

**Erstellung und Bearbeitung von dreidimensionalen  
Ultraschall-Datensätzen von gesunden  
und kranken feline Herzen sowie Entwicklung von  
Katzenmodellen für den Einsatz in einem  
Echokardiographie-Simulator**

**Elisabeth Zandt**

Inaugural-Dissertation zur Erlangung der Doktorwürde der Tierärztlichen  
Fakultät  
der Ludwig-Maximilians-Universität München

**Erstellung und Bearbeitung von dreidimensionalen  
Ultraschall-Datensätzen von gesunden  
und kranken feline Herzen sowie Entwicklung von  
Katzenmodellen für den Einsatz in einem  
Echokardiographie-Simulator**

von Elisabeth Zandt

aus München

München 2015

Aus dem Veterinärwissenschaftlichen Department der Tierärztlichen  
Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität

Lehrstuhl für Anatomie, Histologie und Embryologie

Arbeit angefertigt unter der Leitung von  
Univ. - Prof. Dr. med. vet. Cordula Poulsen Nautrup

**Gedruckt mit Genehmigung der Tierärztlichen Fakultät  
der Ludwig-Maximilians-Universität München**

Dekan: Univ. - Prof. Dr. Joachim Braun

Berichterstatter: Univ. - Prof. Dr. Cordula Poulsen Nautrup

Korreferent/en: Univ. - Prof. Dr. Lutz S. Göhring  
Univ. - Prof. Dr. Joachim Braun

Tag der Promotion: 31. Januar 2015

Meiner Familie

## Inhaltsverzeichnis

<b>I</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>1</b>
<b>II</b>	<b>Literatur</b> .....	<b>3</b>
1	Grundlagen der Echokardiographie in der Veterinärmedizin.....	3
2	Relevante Merkmale von 2D- und 3D-Echokardiographie als Grundlagen für den Einsatz in einem Simulator .....	4
3	Echokardiographie in der Humanmedizin .....	5
3.1	Echokardiographie – Richtlinien der Ausbildung in der Humanmedizin.....	5
3.1.1	Empfehlungen der American Society of Echocardiography .....	5
3.1.2	Richtlinien der Deutschen Gesellschaft für Kardiologie, Herz und Kreislaufforschung e.V.	5
3.1.3	DEGUM .....	6
3.1.4	Anforderungen der Kassenärztlichen Bundesvereinigung .....	6
3.2	Praktische Ausbildung am Echokardiographiesimulator in der Humanmedizin .....	6
3.2.1	Echokardiographiesimulatoren .....	7
3.2.1.1	Der EchoCom der Arbeitsgruppe um PD Dr. Michael Weidenbach .....	7
3.2.1.2	Der SonoSim III des Herstellers Sonofit GmbH, Darmstadt.....	7
3.2.1.3	Zusammenstellung einiger Echokardiographiesimulatoren.....	10
4	Echokardiographie in der Veterinärmedizin.....	11
4.1	Ultraschall- und Echokardiographie – Vorgaben und Richtlinien der Aus- und Weiterbildung in der Veterinärmedizin .....	11
4.1.1	Weiterbildungsordnung der Bayerischen Landestierärztekammer .....	11
4.2	Praktische Ausbildung und Weiterbildung in der Veterinärmedizin.....	12
4.2.1	Bewertung klinischer und praktischer Fähigkeiten von Anfangsassistenten.....	12
4.2.2	Praktische Ausbildung im Bereich Kardiologie/ Echokardiographie .....	13
4.2.2.1	Das Ultraschalllabor an der LMU München .....	13
4.2.2.2	Vergleich der Veterinärmedizinischen Ausbildungsstätten München, Berlin, Gießen, Hannover, Leipzig .....	13
4.3	Ausbildung in der Tiermedizin an Modellen, Simulatoren oder durch virtuelles Lernen .	14
4.3.1	Computerbasiertes Lernen in der Tiermedizin.....	14
4.3.2	E-Learning Fortbildungen .....	14
4.3.3	Erlernen praktischer Fähigkeiten an Modellen/ Simulatoren .....	14
4.3.4	Einrichtung von Skills Labs in der Tiermedizin .....	15
4.3.4.1	Skills Lab der UC Calgary, Kanada.....	16
4.3.4.2	Zusammenstellung einiger Skills Labs an verschiedenen Universitäten in den USA .....	17

4.3.4.3	Zusammenstellung einiger Skills Labs in Großbritannien und auf den Westindischen Inseln .....	17
4.3.4.4	Das Clinical Skills Lab in der Tierärztlichen Hochschule Hannover.....	18
4.3.4.5	Einrichtung eines Clinical Skills Labs an der Ludwig Maximilians Universität München...	19
5	Tierschutzaspekte in der Tierärztlichen Aus- und Weiterbildung .....	20
6	Praktische Grundlagen der Echokardiographie beim Kleintier .....	20
6.1	Lagerung des Patienten .....	20
6.2	Standardschnittebenen der Echokardiographie in der Veterinärmedizin .....	21
7	Häufigkeit der Herzerkrankungen der Katze .....	22
7.1	Die Häufigkeit erworbener Herzerkrankungen .....	22
7.2	Die Häufigkeit angeborener Herzerkrankungen .....	23
<b>III</b>	<b>Material und Methoden .....</b>	<b>24</b>
1	Tiere .....	24
1.1	3D-Datensätze .....	24
1.2	Vorlage für die Katzenmodelle.....	24
2	Technische Ausrüstung .....	25
2.1	Hardware .....	25
2.2	Software .....	25
3	3D-Datensätze und Bilder .....	25
3.1	Auswahlkriterien der Patientendatensätze aufgrund deren Erkrankung .....	25
3.2	Extrahieren der Einzelbilder aus dem 3D-Scan .....	26
3.3	Auswahlkriterien der DICOM Sequenzen aufgrund ihrer Qualität.....	36
3.3.1	Detaillierte Aufstellung der Auswahlkriterien für Patient A .....	39
3.3.2	Detaillierte Aufstellung der Auswahlkriterien für Patient B.....	39
3.3.3	Detaillierte Aufstellung der Auswahlkriterien für Patient C.....	40
3.4	Nummerieren und Speichern der Bilder .....	40
3.5	Bearbeiten der Einzelbilder .....	43
4	Ultraschalltischplatten und Tischgestell .....	48
4.1	Tischgestell .....	48
4.2	Tischplatten .....	48
4.3	Befestigungsmöglichkeit Trackingsystem.....	49
5	Modellkatzen/ Tierattrappen .....	49
5.1	Vorversuche.....	49
5.2	Maßgefertigtes Plüschkatzenfell mit speziellem Schaumstoffkern .....	50

5.3	Unterlegkissen für den Untersucher .....	51
<b>IV</b>	<b>Ergebnisse .....</b>	<b>52</b>
1	Untersuchungstischplatten und Tischgestell .....	52
1.1	Tischgestell .....	52
1.2	Tischplatten .....	54
1.3	Befestigungsmöglichkeit für das Tracking System .....	55
2	Modellkatzen .....	56
2.1	Tonmodell von Rumpf und Halsansatz als Vorlage für den Hartschaumstoffkern .....	57
2.2	Herstellung der digitalen Vorlage für den Hartschaumstoffkern.....	59
2.3	Schaumstoffrumpf als Kern .....	61
2.4	Herstellung des Katzenplüschfells .....	64
2.5	Unterlegkissen für den Untersucher .....	67
3	Patientenfälle auf der Basis der bearbeiteten 3D-Datensätze .....	67
3.1	Patient A, Fall: „Katze Gisi, rechts parasternal“ .....	79
3.2	Patient B, Fall: „Katze Vivaldi, rechts parasternal“ .....	80
3.3	Patient C, Fall: „Katze Hugo, rechts parasternal“ .....	80
4	Evaluierung.....	86
<b>V</b>	<b>Diskussion .....</b>	<b>96</b>
1	Einsatz des Katzen-Echokardiographiesimulators im Sinne des Tierschutzes.....	96
2	Katzenmodelle und Ultraschalltisch .....	97
3	Kissen .....	101
4	Datensätze .....	101
4.1	Bildqualität der 3D-Datensätze .....	101
4.2	Einfärben der Lumina und des Myokards .....	102
4.2.1	Einfärben des Myokards.....	102
4.2.2	Schwärzen der Lumina .....	103
4.2.3	Bearbeiten der einzelnen Datensätze .....	103
4.3	Parallele Abbildung von zwei Multivolumendatensätzen .....	104
4.4	Probleme mit der Technik des SonoSim III in der Tiermedizin.....	104
4.5	Derzeit verfügbare Erkrankungen bzw. Patientenfälle .....	105
4.6	Bestückung des Simulators mit anatomischen Schnitten .....	107
4.7	Bedeutung dieses Simulators für Studierende und Tierärzte .....	107
4.8	Zusammenfassung der Vorteile des Katzen-Echokardiographiesimulators.....	108

4.9	Zusammenfassung der Nachteile des Katzen-Echokardiographiesimulators .....	108
5	Ausblick .....	110
<b>VI</b>	<b>Zusammenfassung.....</b>	<b>111</b>
<b>VII</b>	<b>Summary.....</b>	<b>113</b>
<b>VIII</b>	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>115</b>
<b>IX</b>	<b>Anhang.....</b>	<b>120</b>
<b>X</b>	<b>Danksagung.....</b>	<b>123</b>

## Abkürzungsverzeichnis

AoI	Aorteninsuffizienz
AoS	Aortenstenose
ARVC	arrhythmogene rechtsventrikuläre Kardiomyopathie
ASD	Atriumseptumdefekt
CT	Computertomographie
DCM	dilatative Kardiomyopathie
DICOM	Digitale Bildverarbeitung und -kommunikation in der Medizin
EKG	Elektrokardiogramm
HCM	Hypertrophe Kardiomyopathie
LMU	Ludwig-Maximilians-Universität
MI	Mitralinsuffizienz
MPR	Multi-Planar-Reconstruction
MRT	Magnetresonanztomographie
PDA	persistierender Ductus Arteriosus
PPDH	peritoneopericardial-diaphragma Hernia
PRAA	persistierender Rechter Aortenbogen
RCM	restriktive Kardiomyopathie
SCM	spezifische Kardiomyopathie
TEE	Transesophageal Echocardiography
TTE	Transthoracic Echocardiography
UCM	unclassified Cardiomyopathie
VSD	Ventrikel-Septum-Defekt
2D	zweidimensional
3D	dreidimensional

Vorwegzunehmen ist, dass darauf geachtet wurde, in jedem Fall die männliche und weibliche Form zu verwenden. Sollte in Einzelfällen lediglich eine Form verwendet worden sein, so sind immer beide damit gemeint.

## I Einleitung

Das universitäre Studium und die späteren regelmäßigen Fort- und Weiterbildungen der Tierärzte und Tierärztinnen stellen die Basis für das gesamte Berufsleben dar. Jedoch gerade klinisch relevante Gebiete wie beispielsweise die Echokardiographie kommen in der studentischen und tierärztlichen Ausbildung oft zu kurz.

Einige Gründe hierfür sind, dass an den fünf deutschen veterinärmedizinischen Ausbildungsstätten die Grundlagen für einen fundierten praktischen Unterricht im Bereich Ultraschall nicht gegeben sind. Einerseits fehlen Dozenten, die dieses Wissen in möglichst kleinen Gruppen vermitteln, andererseits mangelt es oft an entsprechenden technischen Ausrüstungen für die studentische Ultraschalluntersuchung des Herzens. Diese beiden Faktoren sind an der tierärztlichen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität zwar erfüllt, das heißt es gibt sowohl qualifizierte Dozenten für die Unterweisung der Studierenden als auch mehrere geeignete Ultraschallsysteme, aber es fehlen häufig tierische Probanden, insbesondere Katzen, die entspannt und ruhig auf der Seite liegend, ausreichend lange echokardiographisch untersucht werden können.

