letzterer optisch zu unterscheiden.

Die laterale Auflösung wird hauptsächlich durch die Ultraschallfrequenz, die Schallquellengeometrie und die Eindringtiefe bestimmt. Sie ist am höchsten bei Verwendung einer hochfrequenten, relativ großen Schallquelle mit mechanischer und elektronischer Fokussierung im Bereich der optimalen Fokuszone.

Ein 7,5 MHz-Schallkopf besitzt in Weichteilgewebe ein maximales axiales Auflösungsvermögen von 0,2 mm, das laterale Auflösungsvermögen ist im Idealfall immer noch etwa zwei bis drei Mal niedriger.

#### 2.1.2.5 Kontinuierliches und gepulstes Dopplerverfahren

Das kontinuierliche Dopplerverfahren zur Blutströmungsmessung zeichnet bei kontinuierlich von einem Kristall ausgesandten und von einem zweiten wieder aufgenommenen Schallwellen detektierte Dopplershifts als für bestimmte vaskuläre oder kardiale Bereiche charakteristische Kurven auf. Die Schallwellenausbreitung wird hierbei exakt parallel zum Blutfluß eingestellt. Die Kurvenformen richten sich nach Strömungsgeschwindigkeit und Flußrichtung und erlauben z. B. die Identifikation von Arterien und Venen, aber auch Herzklappen.

Beim gepulsten Dopplerverfahren fungiert ein und derselbe Kristall als Sender und Empfänger. Er sendet kurze Ultraschallimpulse aus und schaltet nach einer definierten Zeit auf Empfang. Hierbei kann der Meßbereich exakter anvisiert und der Winkel zum Blutstrom variiert werden.

### 2.1.3 Sonographische Gewebedarstellung

Die Beschreibung sonographischer Gewebequalitäten ist uneinheitlich und ergibt sich normalerweise aus der Definition von Echostärke, -größe und -dichte. Sind keine Echos nachweisbar, so ist das entsprechende Gebiet echofrei (im Normalfall alle Flüssigkeiten). Werden Reflexe registriert, kann ihre Größe fein, mittelfein oder grob, ihre Stärke schwach, mittelstark oder stark und ihre Dichte vereinzelt, mitteldicht oder dicht sein. Teilweise synonym gebrauchte Bezeichnungen sind u.a. echofrei, reflexfrei, anechogen, echoarm, reflexarm, hypoechogen, sowie echoreich, reflexreich und echogen.

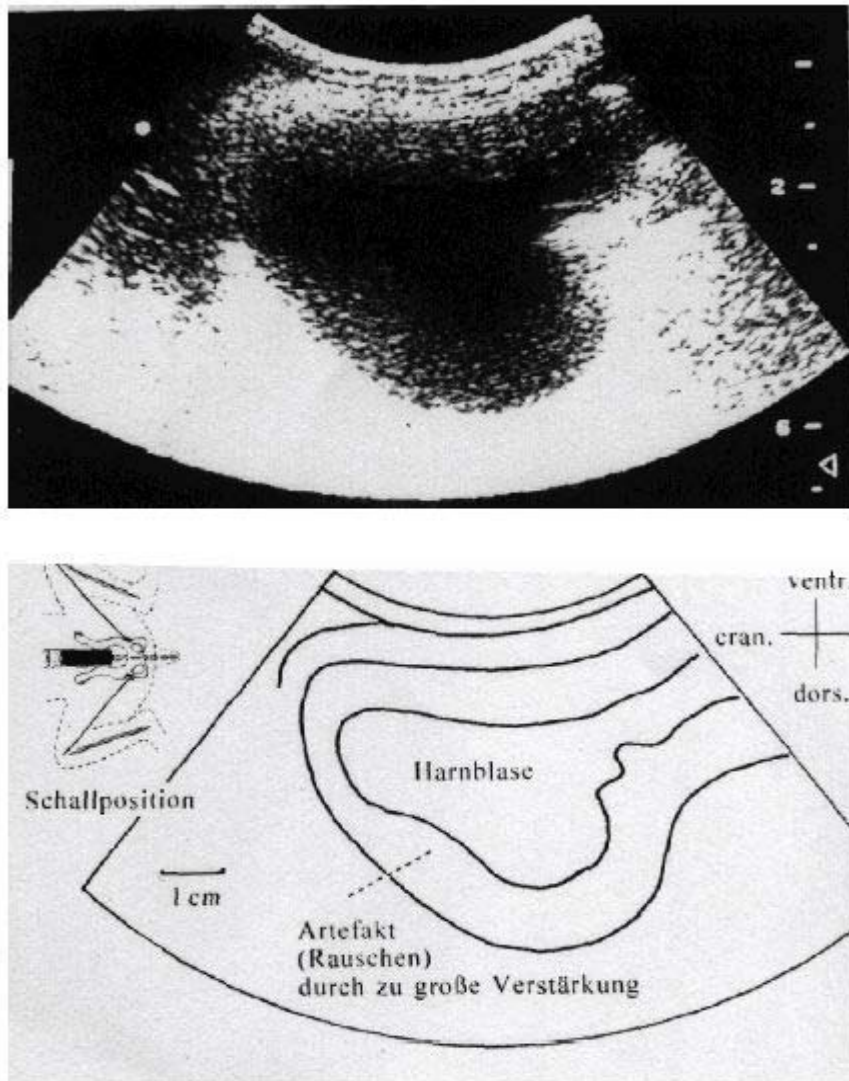
Die Verteilung der Einzelechos kann gleichmäßig bzw. homogen oder ungleichmäßig bzw. inhomogen sein.

## 2.1.4 Artefakte

Physikalisch oder technisch bedingte Kunstprodukte vielerlei Art können die Beurteilung von Geweben erschweren oder verhindern, manche Phänomene wie z. B. die Schallverstärkung verbessern jedoch auch die Befunderhebung.

### 2.1.4.1 Rauschen

Als Rauschen bezeichnet man als Folge zu großer Verstärkung vor allem in echofreien Gebieten auftretende, zahlreiche, artifizielle, kleine bis mittelgroße mehr oder weniger unregelmäßige Echos.

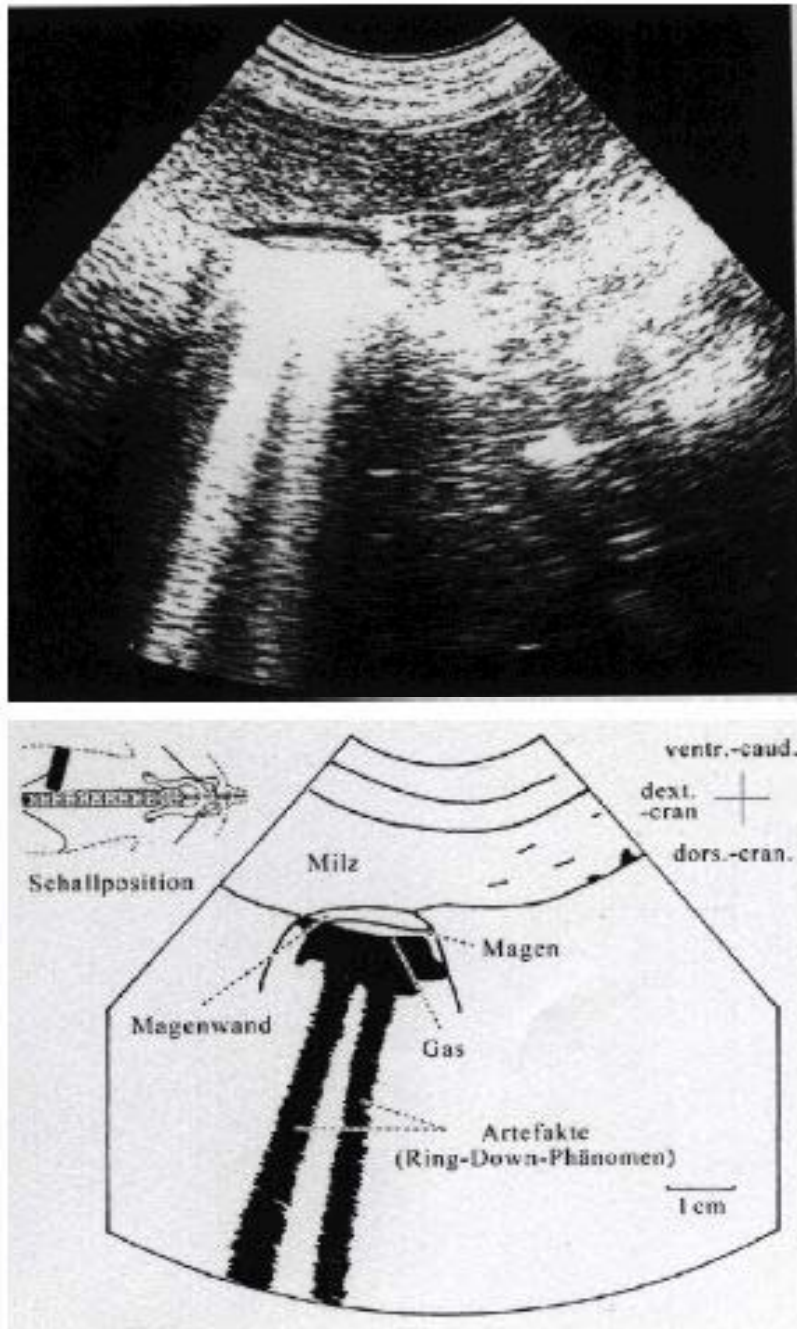


**Abb.1:** Beispiel für Rauschen aus: Poulsen Nautrup, C. „Atlas und Lehrbuch der Ultraschalldiagnostik bei Hund und Katze“ (1998)



### 2.1.4.2 Wiederholungsechos

An Grenzflächen mit unterschiedlichem akustischen Widerstand kann es dahinter zu mehreren Wiederholungsechos mit gleichem Abstand und abnehmender Intensität kommen. Typischer Weise tritt dieses Phänomen bei ungenügend angekoppeltem Schallkopf an die Haut auf. Sind die Wiederholungsechos im Anschluß an eine schallauslöschende Grenzfläche besonders zahlreich, so spricht man vom Ring-Down-Phänomen.

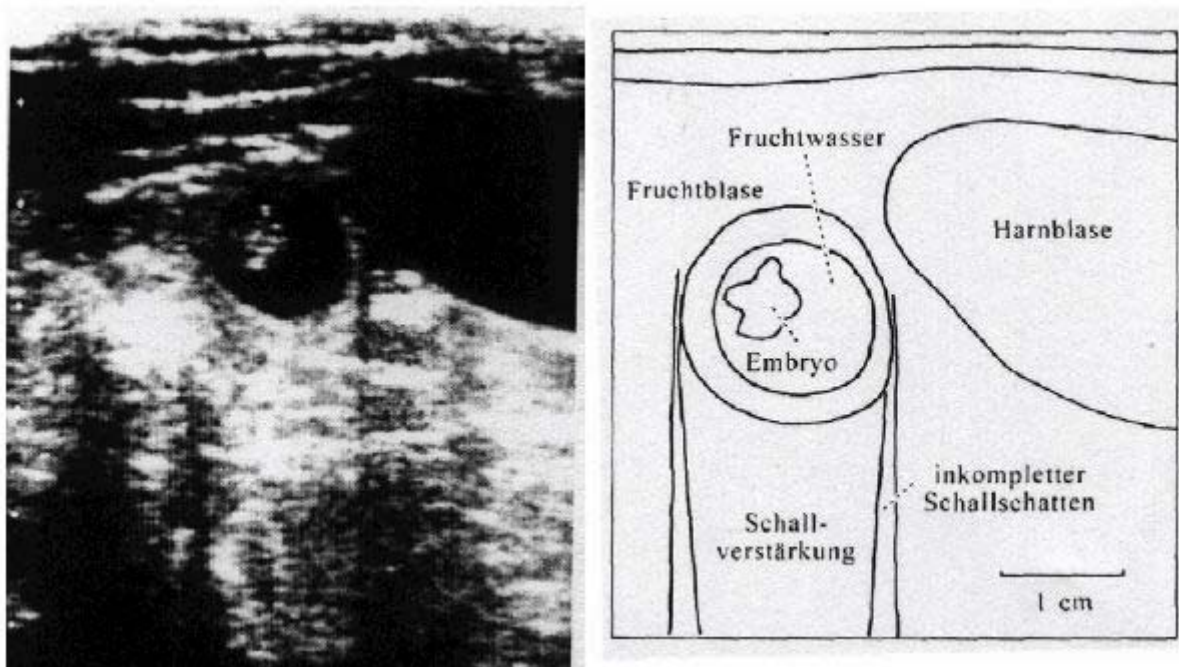


**Abb.2:** Beispiel für Wiederholungsechos aus: Poulsen Nautrup, C. (1998)

### 2.1.4.3 Schallschatten und –verstärkung

An Grenzflächen mit hohem Impedanzunterschied findet sich aufgrund der vollständigen Reflexion ein anschließender schwarzer Schallschatten. In ihm ist keine weitere Differenzierung von Gewebe möglich.

Die Absorptionsrate von Wasser ist beinahe Null und seine Impedanz ist der des Weichteilgewebes sehr ähnlich, sodaß die zu großem Teil transmittierte, im Gegensatz zu Weichteilgewebe kaum abgeschwächte Schallwelle das hinter der Flüssigkeit liegende Gewebe in hoher Intensität erreicht. Man spricht hier von einer relativen Schallverstärkung und nutzt daher flüssigkeitsgefüllte Hohlräume als Schallfenster.



**Abb.3:** Beispiel für Schallverstärkung und Schallschatten aus: Poulsen-Nautrup, C. (1998)

#### 2.1.4.4 Schichtdickenartefakt

Schichtdickenartefakte treten am Rand von flüssigkeitsgefüllten Organen als Saum feiner, unscharf abgegrenzter Echos auf. Dieser Saum mittlerer Echogenität kann mit Wandverdickungen und Sedimentation verwechselt und durch Einstellung der Fokuszone und Veränderung der Schallkopfposition beseitigt werden.

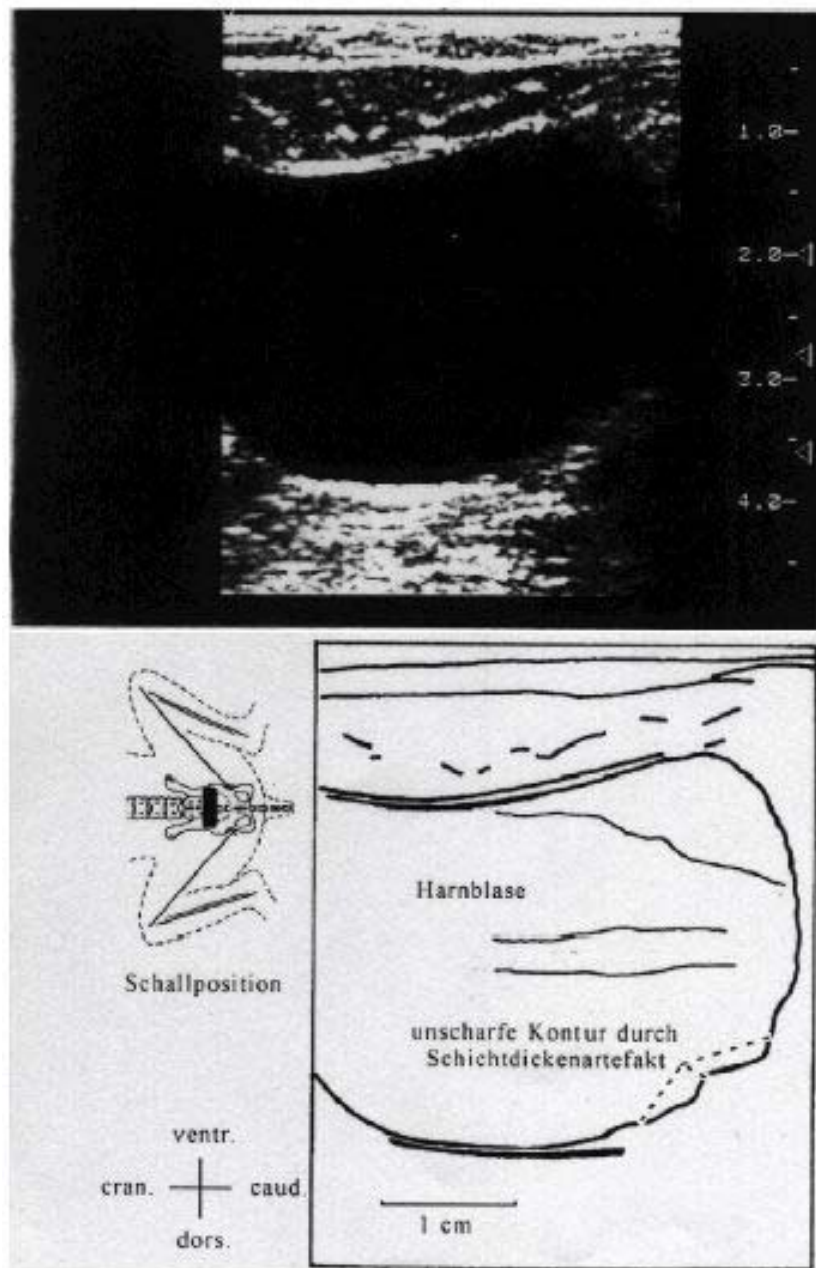


Abb.4: Beispiel für Schichtdickenartefakt aus: Poulsen Nautrup, C. (1998)

## **2.2 Anatomie**

### 2.2.1 Allgemein

Im Laufe der Phylogenese haben sich entsprechend des langgestreckten Körperbaues der Schlangen auch deren Organe durch Formveränderung (Langstreckung) und Lageveränderung (Verzicht auf Parallellagerung) an diese Gegebenheit angepasst. Die ca. 3000 heute auf der Erde lebenden Schlangenarten unterscheiden sich jedoch nicht nur von anderen Reptilien, sondern auch untereinander im Grad der Organveränderungen (*Keil 1990*).

Trotz dieser Modifikation der inneren Anatomie der Schlangen, um sich einem verlängerten, röhrenförmigen Körper anzupassen, sind die Organsysteme denen höherer Wirbeltiere vergleichbar (*Brown und Martin 1990*).

So sind die inneren Organe von Schlangen langgestreckt und mit gewissen Überlappungen entlang der gesamten Länge der engen Leibeshöhle aufgereiht. Die Reihenfolge der Organe ist, mit Ausnahme der Lungen, für alle Spezies konstant, die relative Position und Größe von Organen variieren jedoch zwischen und innerhalb taxonomischer Familien signifikant. Für einige wenige Schlangenspezies liegen über den detaillierten anatomischen Aufbau in der Literatur Informationen vor (*McCracken 1999*).