Für Tiere, die für die Aus-, Fort- und Weiterbildung - also auch die Ultraschallausbildung – genutzt werden, gelten besondere Vorschriften, die im Tierschutzgesetz verankert sind. Die Durchführung von in dem Fall als Tierversuch deklarierten Ausbildungsprogrammen ist eingeschränkt und soll soweit als möglich durch alternative Methoden ersetzt oder ergänzt werden. Für diesen Sachverhalt bietet sich die Ultraschallausbildung ohne lebende Tiere zumindest partiell als Alternative an.

In der Humanmedizin werden außer Patienten schon seit einigen Jahren Übungsmodelle und Trainingssimulatoren eingesetzt, um vielen Studierenden die Möglichkeit zu geben, grundlegende klinische Fertigkeiten zu erlernen. So gibt es unter anderem Echokardiographiesimulatoren, die jeweils aus einer mit entsprechenden Datensätzen bestückten und einem Ultraschallgerät nachempfundenen Computereinheit, einem elektromagnetischen Trackingsystem und einem menschlichen Oberkörper-Modell bestehen, an dem eine Schallkopf-Attrappe mit dem elektromagnetischen 3D Sensor angesetzt wird.

Aufgrund der oft fehlenden Probanden und unter Berücksichtigung des Tierschutzgesetzes entstand die Idee, auch für die Tiermedizin einen Echokardiographiesimulator zu entwickeln, mit dem sowohl unter Anleitung als auch autodidaktisch die Ultraschalluntersuchung des gesunden und **veränderten** feline Herzens geübt werden kann.

Während die grundlegende technische Umsetzung eines Simulators aus der Humanmedizin zu übernehmen ist, müssen die Probanden, das heißt die Tier-Attrappen, aber auch die Untersuchungstische und deren Zubehör vollständig neu konzipiert werden.

Im Rahmen dieser Dissertation sollten dreidimensionale sonographische Datensätze von einer herzgesunden und zwei herzkranken Katzen erstellt und sinnvoll aufbereitet werden, um qualitativ hochwertige, gut interpretierbare Echokardiographien simulieren zu können. Ein weiteres Ziel der Arbeit war es, feline Attrappen und Untersuchungstische zu entwickeln, die einerseits bestimmte

## Einleitung

notwendige technische Anforderungen erfüllen und andererseits eine möglichst natürliche Ultraschalluntersuchung gestatten.

## II Literatur

### 1 Grundlagen der Echokardiographie in der Veterinärmedizin

Im Jahr 1984, als damit begonnen wurde in der Veterinärmedizin die 2D-Echokardiographie einzusetzen, definierten Thomas et al. verschiedene Standardschnittebenen im 2D-Bild für die Ultraschalluntersuchung des Herzens von Hunden (THOMAS, 1984). Diese wurden später auch noch für die Katze erweitert und als Empfehlungen für Echokardiographiestandards veröffentlicht (THOMAS et al., 1993). Auf eben diese Standardschnittebenen beziehen sich bis heute die meisten Tierärzte, die in Bereich Echokardiographie arbeiten und auch Autoren, die über dieses Thema Monographien herausgeben wie zum Beispiel Boon, Poulsen Nautrup, Tobias, Kittelson, Fox.

Ergänzend zum Röntgen des Thorax ist die Echokardiographie die Standardmethode der Wahl um das Herz nicht invasiv darzustellen. Schon im Jahre 2006 beschreibt Lang die heute in der Veterinärmedizin zum Standard gehörenden Möglichkeiten der Ultraschalluntersuchung des Herzens: Mit der 2D-Echokardiographie steht dem Untersucher die Möglichkeit zur Verfügung, Querschnitte des Herzens und der großen Blutgefäße in real-time darzustellen. So können – im Vergleich zum Röntgen – Gewebe, Blutgefäße, Lumen und Herzklappen unterschieden werden. Durch die Verwendung des M-Mode werden quantitativ Bewegung und Dimensionen von Kammern und Herzklappen erfasst, mithilfe von Doppler- Untersuchungen wird zusätzlich die Dynamik des Blutflusses in Herzkammern und Gefäßen bestimmt. Mit Ultraschallgeräten, die für die Echokardiographie geeignet sind, steht dem Untersucher eben dieses zur Verfügung: 2D-Bild, M-Mode und bestenfalls Farb- und Spektral-Doppler (LANG, 2006).

Auch Tobias schreibt in seinem Buch „Kleintierkardiologie kompakt“ aus dem Jahr 2008, dass sich die praxisnahe echokardiographische Untersuchung aus folgenden Schritten zusammensetzt: zuerst die 2D-Echokardiographie, dann TM-Mode im rechtsparasternalen Längsachsen- und Kurzachsenschnitt, darauffolgend Farbdoppleruntersuchungen und als letzter Untersuchungsschritt PW- und CW-Doppler. Ergänzend dazu, aber nicht Standard, wären noch die Untersuchung mit Gewebedoppler, das Strain-Rate-Verfahren, die Kontrastechokardiographie oder auch die transösophageale Echokardiographie (TOBIAS, 2008).

Tobias betont bei der Beschreibung des TM-Mode, dass es essentiell sei, die Position - und folglich auch das Auffinden - der anerkannten Schnittebenen und deren Aussagekraft im 2D-Bild zu kennen, um den TM-Mode durchführen zu können, da falsche Schnittbilder zu fehlerhaften Messergebnissen führen und somit falsche Diagnosen gestellt werden können (TOBIAS, 2008).

Auch Côté, MacDonald, Montgomery Meurs und Sleeper beschreiben in ihrem Buch „Feline Cardiology“ aus dem Jahr 2011 die echokardiographische Untersuchung im 2D-Bild in den Standardschnittebenen, M-Mode, PW- und CW- Doppler als Grundlage einer echokardiographischen Untersuchung (CÔTÉ et al., 2011a). Sie erwähnen ebenfalls die Möglichkeit der 3D-real-time Echokardiographie, vor allem im Hinblick auf echokardiographische Untersuchungen vor operativen Eingriffen. Allerdings sehen sie diese noch nicht soweit ausgereift um sie als Standarduntersuchung zu bezeichnen (CÔTÉ et al., 2011a).

Die 3D-Echokardiographie wird in der Veterinärmedizin – im Gegensatz zur Humanmedizin – also noch nicht standardmäßig angewendet. Sie gewinnt aber langsam und stetig an Bedeutung, was auch die Dissertationen „Dreidimensionale Echokardiographie - Evaluierung der kardialen Volumenbestimmung bei herzgesunden Beagles und Dachshunden“ von Penzl (PENZL, 2009) und „Evaluation der dreidimensionalen Echokardiografie (3DE) im Rahmen der Größenbestimmung vom Atrium sinistrum und der Einschätzung hämodynamisch unbedeutender transmitraler Regurgitationen bei klinisch herzgesunden Beagles und Dachshunden“ von Schultheis (SCHULTHEIS, 2011) zeigen.

## **2 Relevante Merkmale von 2D- und 3D-Echokardiographie als Grundlagen für den Einsatz in einem Simulator**

Ergänzend zur 2D-Echokardiographie wird in der Tiermedizin auch die 3D- oder 4D-Echokardiographie angewendet. Die 3D-Echokardiographie ist letztendlich eine Rekonstruktion aus verschiedenen 2D-Ebenen. Diese Ebenen sind räumlich und zeitlich genau definiert und dadurch können sie rechnerisch zu einem dreidimensionalen Volumenscan zusammengesetzt werden. Das Registrieren des Datensatzes geschieht unter EKG-Triggerung. Eine weitere Variante ist die 4D-Echokardiographie. Bei der 4D-Echokardiographie geschieht die Aufnahme eines 3D-Datensatzes in Echtzeit. Für jede Form der 3D- und 4D-Echokardiographie ist ein Matrixschallkopf nötig, der zeitgleich mehrere Ebenen scannen kann. Nachteile der Matrix-Schallköpfe sind ihre große Auflagefläche und die relativ niedrigen Frequenzen, üblicherweise zwischen 2 und 4 MHz (POULSEN NAUTRUP, 2008). Von Philips Healthcare, Hamburg existieren mittlerweile allerdings ein Matrix-Schallkopf mit 1 bis 5 MHz (PHILIPS HEALTHCARE, 2014a) und ein weiterer mit maximal 7 MHz (PHILIPS HEALTHCARE, 2014b). Aus der Physik der Ultraschalltechnik ergibt sich, dass bei einer niedrigen Sendefrequenz die Auflösung geringer und die Eindringtiefe höher ist, bei Schallköpfen mit hoher Sendefrequenz ist hingegen die Auflösung größer, aber die Eindringtiefe geringer (POULSEN NAUTRUP, 2007b).

Bei der 4D-Echokardiographie wird ein pyramidenförmiges Komplettvolumen aufgezeichnet. Innerhalb dieses Frustum (engl. „Kegelstumpf“, *Bezeichnung für die mathematische Abbildung eines 3D-Komplettvolumens auf dem Bildschirm in der 3D-Echokardiographie*) können jeweils drei orthogonale Ebenen gleichzeitig registriert und beurteilt werden. Das Frustum kann in jeder Position angeschnitten und die drei senkrecht aufeinander stehenden Ebenen betrachtet werden. Allerdings ist ein Nachteil, dass die Detailerkennbarkeit ein wenig geringer ist. Zudem kann nur ein kleiner Bereich auf einmal im Frustum erfasst werden (POULSEN NAUTRUP, 2008).

Weidenbach et al. beschreiben schon im Jahr 2005, dass sie aus 3D-Echokardiographien im Echokardiographiesimulator EchoCom 2D-Bilder errechnen lassen und damit die 2D-Echokardiographie des Herzens simulieren können (WEIDENBACH et al., 2005).

### **3 Echokardiographie in der Humanmedizin**

#### **3.1 Echokardiographie – Richtlinien der Ausbildung in der Humanmedizin**

##### **3.1.1 Empfehlungen der American Society of Echocardiography**

Die Grundfähigkeiten, die ein in der Echokardiographie tätiger Arzt beherrschen muss, sind gemäß der American Society of Echocardiography die 2D-Untersuchung, M-Mode aus dem 2D-Bild, PW-, CW- und Farbdoppleruntersuchungen und deren Interpretation (EHLER et al., 2001).

Gemäß den Empfehlungen der American Society of Echocardiography benötigt man drei bis zwölf Monate Training, um erfolgreich eine echokardiographische Untersuchung durchzuführen (EHLER et al., 2001) (QUIÑONES et al., 2003).

In den Richtlinien für die Ausbildung von Ärzten mit Spezialgebiet Echokardiographie, wird sogar empfohlen allein im klinischen Praktikum sechs Monate lang von geeigneten Ausbildern in Vollzeit in der Echokardiographie unterrichtet zu werden. Detailliert wird beschrieben, dass der Lernende mindestens 40 Patienten pro Monat im 2D- und M-Mode Bild, als auch mit Spektral- und Farbdoppler untersuchen soll und zusätzlich die Auswertung und Beurteilung von insgesamt 240 echokardiographischen Untersuchungen unter der Aufsicht des ausbildenden Betreuers durchführen soll, um die Echokardiographie zu erlernen und die Fähigkeit zu erwerben Untersuchungen professionell durchzuführen. Als optimal angesehen wird jedoch eine Zahl von 480 Patienten die untersucht werden sollen und insgesamt 480 echokardiographische Untersuchungen, die unter Anleitung bzw. Aufsicht des Betreuers zu beurteilen und auszuwerten sind (EHLER et al., 2001).

##### **3.1.2 Richtlinien der Deutschen Gesellschaft für Kardiologie, Herz und Kreislaufforschung e.V.**

Die Deutsche Gesellschaft für Kardiologie, Herz- und Kreislaufforschung e.V. hat für die Humanmedizin ebenfalls Leitlinien in Form eines Curriculum Kardiologie herausgegeben, an dem sich die Ärztekammern orientieren sollen. Es enthält Leitlinien zur Fort- und Weiterbildung im Bereich Kardiologie, die auch die Einteilung in bestimmte Kompetenzlevel I-III beinhaltet. In den jeweiligen Levels sind bestimmte Kompetenzen zu erwerben und nachzuweisen. Auch die Echokardiographie wird explizit beschrieben. Sie gehört zu den Kompetenzen in Level III und wird in Tabelle 3 aufgeführt: Um die benötigten Kompetenzen zu erreichen, fordert die Deutsche Gesellschaft für Kardiologie, Herz- und Kreislaufforschung e.V. Einzelnachweise von 600 praktisch durchgeführten echokardiographischen transthorakalen Standarduntersuchungen, 150 Nachweise über praktisches Vorgehen bei der echokardiographischen transösophagealen Standarduntersuchung und 100 Einzeluntersuchungsnachweise über praktisches Vorgehen bei Stressechokardiographie. Unter den 600 transthorakalen Untersuchungen sollen sich zum Beispiel auch 50 Nachweise von Einzeluntersuchungen im Bereich Links- und Rechtsherzkontrastechokardiographie, 50 Nachweise über Gewebedoppleruntersuchungen, 75 Nachweise von Untersuchungen im Falle von Klappenerkrankungen und Klappenprothesen und 50 Nachweise über Untersuchungen mit dem Gewebedoppler befinden (K. WERDAN, 2013).

Es wird im Curriculum Kardiologie auch explizit darauf hingewiesen, dass Simulatortraining in ausgewählten Fällen eine Ergänzung zum Erlernen von praktischen Fähigkeiten darstellen kann (K. WERDAN, 2013).

### **3.1.3 DEGUM**

Auch die DEGUM (Deutsche Gesellschaft für Ultraschall in der Medizin) setzt in der Humanmedizin auf qualifizierte Ausbildung. Ihr erklärtes Ziel ist es, die Weiterbildung im Bereich Ultraschall zu verbessern. Deshalb wurde eigens die Ultraschall-Akademie der DEGUM GmbH gegründet, um sicherzustellen, dass die DEGUM zertifizierte Fort- und Weiterbildungen anbieten kann, um einerseits die Kursleiter zu unterstützen und andererseits auch selbst Fortbildungen, Workshops und Symposien im Bereich Ultraschall zu organisieren und anzubieten (DEGUM, 2014a).

Die oben genannten Richtlinien der Deutschen Gesellschaft für Kardiologie, Herz- und Kreislaufforschung e.V. wurden in enger Zusammenarbeit mit der DEGUM entwickelt (HOFFMANN, 2004). Auch für Ausbilder der DEGUM besteht ein Qualifizierungsstandard. So muss zum Beispiel ein DEGUM Seminarleiter im Bereich Echokardiographie unter anderem folgende Qualifikationen aufweisen: mindestens fünf Jahre aktive Zeit in der Echokardiographie, er muss mindestens 5000 aktive echokardiographische Untersuchungen vorweisen, jährlich mindestens 1000 echokardiographische Untersuchungen selbst durchführen und in einer Echokardiographieabteilung tätig sein, die mindestens 2000 Untersuchungen pro Jahr durchführt und selbstverständlich mit Geräten auf aktuellem technischen Niveau arbeitet (DEGUM, 2014b).

### **3.1.4 Anforderungen der Kassenärztlichen Bundesvereinigung**

Die Kassenärztliche Bundesvereinigung hat ebenfalls in der von ihr herausgegebenen Ultraschallvereinbarung ein Mindestmaß an Anforderungen für Ärzte festgelegt, die Ultraschalluntersuchungen durchführen wollen. Sie orientiert sich an der Weiterbildungsordnung für Ärzte: So muss ein Arzt, der Ultraschalluntersuchungen durchführen darf, seine fachliche Befähigung entweder durch fachspezifische Weiterbildung und anhand von unter fachlicher Anleitung durchgeführten Ultraschalluntersuchungen oder durch ständige Tätigkeit – 18 Monate ganztägig fachspezifisch – mit nachgewiesenen Ultraschalluntersuchungen unter fachlicher Anleitung und einem anschließenden Kolloquium nachweisen. Die dritte Möglichkeit besteht aus der Durchführung von Ultraschalluntersuchungen unter fachlicher Anleitung sowie Teilnahme an Ultraschallkursen, aufgeteilt in Grund-, Aufbau- und Abschlusskurse und anschließendem Kolloquium. Der Aufbau und Umfang der Ultraschallkurse ist genau definiert. Ein hervorzuhebender Inhalt ist zum Beispiel, dass die Kurse einen praktischen Teil beinhalten müssen, der die Hälfte der Kursdauer einnehmen muss und nicht mehr als fünf Teilnehmer gleichzeitig an einem Ultraschallsystem unterwiesen werden dürfen. Auch ein Anteil an computergestützten Fortbildungsmöglichkeiten wird von der Kassenärztlichen Bundesvereinigung unter bestimmten Bedingungen anerkannt (KASSENÄRZTLICHE BUNDESVEREINIGUNG, 2008, 2012).

## **3.2 Praktische Ausbildung am Echokardiographiesimulator in der Humanmedizin**

Um kompetente Kardiologen und Ärzte im Bereich Echokardiographie auszubilden sind bestimmte Trainingsvarianten nötig. Laut den Empfehlungen der American Society of Echocardiography ist der diagnostische Erfolg einer echokardiographischen Untersuchung in der Humanmedizin in hohem Maße von der Fähigkeit abhängig, die geeignete Schnittebene zu finden, was wiederum in hohem

Maße vom Können des jeweiligen Untersuchers abhängt (EHLER et al., 2001). Dabei ist der schwierigste Faktor das korrekte Führen der Ultraschallsonde (QUÍÑONES et al., 2003).

### **3.2.1 Echokardiographiesimulatoren**

#### **3.2.1.1 Der EchoCom der Arbeitsgruppe um PD Dr. Michael Weidenbach**

Aufgrund dieser Problematik entwickelten zum Beispiel Weidenbach et al. den Echokardiographiesimulator EchoComJ zum Training von Humankardiologen. Dieser Echokardiographiesimulator basiert auf augmented reality (AR) (*engl.: erweiterte Realität*) und verbindet somit virtuelle und reale Daten: ein virtuelles 3D-Herzmodell mit realen 3D-Echokardiographie Datensätzen. Der Simulator besteht aus einem 3D-Herzmodell, einem Modelltorso und einem Ultraschallcomputer mit einer Modellsonde. Aus einem 3D-Echokardiographie-Datensatz wird ein 2D-Bild errechnet. Mithilfe eines elektromagnetischen Trackingsystems und einer Modellultraschallsonde wird das 3D-Herzmodell, sowie der 3D-Datensatz und folglich auch das 2D-Bild an der anatomisch korrekten Position in einen Modelltorso projiziert. Dadurch ist eine realitätsnahe Simulierung einer echokardiographischen Untersuchung möglich. Der Fokus des Simulators lag in erster Linie darauf, das Erlernen der Orientierung am Herzen während der echokardiographischen Untersuchung zu ermöglichen, das Führen der Ultraschallsonde relativ zum Herzen zu erleichtern und die Koordination zwischen Hand und Auge zu verbessern (WEIDENBACH et al., 2005). Bei der Evaluierung dieses Echokardiographiesimulators EchoComJ durch 25 Medizinstudenten im Abschlussjahr im Herzzentrum der Universität Leipzig, stuften 60 % der Studenten die Relevanz des Trainings am Simulator als sehr hoch und 40 % als hoch für ihre spätere Arbeit ein (WEIDENBACH et al., 2005).

#### **3.2.1.2 Der SonoSim III des Herstellers Sonofit GmbH, Darmstadt**

Die Firma Sonofit GmbH, eine Untereinheit der MedCom GmbH aus Darmstadt, die ein Spin-Off vom Fraunhofer IGD war und im Bereich Medizinsoftware und medizinischer Bildverarbeitung tätig ist, entwickelte den Ultraschallsimulator SonoSim. Die aktuelle Version hiervon ist das Modell SonoSim III. Der SonoSim besteht aus einer Computereinheit bestückt mit der Sonofit Simulator Software, die durch ihre vielfältigen Einsatzmöglichkeiten verschiedenste Trainingsmöglichkeiten bietet. Das System verfügt über statische und dynamische Navigation, es besteht die Möglichkeit der Split-Screen Ansicht und dem Einfügen von Graphiken und Patientenfällen (SONOFIT GMBH, 2014b). Um das Training besonders realitätsnah zu gestalten, ist die Computereinheit des SonoSim III in einem fahrbaren, einem Ultraschallwagen nachempfundenen System untergebracht. Es verfügt über einen entspiegelten LED-TFT Monitor und eine realitätsnahe Tastatur, mit der unter anderem Eindringtiefe, Gain, Bildspiegelung, Art der Sonde und Trackball wie an einem realen Ultraschallgerät bedient werden können. Auch die verschiedenen Arten von Ultraschallsonden-Modellen – Sektorsonde, Curved- und Linearschallkopf, sowie eine TEE-Sonde und ein Endo-Schallkopf - und die entsprechenden Halterungen sind vorhanden. Durch eben dieses Design soll der Wechsel zwischen Simulator und echtem Ultraschallgerät erleichtert werden. Außerdem ist das System fahrbar (SONOFIT GMBH, 2014b).



Abbildung 1: Ultraschallkonsole des SonoSim III (mit freundlicher Genehmigung von Dipl. -Ing. Marcus Grimm, Geschäftsführer und Entwicklungsleiter Sonofit GmbH Darmstadt, 8.7.2014)

Um eine realitätsnahe Untersuchung zu gewährleisten, gehört ein Patienten – Mannequin aus elastischem Material zur Ausstattung des SonoSim III. Dieses Material verfügt über eine verhaute Oberfläche, was realitätsnahe Punktionen mit der optionalen Punktionsnadel ermöglicht (SONOFIT GMBH, 2014b).



Abbildung 2: Ultraschallkonsole des SonoSim II mit Bildschirm und Patientenmannequin (mit freundlicher Genehmigung von Dipl.-Ing. Marcus Grimm, Geschäftsführer und Entwicklungsleiter Sonofit GmbH, Darmstadt 08.07.2014)

Um die 3D-Volumendatensätze virtuell in das Mannequin zu platzieren, wird ein 3D-Magnet-Trackingsystem verwendet (SONOFIT GMBH, 2014b). Der SonoSim III bietet des Weiteren die Möglichkeit auf die Sonofit Bibliothek zuzugreifen, die die Bereiche Anatomie, Innere Medizin, Notfallmedizin, Gynäkologie, Geburtshilfe, Kardiologie, Mamma- und Vaginalsonographie, Urologie und Rektalsonographie, sowie Neonatal-Hüftsonographie abdeckt (SONOFIT GMBH, 2014a). Eine weitere Eigenschaft des Simulators ist, mit Tutorials bestückt werden zu können. Durch diese Tutorfunktionen ist die Möglichkeit gegeben autodidaktisch Ultraschall zu erlernen (SONOFIT GMBH, 2014a). Die neueste Generation des SonoSim - der SonoSim III - verfügt außerdem noch über die Möglichkeit der parallelen Darstellung von mehreren Multivolumen - Datensätzen. Somit können simultan zum Beispiel Ultraschalldatensätze und Datensätze anderer bildgebender Verfahren, wie zum Beispiel ein Computertomographischer Datensatz, nebeneinander gezeigt werden (Pressemitteilung (SONOFIT GMBH, 2013). Passend zu den jeweiligen Patientenfällen und Fachgebieten, ist der Modelltorso die Nachbildung eines männlichen Torsos (SONOFIT GMBH, 2014b) bzw. eines Torsos einer schwangeren Frau (UNIVERSITÄTSKLINIKUM HEIDELBERG, 2010). Wie auf den jeweiligen Bildern zu erkennen ist, verfügen beide Torsen nicht über Köpfe, Arme und Beine.

Auch in der Pränataldiagnostik spielt das Erkennen und ordnungsgemäße Interpretieren von Ultraschallbildern eine bedeutende Rolle. Die Universitäts-Frauenklinik Heidelberg verfügt daher, wie auf ihrer Website beschrieben, seit dem Jahr 2010 über einen SonoSim zum Training der Pränataldiagnostik (UNIVERSITÄTSKLINIKUM HEIDELBERG, 2010).