Im folgenden soll auf die Anatomie der Organsysteme eingegangen werden, die sich für eine sonographischen Untersuchung eignen. Die meisten Angaben beziehen sich auf Schlangen verschiedener Spezies. Bei Angaben zu *Python regius* wird gesondert darauf hingewiesen.

## 2.2.2 Herz und Kreislauf

Die Lage des Herzens beschreiben die meisten Autoren in Beziehung zu anderen Organen. Bellairs (1969) findet das Herz in Höhe der kranialen Lungengrenze, während Chiodini et al. (1982) die Lage des von einem perikardialen Sack umgebenen Herzens als an der Bifurcatio tracheae gelegen bezeichnen.

Keil (1990) errechnet aus den Daten von sieben seziierten Königspythons eine mittlere Lage des Herzens bei 30-36 Prozent der Schnauzen-Kloakenlänge (im Weiteren auch SKL abgekürzt). Weitere Herzlagen gibt Keil u.a. für folgende Schlangenarten an: Abgottschlange (24-32 % SKL), Tigerpython (20-31 % SKL) und Kornnatter (19-33 % SKL).

Nach Auffassung von McCracken (1999) liegt das Herz direkt kranioventral des Endes der Luftröhre und ist, wahrscheinlich zur Ermöglichung des Abschluckens großer Beutetiere, sehr beweglich. Nach ihren Untersuchungen liegt das Herz bei der Familie der Boiden etwa im Bereich von 24,5-28 Prozent der SKL, wobei 50 Schlangen, darunter jedoch kein Königpython, ausgewertet wurden.

Auch Mader (1996) weist auf die Beweglichkeit und variierende Position des Herzens hin und erklärt dies anhand der unterschiedlichen ökologischen und phylogenetischen Anpassung der Schlangen.

Eine Untersuchung von Lillywhite (1989) an in unterschiedlichen Lebensräumen vorkommenden Schlangen zeigt die Anpassung der Hämodynamik und der Herzlage an die jeweiligen Schwerkraftbelastungen und Körperhaltungen. Bei Baumschlangen (häufiges Herabhängen des Kopfes) findet sich im Vergleich zu boden- oder wasserbewohnenden Arten eine deutliche Kranialverlagerung des Herzens.

Das Herz ist bei Reptilien, bis auf die Krokodile, dreikammerig mit großen Vorkammern und einer Hauptkammer und ist von einem starken Herzbeutel umgeben. Der Herzmuskel ist im Vergleich zum Säuger deutlich schwächer ausgebildet (Schildger et al. 1996).

Die Herzkammer ist bei Schlangen durch das Septum interventriculare nicht vollständig geteilt, wobei der ventrale Kammerabschnitt der rechten, der dorsale Kammerabschnitt der linken Herzkammer entspricht (Keil 1990).

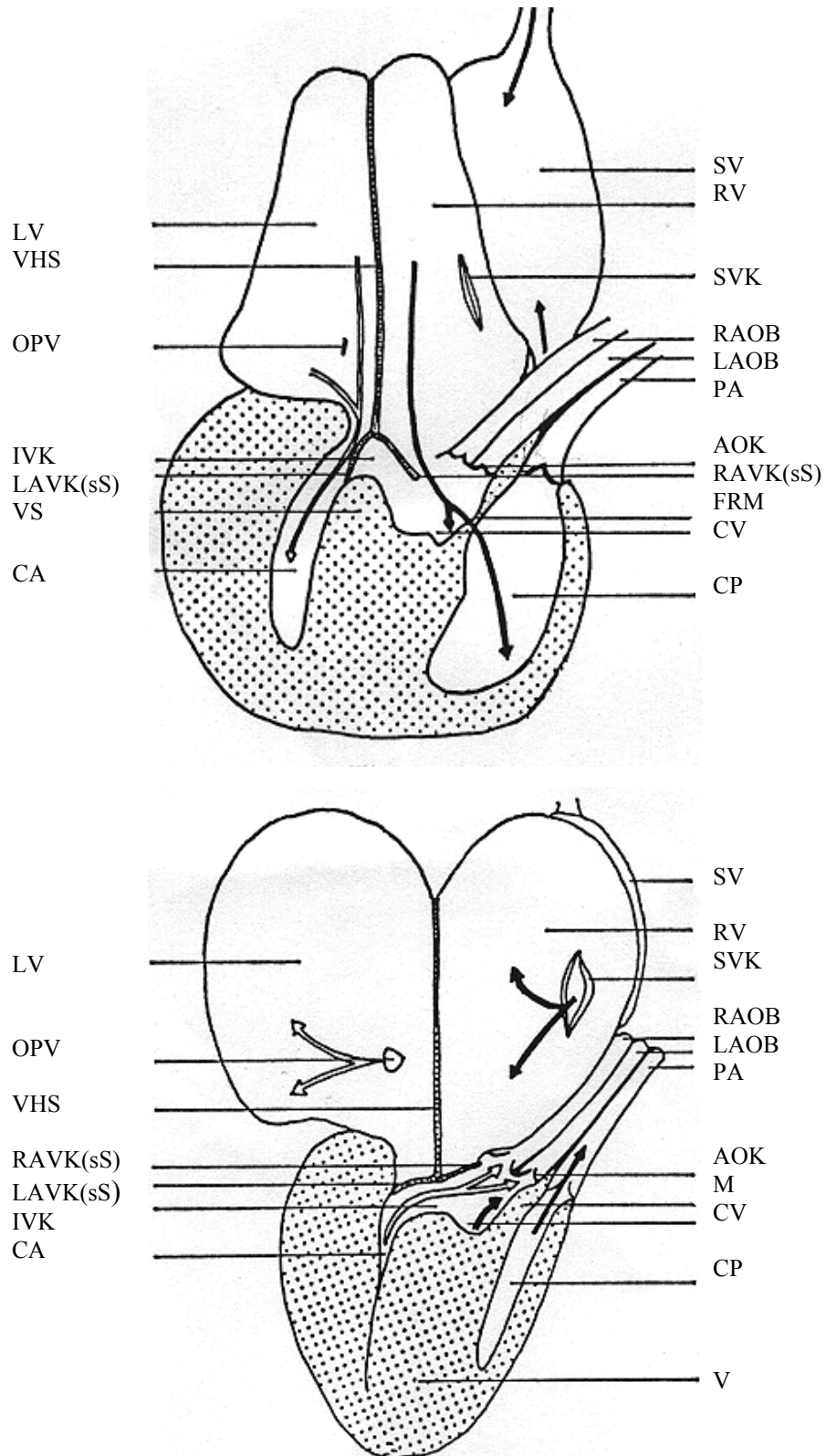
Über den Ursprung der beiden Aortenbögen liegen unterschiedliche Angaben vor. Während Bellairs (1969) als Ursprung beider Aortenbögen die dorsale Kammer angibt, entstammt bei Starck (1982) und Peters (1985) der linke Aortenbogen der ventralen Kammer. Der stärkere rechte Aortenbogen, welcher sauerstoffreicheres Blut enthält, entläßt bei den Pythoniden zwei Karotidenstämme, entweder separiert oder aus einer gemeinsamen Wurzel entspringend

(Bellairs 1969). Bei den meisten höher entwickelten Schlangen fehlt die rechte Karotis (Marcus 1981; Bellairs 1969). Die aus der Vereinigung der beiden Aortenbögen hervorgehende Aorta dorsalis gibt paarige dorsale, laterale und unpaarige ventrale Arterien ab. Die auf der Ventralfläche der Leber verlaufende Vena cava caudalis führt das venöse Blut aus dem mittleren und hinteren Körperbereich einschließlich der Leber- und Nierenfortadersysteme. Sie vereinigt sich vor ihrem Eintritt in den rechten Vorhof mit den beiden vorderen Hohlvenen (Oldham et al. 1970; Peters 1985). Nur die Vena cava cranialis dextra bekommt noch von der vorderen und hinteren Vena azygos Blut zugeführt, ansonsten sind die Zuflüsse beiderseits gleich (Oldham et al. 1970).

Auch Mader (1996) beschreibt das Schlangengerz als dreikammerig, welches ein vollständiges atriales Septum und einen interventrikulären Kanal besitzt, der die beiden Ventrikelhälften verbindet. Trotz des Kanales besteht dennoch eine funktionelle Trennung beider Ventrikelhälften. Zwei Aorten verlassen den Ventrikel, wobei die rechte aus dem linken Teil und die linke aus dem rechten Teil hervorgeht. Die beiden Aorten verschmelzen kaudal des Herzens zur abdominalen Arterie. Vor dem Herzen entlang der Trachea befinden sich weiterhin paarig angelegte Karotiden und Jugularvenen. Außerdem besitzen Schlangen ein Leber- und ein Nierenfortadersystem (Mader 1996).

Nach Chiodini et al. (1982) besteht das Herz der Schlangen aus einem venösen Sinus, rechtem und linkem Atrium, sowie einem einzigen Ventrikel, den er als am deutlichsten ausgeprägten Teil des Herzens bezeichnet.

Die ausführlichsten Untersuchungen über die Anatomie und den Blutfluß durch das Schlangengerz stammen von Webb, Heatwole und De Bavay (1971). Sie zeigen die grundlegenden Unterschiede zwischen Reptilien- und Säugerherz auf. Das Verständnis dieser andersartigen Anatomie und Hämodynamik ist für das Nachvollziehen sonographischer Befunde von größter Wichtigkeit.



**Abb.5:** aus: Comparative Cardiac Anatomy of the Reptilia: The Chambers and Septa of the Varanid Ventricle, Webb G, Heatwole H, De Bevaly J, J Morph 1971;134:335-350.  
 Schematischer Längsschnitt durch das Schlangenherz im Bereich der Vorkammern, Kammern und großen Gefäße während Diastole (links) und Systole (rechts).  
 LV=Linker Vorhof; VHS=Vorhofseptum; OPV=Ostium der Pulmonalvene; IVK=Interatrialärer Kanal; L/RAVK(SS)= Linke/Rechte Atrioventrikularklappe (septales Segel); VS= Vertikales Septum; CA= Cavum arteriosum; SV= Sinus venosus; RV= Rechter Vorhof; SVK= Sinus-venosus-Klappe; R/LAOB= Rechter/Linker Aortenbogen; PA= Pulmonalarterie; AOK= Aortenklappe; M= Muskelleiste; FRM= Freier Rand der Muskelleiste; CV= Cavum venosum; CP= Cavum pulmonale; V= Ventrikel

Das Herz von Reptilien besitzt eine typisch konische Form und weist mit seiner Spitze nach kaudal. Venöses Blut aus den beiden großen Hohlvenen des Körpers sammelt sich am Herzen in einer als Sinus venosus bezeichneten Gefäßaussackung, die dem rechten Atrium anliegt. Von dort gelangt das Blut durch eine zweizipflige Klappe in das rechte Atrium. Strömt nun während der ventrikulären Diastole das Blut in den Ventrikel, drückt es zunächst das septale Segel der rechten Atrioventrikularklappe beiseite. Ein wandständiges Segel ist, wenn überhaupt, auf beiden Seiten nur rudimentär vorhanden. Die Beweglichkeit des Segels nach hinten ist eingeschränkt, sodaß der Blutstrom nach hinten und gleichzeitig nach rechts geleitet wird. Das Blut wird durch den als Cavum venosum bezeichneten Teil, der bei dieser Aktion als Kanal fungiert, über den freien Rand eines dicken, muskulären, schräg im Herz verlaufenden Septums, der sogenannten „Muskelleiste“, in das Cavum pulmonale eingespeist, welches auch „geographisch“ als ventrolaterale Kammer bezeichnet wird. Das Innere der ventrikulären Kammern ist strukturell sehr komplex, da zahlreiche muskuläre Trabekel diese schwammähnlich in viele kleine Kammern unterteilen. Bei der folgenden ventrikulären Systole presst sich die Muskelleiste, auch „horizontales Septum“ genannt, auf die ihr gegenüberliegende Bulbuslamelle und verhindert somit den Rückfluß des Blutes, sodaß dieses nun das Herz durch die Klappe der Pulmonalarterie Richtung Lunge verlassen kann. Kehrt das sauerstoffangereicherte Blut zurück, fließt es zunächst durch das Ostium der Pulmonalvene in den linken Vorhof. Während der ventrikulären Diastole drückt das Blut beim Einströmen in den Ventrikel das septale Segel der linken Atrioventrikularklappe gegen das sogenannte vertikale Septum, das zweite interventrikuläre Septum neben der Muskelleiste. Es besteht aus einer Gruppe kollektiv aneinandergelagerter, muskulärer Trabekel und ist bei Pythons deutlich ausgebildet. Dabei wird die Verbindung zwischen Cavum arteriosum und Cavum venosum, von White (1959) als interventrikulärer Kanal bezeichnet, geschlossen, sodaß ohne eine Vermischung von arteriellem und venösem Blut das Cavum arteriosum gefüllt wird. Von hier gelangt es bei der ventrikulären Systole durch den sich nun wieder öffnenden interventrikulären Kanal und durch das Cavum venosum an den Aortenklappen vorbei in die linke und rechte Aorta. Die Aortenklappen liegen auf der Höhe der Ostia aortae und können schräg zur longitudinalen Achse der Aorten liegen. Bei Überfüllung des Cavum pulmonale oder bei zu früh einsetzender Systole können in Ausnahmefällen Reste venösen Blutes im Cavum venosum verbleiben und so zusammen mit dem arteriellen Blut aus dem Cavum arteriosum in die Aorten gelangen. Cavum arteriosum und venosum werden zusammen auch als Cavum laterodorsale bezeichnet.



Der zeitliche Ablauf der Herzaktion ist sehr komplex. Es gibt jedoch bei allen bisher untersuchten Reptiliengruppen Beweise dafür, daß der systolische Druckvorgang im Bereich des Lungenkreislaufes der Systole des systemischen Kreislaufes vorausgeht (*Echsen: White 1968; Schlangen: Johansen 1959; Schildkröten: White und Ross 1966; Krokodile: Greenfield und Morrow 1961; White 1969*).

### 2.2.3 Leber und Gallenblase

Die Leber der Schlangen ist walzenförmig mit dorsal und ventral je einer großen Vene, sie zieht kaudal des Herzens bis etwa zur Rumpfmittle. Die Gallenblase ist nach kaudal separiert (*Schildger et al. 1996*).

Die Leber liegt mit ihrem Hauptanteil auf der rechten Körperseite. An ihrer Dorsalfläche zieht der Ductus hepaticus entlang, vereinigt sich mit dem Ductus cysticus von der Gallenblase zum gemeinsamen Ductus choledochus und führt, durch das Pankreas verlaufend und den Ductus pancreaticus aufnehmend, in das Duodenum (*Bellairs 1969; Oldham et al. 1970*).

Keil (1990) findet bei ihren Untersuchungen die Leber bei *Python regius* bei 35-58 Prozent der Schnauzen-Kloakenlänge, die Trias aus Gallenblase, Milz und Pankreas bei 61-67 Prozent. Im Vergleich dazu liegt die Leber bei der Abgottschlange bei 30-56 % SKL, beim Tigerpython bei 25,5-55 % SKL und bei der Kornnatter bei 28-58 % SKL.

Die Leber beschreiben Chiodini et al. (1982) als das größte Organ der Körperhöhle. Sie ist spindelförmig, an den Enden spitz zulaufend und von dunkelroter bis brauner Farbe. Sie liegt zwischen Herz und Magen. Ihre Dorsalfläche steht in engem Kontakt mit der Lunge. Die Gallenblase, ein runder, grünblauer Sack, befindet sich kaudal der Leber und direkt kranial von Milz und Pankreas.

Die Gallenblase grenzt an den Magenpylorus an, eine kurze Strecke kaudal des hinteren Poles der verlängerten, spindelförmigen Leber. Die Position der Leber bei Boiden ist zwischen ca. 33 und 56 Prozent der Schnauzen-Kloakenlänge angegeben (*McCracken 1999*).

Die Leber besitzt ein Pfortadersystem (*Oldham et al. 1970; Peters 1985; Mader 1996*).

## 2.2.4 Milz und Pankreas

Von den drei entodermalen Pankreasanlagen entwickelt sich die dorsale bei allen Reptilien, die ventralen variieren im Vorkommen in allen Kombinationen (*Miller und Lagios 1970*). Wie auch bei Underwood (*1967*) werden zur Topographie des Pankreas folgende Angaben gemacht: Dieses oft pyramidenförmige Organ liegt am ersten Duodenalabschnitt hinter der Milz, mit der es verwachsen sein kann, in gleicher Höhe oder kaudal der Gallenblase, fast immer kaudal der Leberspitze.

Pankreas und Milz, in einigen Spezies zu einem Splenopankreas verschmolzen, bilden normalerweise zusammen mit der Gallenblase eine eng formierte Organtrias (*McCracken 1999*).

Bei dem Königspython liegt die Milz kranial der Gallenblase. Ihr liegt ein kleiner Teil des Pankreas an, der auch als juxtalialer Körper bezeichnet wird. Er entspricht der dorsalen Anlage. Von ihm zieht eine schmale Brücke, den Ductus Santorini enthaltend, nach kaudal zu einem vorgelagerten, kleinen Lappen und mündet in das Duodenum. Der Rest des Pankreas, der die ventrale Anlage repräsentiert, besteht aus einer Anzahl blättchenartiger Läppchen mit mehreren Öffnungen in das Duodenum (*Moscona 1990*).

Die Organtrias aus Milz, Pankreas und Gallenblase liegt, wie schon oben erwähnt, nach Keil (*1990*) beim Königspython bei 61-67 Prozent der Schnauzen-Kloakenlänge, bei der Abgottschlange bei 54-70,5 % SKL, beim Tigerpython bei 58-69 % SKL und bei der Kornnatter bei 56-68 % SKL.

## 2.2.5 Gonaden, Nieren und Nebennieren

Rechte Gonade, linke Gonade, rechte Niere und linke Niere sind in dieser Reihenfolge von kranial nach kaudal angelegt und weisen verschiedene Grade der Überlappung auf. Die Größe der Gonaden variiert saisonal. Die Infundibula der Eileiter öffnen sich direkt kraniallateral zum vorderen Pol ihres zugehörigen Ovars. Die rosafarbenen, fadenförmigen Nebennieren liegen direkt mesial ihrer respektiven Gonaden, eingebettet in deren Gekröse. Werte für die Lage von Gonaden und Nieren bei Boiden lauten wie folgt: rechtes Ovar 67-74 % SKL, rechter Hoden 71-75 % SKL, linkes Ovar 74-79 % SKL, linker Hoden 77-80 % SKL, rechte Niere 78-82 % SKL und linke Niere 82-85,5 % SKL (*McCracken 1999*).