Im SonoSim wird ein 3D-Magnet-Trackingsystem der Firma Ascension Technology Corporation verwendet, genauer gesagt das Modell driveBAY. Die Funktionsweise dieses Trackingsystems basiert auf pulsierenden Magnetfeldern. Von einem Sender, der aus drei zueinander orthogonal, also im 90° Winkel stehenden Spulen besteht, wird ein pulsierendes Magnetfeld im Raum erzeugt, jeweils ein pulsierendes Magnetfeld für eine der drei räumlichen Ebenen. Ein Empfänger, der ebenfalls aus drei Spulen besteht, erfasst die Stromstärke des in den Spulen induzierten Stroms und dadurch kann die Entfernung vom Empfänger relativ zum Sender über das Induktionsgesetz erfasst werden (persönliche Mitteilung: Dipl. -Ing. Marcus Grimm, Geschäftsführer und Entwicklungsleiter Sonofit GmbH Darmstadt, Email 18.2.2014) (GRIMM, 2014). Der Sender befindet sich im SonoSim III in einem mit der Computereinheit verbundenen Würfel und der Empfänger in der Ultraschallsondenatruppe,

die ebenfalls mit der Computereinheit verbunden ist, in der sich die Elektronik des Trackingsystems befindet.

Der EchoCom und der SonoSim III des Herstellers Sonofit GmbH sind jedoch nicht die einzigen erhältlichen Ultraschall- bzw. Echokardiographiesimulatoren. In der Humanmedizin werden schon seit vielen Jahren verschiedene Ultraschallsimulatoren in der Ausbildung eingesetzt.

### 3.2.1.3 Zusammenstellung einiger Echokardiographiesimulatoren

Die folgende Zusammenstellung der verschiedenen Ultraschallsimulatoren und ihrer Einsatzmöglichkeiten wurde an die Dissertation von Decker (DECKER, 2014) und an die Angaben der verschiedenen Hersteller auf deren Webseiten oder Datenblättern angelehnt.

Es gibt verschiedene Arten von Echokardiographiesimulatoren auf dem Markt. Einerseits existieren Modelle, die entweder vollständig oder teilweise mit realen Ultraschall Datensätzen arbeiten, andererseits gibt es vollständig virtuell arbeitende Systeme. Derzeit auf dem Markt sind der BluePhantom™ der Firma CEA Healthcare, Sarasota, Florida, USA (<http://www.bluephantom.com/>) der mithilfe einer Gewebesimulation integriert in Übungspuppen, mit realen Ultraschallgeräten genutzt werden kann. Weiterhin der oben bereits erwähnte EchoCom von Dr. Michael Weidenbach in Kooperation mit dem Fraunhoferinstitut für angewandte Informationstechnik (<http://www.echocom.de/EchoComfinal/Allgemein.html>), der mit dem Prinzip der augmented reality arbeitet, wobei ein virtuelles Herzmodell mit realen Datensätzen und einer Patientenpuppe kombiniert wird. Außerdem der Heartworks – Simulator der Firma Invented Medical Ltd, London, UK (<http://www.heartworks.me.uk/>) bestehend aus einerseits einer Ultraschallsimulation am Computer und andererseits einer TTE und TEE Patientenpuppe mit Ultraschallsonden. Ein weiterer Simulator ist der SchallwareUltrasound Simulator ‚Station 64‘ der Firma Schallware GmbH, Berlin, Deutschland (<http://www.schallware.de/>) mit dem die TTE an weiblichen schwangeren oder männlichen Modelltorsen mithilfe zweier Monitore und Sonden durchgeführt werden kann und der zu einem Advanced-Live Support-Simulator erweitert werden kann. Außerdem gibt es noch den bereits ausführlich beschriebenen SonoSim III der Firma Sonofit GmbH, Darmstadt (<http://www.sonofit.de/>). Der „SonoSim Ultrasound Training Solution“ des Herstellers Sonosim® Inc, Santa Monica, Kalifornien, USA (<http://sonosim.com/>) arbeitet über einen tragbaren Computer an den eine Sonde angeschlossen werden kann, mit der frei Hand oder an jedem beliebigen Objekt eine echokardiographische Untersuchung durchführbar ist. Es existiert weiterhin noch der U/S Mentor™ des Herstellers Symbionix™ USA Corporation, Cleveland Ohio, USA (<http://symbionix.com/simulators/us-mentor/>), der aus einer Patientenattrappe, TEE und TTE Sonden sowie einer Plattform mit Touchscreen, Tastatur und Maus besteht. Bestückt ist dieses Modell mit virtuellen Ultraschallbildern und CTs. Ein weiterer Echokardiographie-Simulator ist der Vimedix der Firma CAE Healthcare Inc., Montreal, Kanada (<http://caehealthcare.com/eng/ultrasound-simulators/vimedix>), der ebenfalls auf augmented reality basiert und mit einer Modellpuppe, Monitor und Ultraschallsondenattrappe ausgestattet ist, die echokardiographische Bilder werden aber bei diesem Modell errechnet. Sie sind folglich nicht real (SHAKIL et al., 2012). In China wurde noch das VirSim TEE Training System des Department of Anesthesiology des West China Hospital of

Sichuan University and Chengdu Branch of Chinese Academy of Science entwickelt (SONG et al., 2012).

Ein Simulator, der vollkommen virtuell arbeitet ist der CT2TEE von A. Kempny am Universitätsklinikum Münster und A. Piorkowski der AGH University of Science and Technology in Krakau, Polen, dessen dynamisches 3D/4D Herzmodell aus CT Bildern konstruiert wurde und entweder auf den eigenen Computer heruntergeladen werden oder über die projekteigene Website betrieben werden kann (KEMPNY & PIORKOWSKI, 2010) (DECKER, 2014). Ebenfalls vollkommen virtuell arbeitet der Virtual TEE und TTE des Herstellers Perioperative Interactive Education Group des Toronto General Hospitals Department of Anesthesia, Toronto, Kanada. Er bietet eine virtuelle TEE Simulation die frei zugänglich ist (VEGAS et al., 2013).

Die genannten Echokardiographiesimulatoren sind jedoch alle in der Humanmedizin im Einsatz, einzig der „SonoSim<sup>®</sup> Ultrasound Training Solution“ des Herstellers SonoSim Inc. wird laut Herstellerangaben nicht nur in der Humanmedizin, sondern auch in der Veterinärmedizin genutzt. Allerdings werden auch für die Veterinärmedizin nur humanmedizinische Datensätze verwendet (DECKER, 2014).

## **4 Echokardiographie in der Veterinärmedizin**

### **4.1 Ultraschall- und Echokardiographie – Vorgaben und Richtlinien der Aus- und Weiterbildung in der Veterinärmedizin**

In den Berufsordnungen der (Landes)Tierärztekammern ist für in Deutschland tätige Tierärztinnen und Tierärzte die allgemeine Pflicht zur Fortbildung festgelegt. Laut der Berufsordnung für Tierärzte in Bayern sind Tierärzte und Tierärztinnen, die in Bayern tätig sind, verpflichtet sich mit mindestens 60 Stunden in veterinärmedizinisch relevanten Themen innerhalb drei Jahren fortzubilden (BAYERISCHE LANDESTIERÄRZTEKAMMER).

#### **4.1.1 Weiterbildungsordnung der Bayerischen Landestierärztekammer**

Die tierärztlichen Weiterbildungsordnungen und ggf. die zugehörigen Leistungskataloge der einzelnen Länderkammern enthalten die Anforderungen für die Erlangung von Fachtierarzt-, Teilgebiets- oder Zusatzbezeichnungen. Speziell in Bezug auf den Themenkomplex „Innere Medizin der Kleintiere/ Kleintierkardiologie/ Ultraschall/ Echokardiographie“ werden im Folgenden beispielhaft die Anforderungen der Weiterbildungsordnung für die Tierärzte in Bayern dargestellt:

Um die Fachtierarztbezeichnung „Innere Medizin der Kleintiere“ zu erlangen, benötigt man den Nachweis über 100 ATF-anerkannte Fort- oder Weiterbildungsstunden im Bereich Innere Medizin Kleintier. Der Wissensstoff beinhaltet unter anderem die internistische bildgebende Diagnostik. (BAYERISCHE LANDESTIERÄRZTEKAMMER, 2003e). Im zugehörigen Leistungskatalog werden unter den verlangten Fallprotokollen auch Herz-Kreislauf-Erkrankungen genannt, von denen 20 Fälle mithilfe von Ultraschall untersucht werden müssen (BAYERISCHE LANDESTIERÄRZTEKAMMER, 2003 ).

Für die Weiterbildung zum „Fachtierarzt für Kleintiere“ wird im Wissensstoff die Sonographie als spezielles diagnostisches Verfahren verlangt und es sind regulär mindestens 100 ATF-anerkannte

Fort- oder Weiterbildungsstunden auf dem Gebiet der Kleintiermedizin zu absolvieren (BAYERISCHE LANDESTIERÄRZTEKAMMER, 2003f). Im Leistungskatalog werden 10 Fälle von Herz-Kreislaufkrankungen mit Ultraschalluntersuchung verlangt (BAYERISCHE LANDESTIERÄRZTEKAMMER, 2003g). Zur Erlangung der Teilgebietsbezeichnung „Innere Medizin“ werden 60 fachbezogene, ATF-anerkannte Fort- und Weiterbildungsstunden auf diesem Gebiet gefordert. Der Wissensstoff beinhaltet umfassende Kenntnisse, Diagnose und Behandlung internistischer Erkrankungen (BAYERISCHE LANDESTIERÄRZTEKAMMER, 2003d). Im Bereich Herz-Kreislauf-Krankheiten werden 20 dokumentierte Fälle im Leistungskatalog gefordert (BAYERISCHE LANDESTIERÄRZTEKAMMER, 2003a). Die Ultraschalldiagnostik wird im Teilgebiet „Innere Medizin“ nicht explizit erwähnt, ist jedoch als im Wissensstoff und - sofern indiziert - auch in den Leistungskatalogfällen als enthalten anzusehen (persönliche Mitteilung: Dr. Gerlinde Bauer, Leitung Referat Weiterbildung, Bayerische Landestierärztekammer, Telefonat am 29.09.2014).

Im Bereich der Zusatzbezeichnung „Kardiologie (Kleintiere)“ findet sich die Angabe, dass mindestens 80 fachbezogene ATF-anerkannte oder gleichwertige Fortbildungsstunden auf dem Gebiet der Kleintierkardiologie nachgewiesen werden müssen. Der verlangte Wissensstoff beinhaltet die Diagnostik kardiologischer Erkrankungen mithilfe bildgebender Verfahren (BAYERISCHE LANDESTIERÄRZTEKAMMER, 2003b). Detaillierte Anforderungen hinsichtlich Echokardiographie für die Zusatzbezeichnung „Kardiologie (Kleintiere)“ finden sich im entsprechenden Leistungskatalog. Darin wird die Durchführung und Auswertung von 100 TM-Mode und zweidimensionalen Echokardiographien, 50 farbkodierten, konventionellen gepulsten und kontinuierlichen Dopplerechokardiogrammen sowie die Anfertigung und Auswertung von 10 Kontrastmittelechokardiographien und 20 abdominalen Gefäßsonographien unter Verwendung von Farbduplex, Power-Doppler und gepulstem Doppler gefordert (BAYERISCHE LANDESTIERÄRZTEKAMMER, 2003c).

## **4.2 Praktische Ausbildung und Weiterbildung in der Veterinärmedizin**

Da in der Tiermedizin vor allem praktische Fähigkeiten einen großen Teil der Qualifikation eines Tierarztes oder einer Tierärztin ausmachen, wurde im Rahmen der Dissertation von Hällfritzsch die klinische und praktische Qualifikation von Anfangsassistenten untersucht.