Die länglichen Nieren besitzen eine abgeflachte Form und bestehen aus 25-30 Lobuli (*Oldham et al. 1970*). Sie liegen an der dorsalen Körperwand, wobei regelmäßig die rechte Niere weiter kranial liegt. Die Nierenlänge kann nach *Bellairs (1969)* 10-15 Prozent der Kopf-Rumpflänge betragen. Die auf der medialen Seite der Nieren entlanglaufenden Ureteren münden ohne Harnblase in das Urodaeum.

In der Nähe der Nieren im kaudalen Abdomen liegen bei beiden Geschlechtern die Gonaden, wobei auch bei diesen das rechte Organ weiter kranial liegt (*Bellairs 1969*). Die Größe der Gonaden unterliegen zyklischen Veränderungen (*Peters 1985*), wobei sie nach *Porter (1972)* und *Peters (1985)* im inaktiven Zustand lymphgefüllte Hohlräume besitzen. Bei beiden Geschlechtern liegen die langgestreckten Nebennieren in unmittelbarer Nähe der Gonaden leicht kaudal versetzt im Mesovarium bzw. Mesorchium (*Oldham et al. 1970*).

Während *Oldham et al. (1970)* und *Chiodini et al. (1982)* das Fehlen des Nebenhodens bei Schlangen beschreiben, bezeichnen andere Autoren den ersten, oft stark gewundenen Teil des am Hoden entlangziehenden Kanals als Epididymis, der in das Vas deferens übergeht und gemeinsam mit dem jeweiligen Ureter auf der Papilla urogenitalis in das Urodaeum mündet (*Bellairs 1969; Peters 1985*). Beim weiblichen Tier endet jeder Eileiter, deren kaudaler Teil auch als Uterus bezeichnet wird, einzeln in das Urodaeum (*Oldham et al. 1970; Peters 1985*). *Chiodini et al. (1982)* beschreiben die Nieren als paarige, gelappte, dunkelrote bis braune Organe, die sich im kaudalen Abschnitt des Abdomens befinden, wobei die rechte Niere länger als die linke ist und weiter kranial liegt. Die paarigen, gelb bis rosagräulichen Gonaden liegen medial der Nieren jeweils links und rechts der Vena cava und sind durch ihr Gekröse (Mesorchium oder Mesovarium) mit den Nieren verbunden. Die Ovarien werden als hohl und viellappig beschrieben.

Weiterhin werden die Nebennieren als paarige, hellgelbe bis rote, fadenförmige Organe beschrieben, die kaudomedial der Gonaden im Mesorchium oder Mesovarium eingebettet vorgefunden werden. *Keil (1990)* gibt für die Nieren und Gonaden beim Königspython folgende Organausdehnungen an:

Ovarien 63-79 % SKL, Hoden 63-74 % SKL, Nieren 69-85 % SKL.

Vergleichend dazu die Werte bei der Abgottschlange:

Ovarien 57-77 % SKL, Hoden 62-74 % SKL, Nieren 68-84,5 % SKL;

dem Tigerpython:

Ovarien 64-76 % SKL, Hoden 60-75 % SKL, Nieren 68-85 % SKL;

und der Kornnatter:

Ovarien 62-88 % SKL, Hoden 65-83 % SKL, Nieren 81-98 % SKL.

## 2.2.6 Magen-Darmtrakt

Der gastrointestinale Trakt der Schlangen ist geradlinig angelegt, mit einer leichten, ziehharmonikaförmigen Schlingenbildung im Bereich des Dünndarms. Bei Boiden existiert ein Zaekum auf etwa halber bis dreiviertel der Distanz zwischen Magenpylorus und Kloake (*McCracken 1999*).

Der in Längsfalten gelegte Oesophagus liegt links dorsal der Trachea. In Höhe des letzten Viertels der Leber mündet der Oesophagus in den spindelförmigen Magen (*Oldham et al. 1970*), dessen zwei Anteile, Korpus ventriculi und Pars pylorica, artabhängig mehr oder weniger deutlich unterschieden werden können. Auch er enthält ausgedehnte Längsfalten zur Oberflächenvergrößerung (*Davies 1981*). Der ähnlich wie bei Säugetieren stärker in Schlingen gelegte Dünndarm hat einen gleichbleibenden Durchmesser und mündet in den weitlumigen, ziemlich gerade verlaufenden Dickdarm. Am Übergang liegt die Valvula ileocolica (*Porter 1972*). Ein Blinddarm ist bei vielen Reptilien in verschiedener Ausprägung vorhanden (*Porter 1972; Peters 1985*). Das Ende des kurzen Verdauungstraktes stellt die Kloake dar, die aus Kopro-, Uro- und Proktodaeum besteht (*Davies 1981*).

## 2.2.7 Fettkörper

Körperhöhlenfett ist in viele getrennte Portionen aufgeteilt, die in einer Kette aneinandergereiht ventral aller Organe liegen und vom Mesenterium umhüllt sind. Diese Kette von aufgereihten Fettdepots beginnt bei den meisten Spezies zwischen dem kaudalen Pol der Leber und der Gallenblase und erstreckt sich bis zur Kloake. Bei gutgenährten Tieren existiert auch ein kleines Fettdepot direkt kranial des Herzens (*McCracken 1999*).

Schildger et al. (1996) schreiben hierzu: Reptilien speichern Fett nicht im Unterhautgewebe, sondern in den paarigen Fettkörpern. Bei Schlangen können die gesamten Leibeshöhlenorgane von einer Fettkörpermanschette umgeben sein.

## 2.2.8 Schilddrüse, Nebenschilddrüsen und Thymus

Die Schilddrüse befindet sich direkt vor dem Herzen, mit dazu kranial gelegenen paarigen Nebenschilddrüsen und dem Thymus. Bei gutgenährten Schlangen liegen diese Strukturen in einem Fettdepot eingebettet. Der Thymus bildet sich nicht, wie bei höheren Vertebraten, mit Erreichen der Geschlechtsreife zurück (*McCracken 1999*).

Die zwei normalerweise asymmetrischen Lappen der Thymusdrüse liegen kranial der Schilddrüse neben der Trachea. Einige Arten besitzen nur einen einlappigen Thymus (*Chiodini et al. 1982*).

Mader (*1996*) erwähnt zusätzlich, daß die Schilddrüse paarig und unpaarig vorkommen kann, und daß die Nebenschilddrüsen häufig in das Thymusgewebe eingebettet sind.

## **2.3 Ultraschalluntersuchungen bei Reptilien**

### **2.3.1 Allgemein**

Der Wert der Ultraschalldiagnostik als unschädliche, nichtinvasive Methode zur Beurteilung von Organinnenstrukturen und zur Kontrolle dynamischer Vorgänge wurde auch für den Bereich der Reptilien erkannt und führte zu einigen Publikationen über verschiedene Einsatzmöglichkeiten bei unterschiedlichen Spezies. Diese befassen sich vor allem mit Graviditäts- und Ovarialdiagnostik bei Schlangen (*Spörle et al. 1991*), Echsen (*Schildger et al. 1993*) und Schildkröten (*Kuchling 1989; Rostal et al. 1990; Kuchling und Bradshaw 1993; Rostal et al. 1994; Casares 1995*), Bauchhöhlenorganuntersuchungen beim Steppenwaran (*Sainsbury und Gili 1991*) und bei der Abgottschlange (*Isaza 1993*), sowie Herzuntersuchungen beim Tigerpython (*Snyder et al. 1999*) und beim Teppichpython (*Rishniw und Carmel 1999*) und Leberbiopsien unter Ultraschallkontrolle bei Schlangen (*Isaza 1993*). Umfangreichere, grundlegende Untersuchungen über den Gebrauch von Ultraschall bei Reptilien stammen von Kramer und Gerwing (*1991*), Schildger et al. (*1994;1996*) und Tenhu et al. (*1995 a und b*).

Die angewandten Techniken unterscheiden sich je nach untersuchter Tierart, aber auch in der unterschiedlichen Herangehensweise des Untersuchenden. Die Untersucher arbeiten teils an narkotisierten Tieren, teils beschränken sie sich auf eine manuelle Restriktion. In den meisten Fällen benutzen sie ein Kopplungsgel, Snyder et al. (*1999*) schallen die Tiere im Wasserbad. Vorlaufstrecken werden bei Tieren mit geringem Durchmesser empfohlen, ohne diese genauer zu quantifizieren. Die verwendeten Schallköpfe sind 5 Mhz- und 7,5 Mhz- Schallköpfe. Schildger et al. (*1996*) verwenden bei Ultraschalluntersuchungen an Schlangen 7,5 Mhz Linear und 5 Mhz Konvex-Scanner, Spörle et al. (*1991*) und Isaza (*1993*) verwenden ausschließlich Real-time-Linearscanner. Lediglich Snyder et al. (*1999*) setzen bei der Herzuntersuchung einen mechanischen Sektorschallkopf mit einer frame rate von 35 – 40 frames/s ein.