### **4.2.1 Bewertung klinischer und praktischer Fähigkeiten von Anfangsassistenten**

Die klinischen Fertigkeiten von Anfangsassistenten werden vom einstellenden Tierarzt oft als gering bewertet (HÄLLFRITZSCH et al., 2005a). Die Kompetenz im Bereich bildgebender Verfahren erhielt die schlechteste Bewertung. So bewerteten mehr als 60% der befragten Tierärzte das Wissen ihrer Anfangsassistenten im Bereich Ultraschall mit Note 5 (ungenügend). Als Gesamtdurchschnittsnote im Bereich Röntgen wurde die Note 4,1 vergeben (HÄLLFRITZSCH et al., 2005a). Außerdem beurteilen praktische Tierärzte die fachliche Kompetenz ihrer Anfangsassistenten im Bezug auf ihre Ausbildungsstätte mit der Note 3,0 für Absolventen der Veterinärmedizinischen Fakultät der Universität Leipzig, mit der Note 3,2 für Absolventen der Ludwig-Maximilians-Universität München, mit der Note 3,3 für Absolventen der Justus-Liebig-Universität Gießen und mit der Note 3,5 für Absolventen der Tierärztlichen Hochschule Hannover (HÄLLFRITZSCH et al., 2005b).

## **4.2.2 Praktische Ausbildung im Bereich Kardiologie/ Echokardiographie**

### **4.2.2.1 Das Ultraschalllabor an der LMU München**

Eine Möglichkeit die praktischen Fähigkeiten von Absolventen der Veterinärmedizinischen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität München zu verbessern, stellt das Ultraschalllabor dar. Am Institut für Anatomie, Histologie und Embryologie der Tierärztlichen Fakultät der LMU München existiert seit Mitte des Jahres 2007 ein Ultraschalllabor, in dem Studierende ab dem 4. Fachsemester und Promotionsstudenten die Möglichkeit haben, unter Anleitung von erfahrenen, kompetenten Lehrpersonen die abdominale Sonographie und die Echokardiographie zu erlernen und zu üben. Den Studierenden stehen hierfür vier Ultraschallgeräte mit verschiedenen Ultraschallsonden und Ultraschalltischen zur Verfügung. An den mitgebrachten eigenen Tieren – Hund, Katze, Schaf, Ziege, Jungschwein, Reptilien und Heimtieren - sowie bei Bedarf an Pferde- und Rinderbeinen, können die Studierenden die Ultraschalluntersuchung in ein- und zweidimensionalen B-Bildern und mit Schwarz-Weiß- und Farbdopplern erlernen. Sowohl die Bedienung der Geräte, als auch die praktische Untersuchung wird vom Lehrpersonal intensiv gelehrt. Zur Unterstützung stehen Computerarbeitsplätze mit sonographischen Lernprogrammen und Literatur zur Verfügung (LMU MÜNCHEN TIERMEDIZINISCHE FAKULTÄT, 2007). Im Ultraschalllabor üben circa 200 Studenten pro Jahr die verschiedenen Ultraschalldisziplinen, die Hälfte davon Echokardiographie. Um die Theorie zu erlernen werden Vorlesungen und Wahlpflichtfächer angeboten, die zuvor von den Studierenden besucht werden (DECKER, 2014).

### **4.2.2.2 Vergleich der Veterinärmedizinischen Ausbildungsstätten München, Berlin, Gießen, Hannover, Leipzig**

Diese Zusammenstellung basiert auf den Recherchen von Decker (2014):

Im Vergleich zu den anderen vier Ausbildungsstätten für Veterinärmedizin in Deutschland, ist das Ultraschalllabor des Instituts für Tieranatomie der LMU München das einzige seiner Art. Auch im Rahmen der klinischen Rotation an der LMU können Studierende zwar in der Kardiologie während echokardiographischer Untersuchungen anwesend sein, jedoch besteht nur in Ausnahmefällen die Möglichkeit selbst eine Untersuchung durchzuführen. An der Freien Universität Berlin können Studierende lediglich nach Anmeldung an kardiologischen Untersuchungsgängen teilnehmen, sonst wird die Echokardiographie theoretisch gelehrt. An der Justus-Liebig-Universität Gießen wird die Kardiologie ebenfalls theoretisch gelehrt, Studierende können kardiologischen Untersuchungen beiwohnen und außerhalb der Sprechzeiten steht theoretisch ein Ultraschallgerät zur Verfügung. Es wird jedoch von den Studierenden nicht genutzt. In der Tierärztlichen Hochschule Hannover haben Studierende ebenfalls die Möglichkeit bei echokardiographischen Untersuchungen anwesend zu sein, selbstständiges Durchführen der Echokardiographie ist hierbei aber nicht möglich. Im Rahmen eines Wahlpflichtfachs mit begrenzter Teilnehmerzahl haben Studierende jedoch die Möglichkeit, einmalig eine echokardiographische Untersuchung praktisch vorzunehmen. Außerdem existiert noch eine Seminarveranstaltung zum Thema Echokardiographie, die jedoch nicht von der Mehrheit der Studierenden gewählt wird. Zusätzlich steht im Clinical Skills Lab ein Ultraschallgerät zur Verfügung, das ausschließlich unter Anleitung von Fachpersonal und im Rahmen von Wahlpflichtfächern zur

Echokardiographie am lebenden Tier eingesetzt wird. An der Veterinärmedizinischen Fakultät der Universität Leipzig wird die Theorie der Echokardiographie schon im Rahmen von Anatomie und Pathologie mit Hilfe von Ultraschallaufnahmen gelehrt. In einer mit Wahlpflichtfächern vergleichbaren Veranstaltung im Bereich Kleintier haben circa 50 Studenten und Studentinnen die Möglichkeit Ultraschall zu üben. Im klinischen Teil der Ausbildung besteht die Möglichkeit am Wahlfach Kardiologie teilzunehmen, wo je nach Möglichkeiten unter Anleitung die Echokardiographie geübt werden kann. Außerdem stehen zwei Ultraschallgeräte zur Verfügung, an denen die Studierenden die Möglichkeit hätten selbstständig oder unter Anleitung Ultraschall und Echokardiographie zu trainieren (DECKER, 2014).

### **4.3 Ausbildung in der Tiermedizin an Modellen, Simulatoren oder durch virtuelles Lernen**

Um dem Problem Abhilfe zu schaffen, dass die praktischen Fähigkeiten von Anfangsassistenten als nicht ausreichend bewertet werden (HÄLLFRITZSCH et al., 2005a), erlangen neue Ausbildungsmöglichkeiten, also auch die Ausbildung an Modellen, Simulatoren oder virtuelles Lernen immer größere Bedeutung.

#### **4.3.1 Computerbasiertes Lernen in der Tiermedizin**

In den letzten Jahren nahm das computerbasierte Lernen in Tiermedizinstudium und die computerbasierte Ausbildung von Tierärzten zu. Allein in den letzten 10 Jahren wurden mehrere Dissertationen angefertigt, deren Grundlage die Erstellung eines Computerprogramms oder einer Lernsoftware war: anatomisches Lernprogramm Pferdekopf (ALBERT, 2010), „Der Rücken des Hundes“: ein interaktives Lernprogramm zur Anatomie (PFAFFENDORF, 2014), „Die Schultergliedmaße des Hundes“: ein interaktives Lernprogramm zur Anatomie (BÄNSCH, 2014), Lernsoftware zur Auskultation von Hund und Katze (LÖHR, 2012), Multimediales Lernprogramm über die Sonografie von Harnblase, Nieren und Nebennieren bei gesunden Hunden und Katzen (WEISSFLOG, 2005), Multimediales Lernprogramm zur Sonografie von Milz, Leber und Pankreas bei gesunden Hunden und Katzen (HOCKE, 2005), Multimediales Lernprogramm über die Sonografie der unveränderten weiblichen Geschlechtsorgane von nicht graviden Hunden und Katzen (BRUDER, 2005), Computerbasiertes Lernprogramm über die physikalisch-technischen Grundlagen der Sonografie beim Kleintier (STRECK, 2004).

#### **4.3.2 E-Learning Fortbildungen**

Des Weiteren bietet die Tierärztekammer bzw. die Akademie für Tierärztliche Fortbildung im Jahr 2014 mehrere E-Learning Module zur Fort- und Weiterbildung an. So zum Beispiel: „Einführung in die Regulationsmedizin“, „Reptilien und Spinnen als Patienten in der Kleintierpraxis“, „Praxisreihe Pferd 02/2014 der sinnvolle Einsatz der Hormontherapie zum Erhalt der Trächtigkeit“ (ATF, 2014).

#### **4.3.3 Erlernen praktischer Fähigkeiten an Modellen/ Simulatoren**

Die Ausbildung an Trainingssimulatoren ist keine Errungenschaft der (Tier)Medizin. In der Pilotenausbildung und im Pilotentraining wird sie seit vielen Jahrzehnten praktiziert. Studien

bestätigen, dass das Training am Flugsimulator, die Fähigkeiten des Piloten in kritischen Situationen und generell verbessert (SMITH, 1979). In der Humanmedizin hat die Ausbildung am Simulator schon vor langer Zeit Einzug gehalten. Bereits im Jahr 1975 war das Training von Medizinstudenten in Simulator Laboratorien ein Teil der Ausbildung (SAJID et al., 1975). Auch die Etablierung von Skills Labs in der Humanmedizin, in denen unter anderem auch an Simulatoren ausgebildet wird, ist seit einigen Jahren weit verbreitet, wie zum Beispiel im Bereich Innere Medizin (NIKENDEI et al., 2005).

Auch in der Tiermedizin gewinnt das Training an Modellen und verschiedenen Simulatoren immer größere Bedeutung, unter anderem auch deshalb, um den Einsatz von lebenden Tieren zu verringern. In der Veterinärmedizin existiert eine Veröffentlichung aus dem Jahr 2002, bei der ein Anästhesie Simulator aus der Humanmedizin zum Training für Tiermedizinstudenten eingesetzt wird (MODELL et al., 2002). Im Rahmen des Anästhesietrainings wurden den Teilnehmern an einem Anästhesiesimulator aus der Humanmedizin bestimmte Anästhesiefälle und deren Therapie simuliert. Diese Fälle wurden insofern auf die Tiermedizin zugeschnitten, als dass die Patientenwerte den Vitalparametern eines Gorillas und eines Labrador Retrievers entsprachen. Der Simulator bestand aus einem Computerprogramm, das physiologische Parameter simuliert und einem Humanmodelltorso, der in bestimmten Anästhesiestadien und -notfällen veränderte Blutparameter, Atemgeräusche, kardiale Veränderungen und Pupillenstadien simuliert. Dieser Modelltorso reagierte auf die Gabe bestimmter Medikamente, die ebenfalls Teil des Simulationsaufbaus waren. Außerdem war noch ein vollständiges Narkosegerät inklusive aller Überwachungsmöglichkeiten Bestandteil des Simulators. Nach dem Training evaluierten die Teilnehmer ihre Arbeit mit dem Simulator. Die Reaktionen waren durchweg positiv, wobei einige Teilnehmer angaben, dass ein Tiermodell für sie „gewohnter“ gewesen wäre als ein Modell aus der Humanmedizin, sie aber trotzdem für ihre spätere Tätigkeit mit tierischen Patienten davon profitiert hätten. Es wird jedoch vom Verfasser explizit darauf hingewiesen, dass zum Zeitpunkt der Veröffentlichung der Studie noch keinerlei Tiermodelle existierten. Es zeigte sich, dass die Teilnehmer, die nach dem Training am Simulator im klinischen Teil der Ausbildung waren, viel sicherer in ihrer Tätigkeit waren und besser abschnitten als Teilnehmer, die das Simulatortraining nach dem klinischen Teil ihrer Ausbildung absolvierten (MODELL et al., 2002).

Im Fall dieser Studie von Modell et al aus dem Jahr 2002 wurde ein für die Humanmedizin entwickelter Simulator in der Tiermedizin eingesetzt. Scalese und Issenberg beschreiben 2005, dass die Entwicklung eines Simulators für die Tiermedizin - aufgrund der im Vergleich zur Humanmedizin geringeren Studenten- bzw. Nutzerzahlen - oft am finanziellen Aspekt scheitert. Sie schlagen daher vor, bereits in der Humanmedizin etablierte Simulatoren für die Tiermedizin zu erweitern, um so den finanziellen Aufwand zu verringern und trotzdem die Ausbildung am Simulator in der Tiermedizin zu ermöglichen. Der Tierschutzaspekt, die Verringerung von in der Lehre eingesetzten Tieren zu Gunsten von Simulatoren, ist für sie auch ein Grund den Einsatz von Simulatoren in der tierärztlichen Ausbildung zu erweitern (SCALESE & ISSENBERG, 2005).

#### **4.3.4 Einrichtung von Skills Labs in der Tiermedizin**

Ein Bereich in dem in großem Maße mit Simulatoren gearbeitet wird sind Skills Labs, Einrichtungen in denen praktische Fähigkeiten an Modellen und/ oder Simulatoren während der medizinisch-klinischen Ausbildung erlernt werden sollen.

Ein Skills Lab wird laut Fichtner folgendermaßen definiert: „Unter Skills Lab wird im Allgemeinen eine zentrale Trainingseinrichtung verstanden, in denen spezifische (meist ärztliche) Fertigkeiten und Fähigkeiten vermittelt werden. Der Begriff kommt aus dem Englischen und setzt sich aus den beiden Worten »skill« (= Können, Geschick) und der Abkürzung »lab« für »laboratory« (=Untersuchungsraum) zusammen“ (FICHTNER, 2013).

Im Folgenden werden einige Beispiele bekannter Skills Labs in der Veterinärmedizin aufgeführt:

#### **4.3.4.1 Skills Lab der UC Calgary, Kanada**

Die University of Calgary Faculty of Veterinary Medicine verfügt seit 2005 über ein vier Jahre dauerndes Ausbildungsprogramm, in dem das Erlernen der „Clinical Skills“ (*engl.: Klinische Fertigkeiten/ Fähigkeiten*) die Grundpfeiler des Lehrplans bilden. Im Rahmen dieses Programms sollen Clinical Skills schon vom ersten Jahr an erworben werden. Hierfür wurde eigens ein Gebäude mit einer Gesamtfläche von ca. 8000 m<sup>2</sup> errichtet, in dem ein Simulatorlabor für klinische Fertigkeiten eingerichtet wurde. In diesem Simulatorlabor befindet sich zum Beispiel der Pferde-Kolik-Simulator, an dem die rektale Palpation, Abdominozentese und die räumliche Vorstellung eines Pferdeabdomens trainiert werden kann und ein Rinder Dystokie Simulator inklusive eines Kalbmodells, an dem eine komplikationslose Geburt, Korrektur von Lage-Stellung-Haltungsanomalien und die Fetotomie geübt werden kann (READ & HECKER, 2013). Der Pferde-Kolik Simulator wurde von der Firma Veterinary Simulator Industries in Zusammenarbeit mit der University of Calgary entwickelt (VETERINARY SIMULATOR INDUSTRIES, 2014).

Am Beispiel der chirurgischen Fertigkeiten, soll hier das aufeinander aufbauende System der Clinical Skills erläutert werden.

Im ersten Jahr erlernt der Student das Erkennen und den Umgang mit den grundlegenden chirurgischen Instrumenten. Er lernt den einfachen Knoten, den Kreuzknoten und chirurgischen Knoten zu knüpfen und einfache Hautnähte und Klammern anzuwenden, wie ein Tier steril für einen chirurgischen Eingriff vorbereitet wird, sterile Kittel und Handschuhe anzuziehen und ein OP Feld abzudecken. Aufbauend darauf lernt er am Anfang des zweiten Jahres im Simulatorlabor einen Patientensimulator steril vorzubereiten, die Instrumente vorzulegen, die chirurgische Waschung vor dem Anlegen der sterilen Handschuhe und das sterile Abdecken des Patientensimulators. Des Weiteren lernt er dann eine Inzision am Simulator zu machen und am Gastrointestinaltrakt eines Pferdekadavers eine Resektion und anschließende Anastomose durchzuführen, um ein Gefühl für das Gewebe zu bekommen und die einstülpende Nahttechnik zu erlernen. Später im zweiten Jahr wird die Ausbildung noch um einen explorativen abdominalen Eingriff und eine Zystotomie an einem lebenden, von anderen Studenten anästhesierten Schweinmodell ergänzt. Dadurch wird Blutstillung und Naht der Bauchwand erlernt und die bereits erworbenen Fähigkeiten wiederholt. Im dritten Jahr werden die Anästhesie von vielen Spezies, wie Katzen, Hunden, Wildtieren, Pferden etc. und grundlegende chirurgische Eingriffe, wie zum Beispiel Kastration an verschiedenen Tierarten trainiert. Auf diese Weise baut ein Jahr auf das andere auf, früher erlernte Fähigkeiten werden wiederholt und der fertige Kliniker sollte nach erfolgreichem Abschluss über die nötigen praktischen Fähigkeiten verfügen (READ & HECKER, 2013).

Der Ultraschall hingegen wird an toten Tieren und Simulatoren trainiert (READ & HECKER, 2013). Die Simulatoren bestehen aus in Ballistik Gel eingebetteten Objekten. Im dritten Jahr des Ausbildungsprogramms wird der Ultraschall an sedierten lebenden Tieren durchgeführt. Mithilfe des Pferde-Kolik-Simulators, der auch über Uterus und Ovarien in verschiedenen Zyklusstadien verfügt, kann zwar die Handhabung der Ultraschallsonde bei der gynäkologischen Ultraschalluntersuchung geübt werden, jedoch ist es nicht möglich ein Ultraschallbild des Modelluterus oder der Ovarien zu erzeugen. Außerdem verfügt das Clinical Skills Lab zusätzlich über Hunde- und Pferdemodelle, an denen das Legen von Venenverweilkathetern trainiert werden kann, über Pferdebeinmodelle mit Gelenken zum Erlernen von Leitungsanästhesien und über Simulatoren, mit denen die korrekte Lagerung beim Röntgen geübt werden kann (persönliche Mitteilung: Dr. Emma Read, Chair Clinical Skills Courses and Senior Instructor Equine Surgery, Department of Veterinary Clinical and Diagnostic Science University of Calgary Faculty of Veterinary Medicine, Email 15.9.2014).

#### **4.3.4.2 Zusammenstellung einiger Skills Labs an verschiedenen Universitäten in den USA**

Auch an vielen Universitäten in den USA existieren Clinical Skills Labs in denen verschiedenen Fertigkeiten trainiert werden können. An der University of Illinois dem College of Veterinary Medicine gibt es ein Clinical Skills Center, wo zum Beispiel die intravenöse Injektion am Lama Modell trainiert werden kann, außerdem stehen Computer zur Verfügung, die mit Programmen zu den Grundlagen von Ultraschall oder Falldemonstrationen ausgestattet sind. Auch das Handling und Injektionstechniken am Großtier können am Modell erlernt werden und es besteht die Möglichkeit das die Lagerungstechniken von Hunden beim Anfertigen bestimmter Röntgenaufnahmen sowie die Positionierung von Pferden beim Röntgen zu üben (UNIVERSITY OF ILLINOIS AT URBANA-CHAMPAIGN, 2009b). Das Clinical Skills Center steht den Studierenden 24 Stunden an 7 Tagen der Woche zur Verfügung und der Zugang wird über sogenannte I-Cards geregelt (UNIVERSITY OF ILLINOIS AT URBANA-CHAMPAIGN, 2009a).

Im Clinical Simulation Center der Washington State University werden chirurgische Fertigkeiten vermittelt, so zum Beispiel das Legen eines Venenverweilkatheters und es werden unter anderem Nahttechniken mit Hilfe von Modellen erlernt (WASHINGTON STATE UNIVERSITY - COLLEGE OF VETERINARY MEDICINE, 2014).

#### **4.3.4.3 Zusammenstellung einiger Skills Labs in Großbritannien und auf den Westindischen Inseln**

Am Royal Veterinary College in London, England entstand bereits im Jahr 2004 das erste britische Clinical Skills Center (CROWTHER et al., 2013). Andere Universitäten im Vereinigten Königreich, wie zum Beispiel das University College Dublin, Irland und die University of Surrey, England verfügen mittlerweile ebenfalls über Clinical Skills Center. Die folgenden Zusammenstellungen basieren auf den Internetseiten der jeweiligen Universitäten.

An der University of Surrey haben die Studierenden die Möglichkeit im Clinical Skills Center an 21 Stationen klinische Fertigkeiten zu erlernen. Außerdem stehen den Studierenden an jeder Station ein Untersuchungstisch, Beleuchtung wie im OP und ein Anästhesiegerät zur Verfügung. Das Clinical Skills Lab wird den Studenten die Möglichkeiten bieten Nahttechniken zu erlernen, Venenpunktion und das Legen eines intravenösen Venenverweilkatheters zu üben, das Anlegen von Verbänden zu

trainieren, das Legen eines Blasenkatheters zu üben und Anästhesie und Wiederbelebung an verschiedenen Modellen bzw. Attrappen zu erlernen. Die Studierenden können sowohl im Rahmen des Stundenplans als auch selbstständig ihre klinischen Fertigkeiten verbessern. Die verwendeten Modelle sind zum Beispiel die Haptic Cow, ein Palpationsmodell für Zyklusdiagnose beim Rind, das Haptic Horse, ein Palpationsmodell für das Pferd, ein Ultraschallgerät mit Farbdoppler und Ultraschallsonden zur Zyklusdiagnostik beim Rind, ein elektronisches Stethoskop und ein Video-Otoskop (UNIVERSITY OF SURREY - SCHOOL OF VETERINARY MEDICINE).

Im Clinical Skills Lab des University College Dublin, Irland wird zum Beispiel am Kuhmodell die Durchführung des California Mastitis Tests und das korrekte Falten eines Kittels zur Vorbereitung für das Autoklavieren und Verbandstechniken beim Kleintier geübt, wie auf dem YouTube Videokanal gezeigt wird (VETERINARY SKILLS LAB UCD, 2014). Außerdem bestanden im Sommer 2013 Pläne, ein Katzen- oder Hundemodell, an dem Intubation, Notfallmaßnahmen und das Legen venöser Zugänge erlernt werden kann, sowie plastinierte Pferdebeine für die Leitungsanästhesie und einen Computer mit einer Software, die es ermöglichen soll EKGs, Herztöne und -geräusche und andere klinische Parameter auf Patientenattrappen zu übertragen, zu erwerben (UCD SCHOOL OF VETERINARY MEDICINE, 2013).

Die Vernetzung der verschiedenen Clinical Skills Center und Labs wird durch ein spezielles Netzwerk NOVICE (Network Of Veterinarians In Continuing Education) gefördert. Dort können Erfahrungen in der ‚Veterinary Skills and Simulation‘-Group ausgetauscht werden (CROWTHER et al., 2013).

Auch auf den Westindischen Insel existiert an der Ross University School of Veterinary Medicine ein Clinical Skills Lab, in dem schon die Studierenden des ersten Semesters an Modellen die praktischen motorischen Fähigkeiten, die sie für ihren Beruf benötigen, erlernen sollen (ROSS UNIVERSITY SCHOOL OF VETERINARY MEDICINE).