Die üblichen Dokumentationsmedien sind Videoprinter, Videorekorder und Multiformatkamera.

Die Verifizierung der Ergebnisse erfolgt im Allgemeinen durch endoskopische und histologische Untersuchungen bzw. durch Sektionen. Im Falle des Herzultraschalls wird von

Snyder et al. (1999) intravenös applizierte Kochsalzlösung zur Identifikation von rechtem Atrium, Cavum pulmonale und Pulmonalarterie verwendet.

### 2.3.2 Herz

Im Ultraschallbild ist Herzmuskulatur von mittlerer Echogenität und der Kammerinhalt als reflexfreie Flüssigkeit zu erkennen. Die Herzklappen sind in Aktion leicht als schlagende, stark reflexreiche Bänder zu erkennen. Die Vorkammern stellen sich mit echolosem Inhalt dar und sind teilweise von den großen Gefäßen im Schnitt überlagert. Pathologische Befunde, die sonographisch erkennbar sind, sind Herzbeutelergüsse, granulomatöse Veränderungen und Harnsäureablagerungen (*Schildger et al. 1996*).

Isaza (1993) identifiziert das Herz und seine Kontraktionsbewegungen leicht im kranialen Drittel des Körpers. In Querschnitten stellt sich der Ventrikel rund und zentral in der Körperhöhle gelegen dar. Eine detaillierte Beschreibung der Herzanatomie und des kardialen Blutflusses werden von ihm in dieser Untersuchung nicht angestrebt.

Snyder et al. (1999) beschreibt seine Ergebnisse des Herzultraschalls beim Tigerpython wie folgt:

Die beste Darstellung der großen Gefäße, der Kammern, der Septen und der Klappen gelingt beim Schallen in der sagittalen Ebene. Von der rechten, lateralen, sagittalen Schallkopfposition aus kann man die Vena cava caudalis durch die Sinus-venosus-Klappe in das rechte Atrium einmünden sehen. Die Pulmonalarterie überlagert den rechten Vorhof. Weiter medial stellt sich das Cavum pulmonale mit der aus ihm hervorgehenden Pulmonalarterie dar. Linker Aortenbogen und Cavum venosum sind von der Pulmonalarterie und dem Cavum pulmonale durch das horizontale Septum getrennt. Der linke Aortenbogen verläßt das Cavum venosum, die zugehörigen Aortenklappen sind darstellbar.

Obwohl das Cavum pulmonale sich weiter nach apikal erstreckt als das Cavum venosum, kann dies echokardiographisch aufgrund der ausgeprägten trabekulären Natur des Ventrikels beim Python nicht nachvollzogen werden. Wegen seiner dorsal am linken Aortenbogen anliegenden Position kann der rechte Aortenbogen in seiner Längsachse nicht dargestellt werden, wenn Pulmonalarterie und linker Aortenbogen aneinanderliegend vorgefunden werden bzw. deren Klappensegel im Sagittalschnitt sichtbar sind.

Die transversale Schnittebene eignet sich am Besten zur Darstellung des ventrikulären Trabekelsystems und des horizontalen Septums. Man findet es, indem man von der Herzspitze

in transversalen Ebenen Richtung Herzbasis vorgeht. Es ist ein kommaförmiges, unvollständiges Septum das das Cavum arteriosum und das Cavum venosum vom Cavum pulmonale trennt.

Weiter kranial ist die anatomische Anordnung der beiden Aortenbögen und der Pulmonalarterie an der Herzbasis sichtbar.

Die kraniale Hohlvene, der linke Vorhof, das vertikale Septum und die kleinen Pulmonalvenen können nicht immer beobachtet werden.

Sonographische Orientierungspunkte sind die kaudale Hohlvene an ihrem Eintritt in den rechten Vorhof durch die Sinus-venosus-Klappe in der Sagittalebene und die Positionen der Aortenbögen und der Pulmonalarterie in der Transversalebene.

Als Artefakte tauchen bei allen untersuchten Schlangen während des Ultraschalls intraatrial und in der Arteria pulmonalis sogenannte „spontane Kontraste“ oder als „Rauschen“ bezeichnete Phänomene als Zeichen von Blutstromwirbeln auf.

### 2.3.3 Leber und Gallenblase

Die Leber der Schlangen ist walzenförmig mit dorsal und ventral je einer Vene und zieht kaudal des Herzens bis etwa zur Rumpfmittle. Die Gallenblase ist nach kaudal separiert. Sonographisch ist die Leber ein echoarmes, homogenes Organ mit echolosen Gefäßen, deren Wände echoreich (V. portae) oder echoarm (Lebervenen) sind. Das Gallenblasenlumen ist reflexfrei, die Wand meist nicht oder nur als angedeutete Reflexstreifen darstellbar. Das Parenchym der Leber ist meist mit kleinen, punktförmigen Echos (Gefäße) durchsetzt. Im Vergleich zum Fettkörper erscheint die Leber physiologischerweise echoärmer und ohne Septierung. Die große zum Herz führende Lebervene sowie die große, zur Leber führende abdominale Körpervene sind echofrei und gut darstellbar. Dorsal der Leber ist bei Schlangen die Aorta zu erkennen (echoreiche Grenzen, Pulsation). Pathologische Befunde können durch reflexreichere und –ärmere, einzelne, disseminierte lokale oder generelle Veränderungen des Leberparenchyms imponieren. Die Größe der nachweisbaren Veränderungen hängt in erster Linie von den verwendeten Scannern (hohe Frequenz = hohe Auflösung) ab. So sind Granulome und Abszesse meist lokale homogene bis inhomogene reflexreiche oder –arme Strukturen. Tumoren können lokale, aber auch generelle (Gallengangskarzinome) Veränderungen im Ultraschallbild hervorrufen. Im letzteren Fall ist lediglich die Organvergrößerung verifiziert worden. Leberzysten stellen sich als reflexfreie, meist kugelige Gebilde dar. Disseminierte, lokale, punkt- oder streifenförmige Erhöhungen der Echogenität



sind in Fällen von Gicht mit Ablagerungen von Harnsäure im Leberparenchym nachweisbar. Eine homogene Erhöhung der Echogenität des Leberparenchyms ist in Fällen von Leberverfettung bzw. fettiger Degeneration (Fettleber) zu verifizieren. Vergleichsorgane für die Beurteilung der Echogenität sind die Fettkörper. Veränderungen der Gallenblase imponieren durch reflexreiche Strukturen unterschiedlicher Größe. Steine produzieren ab einer Größe von 3 mm einen distalen Schallschatten, während sich Grieß am Boden der Gallenblase verteilt. Die Differenzierung erfolgt durch Kompression der Leibeshöhle oder Rotation des Patienten mit aufgelegtem Transducer (Schneegestöber, rollender Stein) (Schildger et al. 1996).

Isaza et al. (1993) beschreiben die Leber der Abgottschlange sonographisch als einheitlich heteroechoisches, spindelförmiges Organ, welches sich mit seinem Hauptanteil auf der rechten Seite der Körperhöhle befindet. Zentral entlang der gesamten Länge der Leber befinden sich die kaudale Hohlvene auf der ventralen und die Leberfortader auf der dorsalen Oberfläche. Etwas kaudal von Leber und Magen sind Gallenblase, Pankreas und ein Fettkörper zusammenliegend angeordnet. Die Gallenblase ist auf der rechten Seite als eine ovale, echolose Struktur mit hyperechoischer Wand identifizierbar.

Spörle et al. (1991) verwenden die nach ihren Untersuchungen stets gut darstellbare Gallenblase als Orientierung zum Auffinden der Ovarien.

#### 2.3.4 Milz und Pankreas

Isaza et al. (1993) weisen bisher als Einzige bei einer Schlangenart das Pankreas sonographisch nach und beschreiben es für die *Boa constrictor* als links der Gallenblase gelegene Struktur, welche sich leicht nach links der Medianen ausdehnt. Es ist annähernd dreieckig geformt und im Vergleich zum darübergelegenen, hyperechoischen Fettkörper hypoechoisch. Es enthält multiple innere Echos.

Bei allen anderen Autoren wird das Pankreas als nicht darstellbar beschrieben. Gleiches gilt ohne Ausnahme für die Milz.

### 2.3.5 Gonaden

Der sonographische Nachweis inaktiver Gonaden ist bisher nicht sicher gelungen. Schildger et al. (1996) finden in ihrem Untersuchungsgut lediglich bei einigen Echsen- und Schildkrötenarten in sehr wenigen Fällen die Hoden als homogene Strukturen mittlerer Echogenität. Die ovoide Form großer, aktiver Hoden läßt sich gegen die Umgebung abgrenzen. Ovarien werden als sicher darstellbar beschrieben, sobald ein Follikeldurchmesser von 1,5 mm erreicht ist (scannerabhängig). Die reflexfreien, runden Follikel sind traubenförmig oder linear angeordnet und können gleiche oder unterschiedliche Größe aufweisen. Atretische Follikel weisen meist inhomogene Echogenitäten von echoreich bis echoarm in unregelmäßigem Muster auf. Eier stellen sich im Ultraschallbild mit je nach Verkalkungsgrad unterschiedlich starker, reflexreicher Schale, reflexfreiem bis -armem Eiklar und mittlerer Reflexdichte des Dotters dar. Bei Schlangen ist der Eihalt im Ultraschallbild oft scheinbar halbiert, oben Eiklar, unten Dotter.