#### **4.3.4.4 Das Clinical Skills Lab in der Tierärztlichen Hochschule Hannover**

Die Tierärztliche Hochschule Hannover hat im Jahr 2013 speziell zur Ausbildung von Studenten eigens ein Clinical Skills Lab eingerichtet, in dem die Studenten an Tiermodellen praktische Fähigkeiten erlernen und trainieren können (DILLY, 2013). Auf YouTube wurde ein spezieller Videokanal – der Kanal TiHoVideos - eingerichtet, auf dem ein Teil der erlernbaren Fähigkeiten präsentiert wird. Im Einzelnen besteht die Möglichkeit unter anderem folgende Fertigkeiten am Modell zu erlernen und zu trainieren - die Beschreibungen sind entweder der Website des Clinical Skills Lab der Tierärztlichen Hochschule Hannover (<http://www.tiho-hannover.de/de/studium-lehre/clinical-skills-lab/lernstationen/>) oder dem YouTube –Video Kanal: TiHoVideos (<https://www.youtube.com/user/TiHoVideos/videos>) entnommen:

- Legen eines Venenverweilkatheters am Hundebein: Die Studierenden erlernen hier am Hundebeinsimulator die intravenöse Injektion mithilfe eines Venenverweilkatheters in die Vena cephalica antebrachii, sowie das Legen eines Venenverweilkatheters nach vorheriger Übung am Venenpunktionstrainer
- Intubation am Hundemodell: Hier erlernen die Studierenden die Intubation, Beatmung mit Atembeutel und Extubation an einem Modell eines Hundekopfes

## Literatur

- Geburtshilfe-Kuhmodell zur Lage- Stellungen- Haltungskorrektur beim Kalb: Am lebensgroßen Kuhmodell wiederholen die Studierenden den physiologischen Geburtsablauf und erlernen anschließend die Erhebung von Lage- Stellungen- Haltungsanomalien und deren anschließende Korrektur
- Anlegen eines Pfotenverbandes bei Hund und Katze: Die Studierenden haben die Möglichkeit das Anlegen und Entfernen eines Pfotenverbandes am Modellhund zu erlernen
- Anlegen eines Kopfverbandes als Schutzverband für das Ohr: Am Modellhund erlernen die Studierenden die Verbandstechnik zum Anlegen und Entfernen eines Kopfverbandes
- Anlegen eines Rumpfverbandes: Verbandstechnik Thorax und Abdomen: Das Anlegen eines Rumpfverbandes können die Studierenden am Modellhund erlernen
- Modell Handling Pferd Signalement: Am lebensgroßen Pferdephantom erlernen die Studierenden in Kleingruppen das Handling eines Pferdes und die Ausstellung eines Equidenpasses, sowie Zahnaltersschätzung und die korrekte Benennung der Abzeichen
- Legen eines peripheren Venenverweilkatheters am Ohrvenenmodell Kalb: An dieser Station erlernen die Studierenden das Legen eines peripheren Venenverweilkatheters in die Vena auricularis mit anschließender Dauertropfinfusion und die spätere Entfernung

Im Clinical Skills Lab steht den Studierenden ebenfalls ein Ultraschallgerät zur Verfügung, an dem die physikalischen Grundlagen des Ultraschalls wiederholt werden können und praktische Übungen durchgeführt werden sollen (TIERÄRZTLICHE HOCHSCHULE HANNOVER, 2014). Da das Mitbringen von lebenden Tieren in das Clinical Skills Lab nicht gestattet ist, kann die Echokardiographie nur im Rahmen von Wahlpflichtkursen unter Anleitung von Fachpersonal und bisher nicht eigenständig durchgeführt werden (DECKER, 2014).

### **4.3.4.5 Einrichtung eines Clinical Skills Labs an der Ludwig-Maximilians-Universität München**

Auch an der Veterinärmedizinischen Fakultät der LMU München wird daran gearbeitet ein Skills Lab einzurichten, das im Rahmen der Feierlichkeiten zum 100-jährigen Bestehen der Fakultät am 16.10.2014 präsentiert werden soll (LMU MÜNCHEN TIERMEDIZINISCHE FAKULTÄT, 2014).

Das Skills Lab der Tierärztlichen Fakultät der LMU wird ein dezentrales Skills Lab werden, wo in den einzelnen klinischen Abschnitten und teils ebenfalls in der Vorklinik praktische Fertigkeiten vermittelt werden sollen (persönliche Mitteilung: Dr. Christina Beitz-Radzio, Mitarbeiterin im Studiendekanat der Veterinärmedizinischen Fakultät der LMU, Bereich Lehre, Gespräch am 19.8.2014).

Ein Teil davon ist das Pferde-Kolik-Palpationsmodell. In der Klinik für Pferde der LMU München wurde im Mai 2014 ein Palpationsmodell für Pferde angeschafft. Das Modell – hergestellt von der Firma Veterinary Simulator Industries, Calgary, Kanada in Zusammenarbeit mit der UC Calgary, Kanada – ermöglicht den Studierenden die transrektale Palpation zur Kolik- und Zyklusdiagnostik am Modell realitätsnah und tierschutzgerecht zu trainieren. Es besteht die Möglichkeit Dickdarmaufgasungen und Darmverlagerungen zu simulieren, zum Beispiel eine Milz-Nieren-Band – Verlagerung. Auch gynäkologische Tastbefunde können an Ovarnachbildungen im entsprechenden Zyklusstand erhoben werden. Weiterhin ist die venöse Blutprobenentnahme und Applikation von

Medikamenten, sowie die Möglichkeit der Bauchhöhlenpunktion gegeben (LMU MÜNCHEN TIERMEDIZINISCHE FAKULTÄT KLINIK FÜR PFERDE, 2014).

Die folgenden Angaben sind der Website des Herstellers entnommen:

Das Standard-Modell Equine Palpation/ Colic Simulator der Firma Veterinary Simulator Industries aus Calgary besteht aus einer lebensgroßen Nachbildung eines Quarter Horses, beinhaltet einen originalgetreu nachgebildeten, mit Luft befüllbaren Gastrointestinaltrakt, also Kolon, Zäkum und Dünndarm, einen künstlichen, abnehmbaren Schweif, die Nachbildung von linker Niere, Milz und Milz-Nierenband, eine Nachbildung des Beckens, sowie von Uterus, Zervix, Urethra, Mutterbändern und Ovarien in verschiedenen Zyklusstadien. Auch die Möglichkeit der Abdominozentese ist durch das auswechselbare Abdominozentese-Pad mit Flüssigkeitsreservoir gegeben. Das Modell wurde in Zusammenarbeit mit der Veterinärmedizinischen Fakultät der University of Calgary entwickelt (VETERINARY SIMULATOR INDUSTRIES, 2014).

## **5 Tierschutzaspekte in der Tierärztlichen Aus- und Weiterbildung**

Gemäß §7 Absatz 2 Satz 3 des Tierschutzgesetzes (BUNDESMINISTERIUM DER JUSTIZ UND FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ, 1972, 2006, 2013) wird der Einsatz von Tieren im Rahmen von Aus-, Fort- und Weiterbildung als Tierversuch eingeordnet. Dadurch gelten für Tiere, die zur Fort- und Weiterbildung eingesetzt werden besondere Vorschriften. Laut §7a Absatz 2 Satz 2 des Tierschutzgesetzes (BUNDESMINISTERIUM DER JUSTIZ UND FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ, 1972, 2006, 2013) ist bei einem Tierversuch zu prüfen, ob das Ergebnis nicht auch mit anderen Methoden oder Verfahren zu erreichen ist und laut §7a Absatz 2 Satz 1 ist der jeweilige Stand der wissenschaftlichen Erkenntnisse zugrunde zu legen (BUNDESMINISTERIUM DER JUSTIZ UND FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ, 1972, 2006, 2013). Weiterhin muss gemäß §8 Absatz 1 des Tierschutzgesetzes eine Genehmigung der zuständigen Behörde eingeholt werden, um einen Tierversuch, also auch einen Tierversuch im Rahmen von Aus-, Fort- und Weiterbildung, durchführen zu dürfen (BUNDESMINISTERIUM DER JUSTIZ UND FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ, 1972, 2006, 2013). Dadurch muss für jede Aus-, Fort- und Weiterbildungsveranstaltung theoretisch im Vorfeld ein Tierversuch genehmigt werden.

Auch Scalese und Issenberg schreiben schon im Jahr 2005, dass in der Ausbildung in der Veterinärmedizin immer der Tierschutzaspekt mitberücksichtigt werden muss und die Ausbildung am Simulator eine praktikable Lösung dafür ist, die Anzahl der für die Ausbildung verwendeten Tieren zu verringern (SCALESE & ISSENBERG, 2005).

## **6 Praktische Grundlagen der Echokardiographie beim Kleintier**

### **6.1 Lagerung des Patienten**

Die echokardiographische Untersuchung bei Hunden und Katzen kann in der Regel entweder am auf einer Seite liegenden, am sitzenden oder am stehenden Tier durchgeführt werden (LANG, 2006) (POULSEN NAUTRUP, 2007a). Im Fall des liegenden Tieres, befindet sich der Patient auf der linken oder der rechten Körperseite auf einem speziellen Ultraschalluntersuchungstisch (LANG, 2006)

(POULSEN NAUTRUP & TOBIAS, 2007). Dieser Untersuchungstisch verfügt über einen Ausschnitt in der Tischplatte über dem die Brustwand im Bereich des 3. bis 6. Interkostalraums zu liegen kommen soll (BOON, 2011b). Diese Lagerung ermöglicht es, den Schallkopf von unten an das Tier anzusetzen und somit das Herz von unten bzw. von lateral am Tier zu schallen. Dadurch werden Artefakte durch Lungengewebe vermindert, da die Lunge hierbei in einer günstigen Position liegt (LANG, 2006) (POULSEN NAUTRUP, 2007a) (BOON, 2011b).

In der gängigen Literatur wird in den Beschreibungen der Echokardiographie nicht näher darauf eingegangen, ob der Patient mit den Beinen Richtung Untersucher oder mit dem Rücken in Richtung Untersucher auf dem Tisch gelagert werden soll. So wird lediglich die Position des Schallkopfes im Verhältnis zum Patienten beschrieben. Einen Hinweis gibt aber Abbildung 5-5A auf Seite 79 in „Atlas und Lehrbuch der Ultraschalldiagnostik bei Hund und Katze“ von Poulsen Nautrup und Tobias (POULSEN NAUTRUP, 2007a), auf der die Beine einer auf einem Ultraschalltisch mit Ausschnitt gelagerten Katze zum Untersucher zeigen und der Schallkopf von unten am Thorax angesetzt wird. Auch im Buch „Feline Cardiology“ von Côté, MacDonald, Montgomery Meurs und Sleeper zeigt Abbildung 7.3. auf Seite 55 die echokardiographische Untersuchung einer jungen Katze, die auf einem Ultraschalltisch mit Ausschnitt liegt. Die Katze liegt auf der rechten Thoraxseite und ihre Beine zeigen in Richtung Untersucher (CÔTÉ et al., 2011a). Im Buch „Textbook of Canine and Feline Cardiology“ von Fox, Sisson und Moise zeigt Abbildung 8-6 auf Seite 140 ebenfalls eine echokardiographische Untersuchung: eine Katze liegt auf einem Ultraschalltisch mit Ausschnitt, die Beine zeigen in Richtung Untersucher und werden von einem Helfer fixiert. Die Ultraschallsonde wird von unten durch den Ausschnitt an den Thorax der Katze herangeführt (FOX & MOISE, 1999). Auch in „Small Animal Diagnostic Ultrasound“ von Nyland und Mattoon zeigt Abbildung 18-1 auf Seite 355 die echokardiographische Untersuchung eines Hundes. Der Patient liegt auf der Seite auf einem Untersuchungstisch mit Ausschnitt, die Beine des Patienten zeigen zum Untersucher und die Ultraschallsonde wird von unten durch den Ausschnitt an den Thorax herangeführt (KIENLE & THOMAS, 2002).

Im Falle des stehenden Tieres steht das Tier auf einem Untersuchungstisch und die Ultraschallsonde wird von der Seite an den Thorax angesetzt, wie auf Abb. 9-1 auf der Seite 127 in „Atlas und Lehrbuch der Ultraschalldiagnostik“ von Poulsen Nautrup und Tobias zu sehen ist (POULSEN NAUTRUP, 2007a). Bei Patienten, die an einer Herzinsuffizienz mit Dyspnoe leiden, kann der Gesundheitszustand durch Lagerung auf der Seite liegend verschlechtert werden. Daher ist eine echokardiographische Untersuchung im Stehen gerade beim Patienten mit ausgeprägter Dyspnoe in vielen Fällen für das Tier schonender und leichter (POULSEN NAUTRUP & TOBIAS, 2007).