Der Nachweis von Follikeln oder Eiern kann auch bei monomorphen Arten zur Geschlechtsbestimmung dienen.

Schildger et al. (2000) finden bei Untersuchungen verschiedener Reptilienarten, daß die Sonographie in den allermeisten Fällen die sichere Darstellung von prävitellogenen und vitellogenen Follikeln, Eiern (verkalkte und unverkalkte Schale) und Embryonen beziehungsweise Feten erlaubt. Die sichere Darstellung von Hoden gelingt selten. Die Anwendung der Sonographie und die Interpretation der zweidimensionalen Bilder erfordern, auch wegen häufiger Artefakte, ein hohes Maß an Erfahrung. Der sonographische Nachweis juveniler gonadaler Strukturen ist (derzeit) nicht möglich.

Prävitellogene Follikel stellen sich sonographisch als traubenförmig, in Körperlängsrichtung angeordnete, anechogene, runde Gebilde dar. Sie sind bei Schlangen, geräteabhängig, ab einem Durchmesser von 1 mm nachweisbar. Vitellogene Follikel sind im sonographischen Bild von vergleichbarer Form, variabler Größe aber hypoechogen (Casares et al. 1997; Kuchling 1989; Penninck et al. 1991; Rostal et al. 1994; Schildger et al. 1996; Spörle et al. 1991; Tenhu et al. 1995 a und b). Feten viviparer Arten sind durch die segmental angeordneten hyperechogenen Reflexe der einzelnen Wirbel gekennzeichnet. Die aufgeringelte Anordnung ist dabei für vitale Feten charakteristisch. Tote Feten gehen in gestreckte Form über (Spörle et al. 1991). Bei größeren Arten ist die fetale Herzaktion sonographisch nachweisbar.

Der sonographische Nachweis von Hoden bei Schlangen ist nicht beschrieben.

Spörle et al. (1991) beschreiben die Graviditätsdiagnostik und die Beurteilung des Ovarialstatus bei weiblichen Schlangen als für den Praktiker leicht erlernbar. Es wird auf die Wichtigkeit einer solchen Untersuchung bei Symptomen wie Inappetenz, Apathie oder Unruhe zur Abklärung einer möglicherweise ursächlichen Gravidität hingewiesen. Zum anderen läßt sich der Graviditätsverlauf sonographisch kontrollieren und bei ovoviviparen Arten zusätzlich Entwicklungsgrad und Vitalität der Feten. Diagnosen wie Gravidität und Legenot sind sicher stellbar. Weiterhin können dem Züchter wertvolle Hinweise auf Paarungszeitpunkt und Paarungserfolg gegeben werden. Der sonographische Befund eines weiblichen Königspythons wird wie folgt beschrieben:

Die sonographische Untersuchung ergab einzelne, aufgereihte, von kranial nach kaudal kleiner werdende, nahezu echofreie, kugelige homogene Strukturen ohne erkennbare äußere Begrenzung. Sie liegen auf beiden Seiten paramedian etwa 5 cm kaudal der Gallenblase. Der Durchmesser der Gebilde nahm von etwa 1,5 cm (kranial) auf etwa 0,4 cm (kaudal) ab. Im Abstand von einigen Tagen durchgeführte Kontrollsonographien ergaben eine Zunahme der Gebilde an Zahl und Größe. Aufgrund dieser Befunde wurden sie als Follikel in Ausbildung bestimmt. Die nach etwa einem halben Jahr erneut durchgeführte Kontrolle zeigte Größenabnahme und Auseinanderrücken der Follikel.

Isaza et al. (1993) beschreiben in ihrer Untersuchung die Reproduktionsorgane der Abgottschlange als nicht sonographisch darstellbar.

### 2.3.6 Nieren

Schildger et al. (1996) beschreiben die Nieren im Ultraschallbild als bohnenförmige Gebilde, echoreicher als die Fettkörper mit deutlich körniger Struktur. Das gezeigte Ultraschallbild einer Niere (längs) beim Tigerpython zeigt ein unregelmäßiges, reflexarmes bzw. -reiches Erscheinungsbild ohne Schichtung, durchzogen von starken Gefäßbändern der Nierengefäße. Als nachgewiesene pathologische Befunde werden Tumoren (Adenom) mit Organvergrößerung und deutlich erhöhter, lokaler Echogenität durch Harnsäureablagerungen sowie Nierengicht aufgeführt.

Isaza et al. (1993) können die Nieren im kaudalen Drittel der Körperhöhle dorsolateral des Dickdarms regelmäßig nachweisen. Sie werden als hypoechoisch im Vergleich zum Fettkörper beschrieben. Häufig wird die Beurteilung der Nieren durch Faezes und Gas im Kolon behindert. Ihre Lage kann durch den Druck des Schallkopfes auf die Körperwand leicht nach ventral verändert sein.

### 2.3.7 Magen-Darmtrakt

Das sonographische Bild des Magen-Darmtraktes kann abhängig von dessen Füllungszustand, der Dichte seines Inhaltes und eventuell vorhandenem Gas (Totalreflexion) sehr variabel sein, schreiben Schildger et al. (1996). Magen und Darmwand sind im Regelfall als echoreiche bzw. echoarme Linien darstellbar, wobei die einzelnen Schichten nur bei größeren Tieren zu verifizieren sind. Der Darminhalt erscheint meist als echoreicher Reflex, sofern Flüssigkeitsanteile vorhanden sind auch echoarm.

Isaza et al. (1993) finden den Magen beginnend am kaudalen Drittel der Leber auf der linken Seite der Körperhöhle. Die dicke, hyperechoische Wand wird als sonographisch leicht identifizierbar beschrieben, wobei die Qualität der Bilder wegen Ingesta und Gas als schlecht bezeichnet wird. Dasselbe Problem besteht bei der Bildqualität von Aufnahmen des Dün- und Dickdarms.

### 2.3.8 Fettkörper

Im Ultraschallbild erscheinen bei Schildger et al. (1996) die Fettkörper als homogen, reflexreicher als die normale Leber, mit körniger Innenstruktur und hyperechoischen Septierungen, die als organtypisch bezeichnet werden. Sie dienen dem Untersucher als Vergleichsorgane für die Echogenität anderer Organe.

Auch Isaza et al. (1993) verwenden die Fettkörper als Vergleichsorgan zur Beschreibung der Echogenität von z.B. Leber oder Nieren, charakterisieren sie jedoch nicht näher.

### 2.3.9 Nebennieren, Schilddrüse, Nebenschilddrüsen und Thymus

Einheitlich werden in allen bisher veröffentlichten Untersuchungen Nebennieren, Schilddrüse, Nebenschilddrüsen und Thymus als sonographisch nicht darstellbar beschrieben oder gar nicht erwähnt.

## **2.4 Blutchemie**

### **2.4.1 Blutentnahmetechnik, Blutmengen, Probenaufbewahrung und –aufbereitung**

Lammerschmidt (1995) befaßt sich in seinen Untersuchungen zur Blutentnahmetechnik und Referenzwertbestimmung blutchemischer Parameter bei gesunden Riesenschlangen ausführlich mit den bis dahin üblichen Methoden der Blutentnahme. Er wendet die von Bush und Smeller (1978) und von Samour et al. (1984) beschriebene Methode in leicht modifizierter Form an. Hierbei wird ohne medikamentelle Ruhigstellung das Tier in Rückenlage fixiert. Nach vorhergehender Desinfektion mit Alkohol (60%) wird aus der ventralen Schwanzvene (*Vena coccygealis ventralis*) mit einer großlumigen, mit Lithium-Heparinlösung durchspülten Kanüle ( $\varnothing$  1,1 – 1,8 mm/ 19 – 15 gauge) ein ausreichendes Probevolumen gewonnen. Lammerschmidt beschreibt diese Methode als einfach und sicher, solange der Einstich bei männlichen Schlangen genügend weit kaudal der Hemipenistaschen erfolgt, die beim männlichen Königpython etwa bis zum Ende der proximalen Schwanzhälfte reichen können. Das Blut wird frei fließend in Lithium-Heparinröhrchen (4,0 ml, 15 I.E./ml) aufgefangen, wobei der erste Tropfen verworfen wird, um Verfälschungen der Ergebnisse durch das Lithium-Heparin in der Kanüle zu vermeiden. Anschließend wird nach Entfernen der Kanüle die Stichstelle mit einem sterilen Tupfer komprimiert.

Beim Königpython wird die Menge von 3 ml Blut als ausreichend und schadlos entnehmbar bezeichnet. Lammerschmidt verwendet nur ungeronnenes, adspektorisch unverändertes Blut für seine Analysen. Dieses wird sofort bis spätestens 2 Stunden nach der Entnahme 5 Minuten lang bei 4000 Umdrehungen/min zentrifugiert und der Plasmaüberstand in naß- und trockenchemischen Verfahren untersucht.

## 2.4.2 Blutchemische Untersuchungen

Die folgenden blutchemischen Referenzbereiche für Pythons sind mit freundlicher Genehmigung der Arbeit von Lammerschmidt (1995) entnommen:

	PYTHONS SI-Einheiten (Alte Einheiten)
Natrium (Na <sup>+</sup> )	<b>140,0 – 164,0</b> mmol/l (140,0 – 164,0 mval/l)
Kalium (K <sup>+</sup> )	<b>4,14 – 7,05</b> mmol/l (4,14 – 7,05 mval/l)
Calcium (Ca <sup>2+</sup> )	<b>3,23 – 5,59</b> mmol/l (6,46 – 11,18 mval/l)
Phosphor (anorganisch)	<b>0,96 – 2,25</b> mmol/l (2,97 – 6,97 mg/dl)
Magnesium (Mg <sup>2+</sup> )	<b>1,52 – 2,53</b> mmol/l (3,70 – 6,15 mg/dl)
Chlorid (Cl <sup>-</sup> )	<b>111,00 – 135,0</b> mmol/l (393,5 – 478,6 mg/dl)
Alkalische Phosphatase (AP)	<b>18,7 – 90,5</b> U/l
Aspartat-Aminotransferase (AST/GOT)	<b>1,4 – 10,5</b> U/l
Alanin-Aminotransferase (ALT/GPT)	<b>0,4 – 12,0</b> U/l
Glutamat-Dehydrogenase (GLDH)	<b>0,4 – 21,9</b> U/l
Lactat-Dehydrogenase (LDH)	<b>14,5 – 211,0</b> U/l
Creatinkinase (CK)	<b>21,9 – 649,5</b> U/l
Amylase	<b>1111,5 – 6361,5</b> U/l
Lipase	<b>13,0 – 103,0</b> U/l

Glucose	<b>0,92 – 3,62</b> mmol/l (16,57 – 65,22 mg/dl)
Gesamt-Protein	<b>43,0 – 79,0</b> g/l (4,3 – 7,9 g/dl)
Albumin	<b>21,0 – 32,0</b> g/l (2,1 – 3,2 g/dl)
Globulin	<b>22,0 – 51,0</b> g/l (2,2 – 5,1 g/dl)
Harnstoff (BUN)	<b>0,00 – 0,42</b> mmol/l (0,00 – 2,52 mg/dl)
Harnsäure	<b>101,0 – 644,0</b> µmol/l (1,70 – 10,82 mg/dl)
Creatinin	<b>0,00 – 49,00</b> µmoll (0,00 – 0,55 mg/dl)
Cholesterin	<b>0,89 – 7,24</b> mmol/l (34,41 – 279,93 mg/dl)
Triglyceride	<b>0,00 – 0,15</b> mmol/l (0,00 – 13,13 mg/dl)
Gesamt-Bilirubin	<b>0,00 – 5,00</b> µmol/l (0,00 – 0,29 mg/dl)

## 2.5 Histologie

### 2.5.1 Herz und Gefäße

Das Myokard der Reptilien ist dem anderer Vertebraten vergleichbar, erscheint jedoch im Bereich des ungeteilten Ventrikels relativ gesehen dicker. Dieser Unterschied gilt weniger bei den durch ein Septum geteilten Herzkammern des Krokodilherzens.

Frisch fixierte Herzmuskelfasern zeigen im Longitudinalschnitt eine deutliche Querstreifung. Diese Querstreifen bilden die Äquivalente zu den A, I, H und Z-Banden der Skelettmuskulatur. Transversal zur Längsachse der Muskelfasern gelegene, zwischengeschaltete runde Scheiben, die zu beiden Seiten mit Z-Banden verbunden sind, können vereinzelt beobachtet werden.

Die Zellkerne der Muskelzellen sind zahlreich und innerhalb, sowie meist im axialen Anteil der Fasern zu finden. Ihre Form ist oval bis länglich.

Die Arterien sind meist dickwandig aufgrund ihrer deutlich ausgeprägten Tunica muscularis und fibroelastica. Die Venen sind dünnwandig. Lymphgefäße sind, wie auch bei anderen Vertebraten, sehr dünnwandig und bestehen aus Endothelzellen, welche in ihrem Verlauf röhrenförmig angeordnet sind.

Nervenfasern und Kapillaren können im Bindegewebe des Intermysiums beobachtet werden.

Die relativ avaskulären Atrioventrikularklappensegel sind denen anderer Vertebraten sehr ähnlich. Sie bestehen aus unregelmäßigen, locker angeordneten, teilweise sternförmigen Zellen in einem Stroma aus feinen Kollagenfasern und homogener Grundsubstanz. Die Oberfläche der Segel ist mit dünnem Endothel bedeckt (*Frye 1984*).



## 2.5.2 Leber

Die Reptilienleber, verglichen mit der Leber höherer Vertebraten, ist weniger deutlich in Läppchen unterteilt. Einige Arten zeigen nichtsdestoweniger die klassische Leberläppchenstruktur. Die portalen Bereiche beinhalten Äste der Arteria hepatica, der Portalvene sowie Gallengänge, die von interlobulärem Bindegewebe umgeben sind. Die Zentralvene, wenn vorhanden, liegt im Mittelpunkt des Läppchens, umgeben von Hepatozytenreihen mit polygonalen bis kubischen Zellen, die sich radiär um die Vene anordnen. Sie werden tortenstückartig von endothel ausgekleideten Lebersinusoiden begrenzt. Kleine, dunkelgefärbte Kupffersche Sternzellen liegen innerhalb der Sinusoide und sind meist abgeflacht oder spindelförmig. Bei Reptilienarten mit weniger ausgeprägter Läppchenstruktur der Leber, formieren sich die Hepatozyten zu etwa zwei Zellen breiten, sich verzweigenden Strängen. Zwischen diesen verzweigten Strängen liegen die endothelbegrenzten vaskulären Räume mit den oben erwähnten Kupfferschen Sternzellen. Gallenkanälchen verlaufen in feinem, septenartigen Bindegewebe, welches die Leberzellbalken unterstützt.

Ein besonderes Merkmal der Reptilienleber ist die im Parenchym verteilte, große Menge an eingelagertem Melanin. Das Pigment ist normalerweise in dichten Paketen ohne eine besondere anatomische Struktur zusammengelagert (*Frye 1984*).

## 2.5.3 Gallenblase

Die Gallenblase ist mit einem einfachen mehrreihigen, hochprismatischen Epithel ausgekleidet. Unter der Lamina propria befindet sich die Tunica muscularis aus glatter Muskulatur und bei einigen Arten muzinsezernierende Drüsen. Diese fehlen jedoch bei den meisten Reptilien. Bei den Reptilienarten, bei denen die Gallenblase vom Leberparenchym separiert liegt, ist sie von einer dünnen Serosa umhüllt (*Frye 1984*).

## 2.5.4 Niere

Das typische Nephron bei Reptilien besteht aus einem Glomerulum mit Bowmanscher Membran (parietale und viszerale Oberfläche) und einem glomerulären Kapillarenknäuel, welches Blut aus der afferenten Arteriole erhält, einem kurzen Halsstück, zwei Anteilen des proximalen Tubulus contortus, dem distalen Tubulus contortus und Sammelrohren, die in einen ureterartigen, mesonephrischen Gang münden. Eine Henlesche Schleife ist nicht vorhanden.

Histologisch betrachtet befinden sich die Glomeruli in der Nierenrinde. Die fein gewundenen, anastomosierenden Kapillaren sind von Endothelzellen und vereinzelt von Fibrozyten umgeben. Eine afferente Arteriole führt dem Glomerulum Blut zu. Die Bowmansche Membran besteht aus einem äußeren, parietalen Epithel und einem inneren, viszeralem Epithel. Der Zwischenraum zwischen dem glomerulären Gefäßknäuel und der viszeralen Oberfläche der Bowmanschen Membran ist der harnaufnehmende Raum. Hier sammelt sich das Ultrafiltrat des Blutplasmas und wird zum ersten Teil des proximalen Tubulus contortus geleitet. Dieser Tubulus hat einen relativ kleinen Durchmesser und ist durch ein einfaches, kubisches Epithel begrenzt. Starke Vergrößerung zeigt auf der Lumenseite der Zellen einen Bürstensaum. Die Zellen des distalen Tubulus contortus sind denen des proximalen ähnlich, färben sich jedoch heller an und weisen keinen Bürstensaum auf. Der Durchmesser des distalen Tubulus ist normalerweise größer. Beide Zelltypen färben sich mit Hämatoxylin und Eosin intensiver als die größeren, kubischen bis schuppenförmigen Zellen der weitlumigen Sammelrohre.

Der juxtaglomerulärer Apparat liegt in direktem Kontakt zur afferenten Arteriole und besteht aus kleinen, kubischen, basophilen Epithelzellen (*Fox 1976; Frye 1984*).

Einige geschlechtsreife Schlangen und Echsen bilden eine Hypertrophie und Granulation des „Sexualsegments“ aus, also der Nierenepithelzellen, die den kaudalen Anteil des distalen Tubulus contortus umgeben. Diese Zellen werden pallisadenförmig und hypertrophisch und enthalten zahlreiche eosinophile, intrazytoplasmatische Granula, die in das Lumen der deutlich erweiterten Tubuli abgegeben werden. Diese Hypertrophie unterliegt einem saisonalen Zyklus, bei einigen Arten fällt die Rückbildung mit dem Zeitpunkt der maximalen endokrinen Aktivität der Hoden zusammen. Hinter dem Sexualsegment schließt sich ein Stück normaler Tubulus an, der in das Sammelrohr mündet (*Baumann und Metter 1977; Burtner 1965; Herlant 1933*).

Der ureterähnliche mesonephrische Gang ist von einem einfachen, plumpen, kubischen bis pallisadenartigen Übergangsepithel, welches basal liegende Nuclei enthält, ausgekleidet (*Fox 1976; Frye 1984*).