### **6.2 Standardschnittebenen der Echokardiographie in der Veterinärmedizin**

Zu Beginn der Echokardiographie in der Tiermedizin, legte Thomas im Jahre 1984 bestimmte Standardschnittebenen durch echokardiographische Versuche und deren anatomische Bestätigung fest (THOMAS, 1984). Diese etablierten Ansichten wurden die Grundlage für alle folgenden echokardiographischen Untersuchungen und im Jahre 1993 - um die Schnittebenen bei der Katze erweitert - als Empfehlungen publiziert (THOMAS et al., 1993). So bezieht sich zum Beispiel auch Boon in ihrem Buch „Veterinary Echocardiography“ darauf und beschreibt, dass bei jedem Patienten das Herz in den gängigen Standardschnittebenen, also Längs- und Kurzachsenansichten, beurteilt wird. Längs- und Kurzachsenschnitte werden an der rechten Thoraxseite gemacht, apikale Zwei-

Vier- und Fünfkammerblicke von der linken Thoraxseite aus. Hierfür kann das Tier entweder sowohl bei Längs- und Kurzachsenschnitten, als auch bei der Untersuchung des Herzens im apikalen Zwei-, Vier- und Fünfkammerblick auf der rechten Seite liegend gelagert werden, wobei die Aufnahmen von der linken Thoraxseite aus von oben gemacht werden. Eine andere Möglichkeit ist den Patienten auf die linke Seite zu drehen und die Schnitte von der linken Thoraxseite ebenfalls mit dem von unten angesetzten Schallkopf anzufertigen (BOON, 2011a).

## **7 Häufigkeit der Herzerkrankungen der Katze**

### **7.1 Die Häufigkeit erworbener Herzerkrankungen**

In der Literatur wird die hypertrophe Kardiomyopathie (HCM) als häufigste erworbene Herzerkrankung der Katze angesehen.

So wird unter anderem in „Atlas of small ultrasonography“ von Dominique Penninck und Marc-André d’Anjou die HCM als häufigste erworbene Herzerkrankung der Katze angesehen (BROWN, 2008). Auch auf den Internetseiten der Abteilung für Tierkardiologie der Medizinischen Kleintierklinik der Veterinärmedizinischen Fakultät der LMU München wird die HCM als die am häufigsten diagnostizierte Herzerkrankung der Katze beschrieben, die vor allem bei Maine Coon, Persern, Ragdoll, Rex, Amerikanischen und Britischen Kurzhaarkatzen, aber auch der gewöhnlichen Hauskatze vorkommt (WESS).

In der Kleintierklinik der Universität Bern sowie am Cabinet-Vétérinaire Amberger-Philip in Genf wurden in den Jahren 1998 bis 2005 insgesamt 408 Patientenfälle von symptomatischen, an einer kardialen oder nicht kardialen Erkrankung leidenden Katzen dokumentiert. Diese Fälle wurden in einer retrospektiven Studie genauer untersucht. Von den untersuchten 408 Patienten, waren 287 an einer Kardiomyopathie erkrankt. Von diesen 287 Patienten litten wiederum 67,6% an einer hypertrophen Kardiomyopathie (HCM), 4,5% an dilatativer Kardiomyopathie (DCM) und 3,8% an restriktiver Kardiomyopathie (RCM), 0,7% an arhythmogener rechtsventrikulärer Kardiomyopathie (ARVC), 2,8% an unklassifizierter Kardiomyopathie (UCM), 8,4% an spezifischer Kardiomyopathie (SCM) und 12,2% an sekundärer Kardiomyopathie (RIESEN et al., 2007a).

Die hypertrophe Kardiomyopathie (HCM) war somit die am häufigsten diagnostizierte Kardiomyopathie und ist gleichzeitig die am häufigsten diagnostizierte Herzerkrankung der Katze generell.

Auch eine retrospektive Studie über feline idiopathische Kardiomyopathie am Feline Centre des Department of Clinical Veterinary Science der Universität Bristol, UK kam zu demselben Ergebnis. Es wurden insgesamt 106 Katzen in einer retrospektiven Studie in den Jahren 1994 bis 2001 untersucht. Alle Katzen waren eingehend echokardiographisch untersucht worden. Von den 106 untersuchten Katzen waren 57,5% an hypertropher Kardiomyopathie erkrankt. Gefolgt von 20,7% an restriktiver Kardiomyopathie (RCM) und 10,4% an dilatativer Kardiomyopathie (DCM). Weitere 10,4% waren an unklassifizierter Kardiomyopathie erkrankt, während eine Katze Symptome einer Moderatorband-Kardiomyopathie zeigte (FERASIN et al., 2003).

## **7.2 Die Häufigkeit angeborener Herzerkrankungen**

Im Rahmen der Studie von Riesen et al. aus den Jahren 1998 bis 2005 wurden ebenfalls Katzen mit angeborenen Herzerkrankungen untersucht. Das Ergebnis hinsichtlich kongenitaler Herzerkrankungen war, dass 27 von insgesamt 48 Patienten mit angeborenen Herzerkrankungen, also 56,3%, einen Ventrikelseptumdefekt (VSD) aufwiesen. Gefolgt von sieben Patienten (14,6%) mit Mitraldysplasie, fünf Patienten (10,4%) mit Trikuspidaldysplasie, drei Katzen (6,3%) mit Atriumseptumdefekt (ASD), weitere drei Katzen (6,3%) mit peritoneo-perikardialer Diaphragma-Hernie (PPDH) und jeweils eine Katze (2,1%) mit Fallot-Tetralogie, AV-Kanal (Atrio-Ventrikulärer Septumdefekt) und einem persistierenden rechten Aortenbogen (PRAA).

Das Ergebnis dieser Studie zeigt somit, dass die häufigste angeborene Herzerkrankung der Katze der Ventrikelseptumdefekt (VSD) ist (RIESEN et al., 2007a).

Um einen VSD zu diagnostizieren wird im Buch „Feline Cardiology“ von Côté, MacDonald, Montgomery Meurs und Sleeper die Fünfkammer Ansicht von rechts oder die Kurzachsenansicht von rechts parasternal empfohlen (CÔTÉ et al., 2011b).

### **III Material und Methoden**

#### **1 Tiere**

##### **1.1 3D-Datensätze**

Im Rahmen von Vorsorgeuntersuchungen bzw. Kontrolluntersuchungen bei bekannter Herzkrankheit für Rassekatzen, die im September 2011 in Duisburg durchgeführt wurde, entstanden von insgesamt 71 Katzen im Rahmen des normalen echokardiographischen Untersuchungsganges mindestens zwölf 3D-Scans in zwei bis drei Standardschnittebenen. Die 71 untersuchten Tiere gehörten folgenden Rassen an: insgesamt 32 Maine Coon, fünf Maine Coon-Mix, drei Norwegische Waldkatzen, elf Europäisch Kurzhaar, acht Britisch Kurzhaar, zwei Orientalisch Kurzhaar, eine Orientalisch Langhaar, eine Heilige Birma, eine Thai, drei Ragdoll, drei Karthäuser Katzen und ein Bengale. Alle Katzen stammten aus privater Haltung. Unter den untersuchten Tieren waren 17 weibliche, 18 weiblich kastrierte, 12 männliche und 24 männlich kastrierte Katzen. Die Katzen hatten ein durchschnittliches Alter von 4,8 +- 4,27 Jahren angefangen bei 4 Monaten bis hin zu 16 Jahren. Das Gewicht der Katzen betrug durchschnittlich 4,92 +- 1,99 Kilogramm und variierte von 0,6 bis 9,5 kg. Bei insgesamt 20 der 71 untersuchten Tiere wurden im Rahmen dieser Vorsorgeuntersuchung kardiologische Diagnosen gestellt.

Insgesamt wurde bei elf Katzen eine hypertrophe Kardiomyopathie (HCM) diagnostiziert, bei zwei Katzen eine Aorteninsuffizienz (Aoi). Eine Katze litt an Mitralinsuffizienz, eine an Cor triatriatum sinister. Bei drei Katzen wurde eine restriktive Kardiomyopathie (RCM), bei vier Tieren ein Ventrikelseptumdefekt (VSD) festgestellt. Eine Katze hatte einen AV-Block ersten Grades und bei zwei Katzen bestand der Verdacht einer Endomyokarditis. Bei zwei Katzen wurde Tachykardie diagnostiziert. Bei einer Katze konnte ein persistierender Ductus Arteriosus Botalli (PDA) und bei ebenfalls einer Katze eine dilatative Kardiomyopathie (DCM) festgestellt werden.

Im Rahmen der echokardiographischen Untersuchung wurden in den Standardschnittebenen gemäß der allgemein gültigen Gepflogenheiten im 2D-Bild und mit Dopplerverfahren Diagnostik durchgeführt. Zusätzlich wurden bei einigen Patienten Untersuchungen im 3D-Ultraschall durchgeführt, aufgrund des Gesundheitszustandes einiger Patienten und des Zeitfaktors war dies aber nicht bei jeder Katze möglich.

Ein EKG wurde gemäß Standardvorgaben bei allen Untersuchungen mitgeschrieben.

##### **1.2 Vorlage für die Katzenmodelle**

Für das Anfertigen der Vorlage für das Katzenmodell wurde eine lebende 12-jährige Europäisch Kurzhaar, männlich kastriert aus privater Haltung, sowie fünf unterschiedliche anatomische Präparate vermessen. Diese Maße wurden auf das Modell übertragen.

## 2 Technische Ausrüstung

### 2.1 Hardware

Für die kardiologische Untersuchung und zum Erstellen der Ultraschallsequenzen wurde das Echokardiographie-System iE33 von Philips von 2011 verwendet. Die 2D-Untersuchungen wurden mit einer S5-12 Phased-Array Ultraschallsonde und die 3D -Untersuchung mit einem X7-2 Matrix-Schallkopf durchgeführt.

Alle Ultraschallaufnahmen wurden intern im Gerät im DICOM Format gesichert und auf einen USB-Stick kopiert. Die Film- bzw. Bildbetrachtung und -bearbeitung erfolgte auf einem handelsüblichen Personal Computer mit einem Intel®Dual Core Prozessor 3600 MHz, 4 GB mit einer geteilten Festplatte für Windows XP und Windows 7 und einer Motherboard Grafikkarte.

### 2.2 Software

Mit der Quantifizierungssoftware Q-lab Version 7.1 von Philips Healthcare, Hamburg erfolgte die Betrachtung der Ultraschall - DICOM Sequenzen sowie die anschließende Auswahl der geeigneten Sequenzen. Des Weiteren wurde Q-Lab Version 7.1 eingesetzt, um die Sequenzen der Komplettvolumina (= *Frustum engl. Kegelstumpf; pyramidenförmig; bezeichnet bei der 3D Echokardiographie die mathematische Abbildung eines dreidimensionalen Komplettvolumens auf den Bildschirm*) in ihre jeweiligen zeitlichen Phasen der Herzaktionen und diese wiederum in ihre jeweils 100 Einzelbilder zu zerlegen. Deren Screenshots wurden schließlich als .bmp-Datei gespeichert (vgl. Ergebnisse).

Das Verdeutlichen der Endokardgrenzen sowie das Einfärben der linken und rechten Herzhälften der einzelnen Bilder erfolgte mit Corel-PHOTO-PAINT X5 Home and Student von Corel.

Das Betriebssystem des Personal Computers war Windows 7 für Corel PHOTO-PAINT X5 Home and Student bzw. Windows XP für Q-Lab Version 7.1.

Die Bearbeitung von CT Datensätze im DICOM Format erfolgte mit OsiriX für Mac OS X zum Oberflächenrendering bzw. in Maya von Autodesk und Blender von Blender.

## 3 3D-Datensätze und Bilder

### 3.1 Auswahlkriterien der Patientendatensätze aufgrund deren Erkrankung

Zuerst mussten Aufnahmen von Patienten ausgewählt werden, die an einer Herzerkrankung leiden. Da die häufigste angeborene Herzerkrankung der Katze der Ventrikelseptumdefekt (VSD) ist – laut einer Studie der Universitäten Bern, Berlin und Genf von 1998 – 2005 (RIESEN et al., 2007b)-, wurden die Ultraschall DICOM Sequenzen der Patienten mit Ventrikelseptumdefekt als erstes betrachtet.

Insgesamt war bei drei der untersuchten Katzen der Ventrikelseptumdefekt die einzige kardiologische Anomalie, bei einem weiteren Patienten wurde der VSD als Anteil eines Endokardkissendefekts festgestellt. Der VSD ist in der Schnittebene Fünfkammerblick von rechts parasternal bevorzugt darstellbar (CÔTÉ et al., 2011b). Folglich wurden die Patienten von denen 3D-

## Material und Methoden

Ultraschallaufnahmen im Fünfkammerblick von rechts parasternal in der Längsachse angefertigt worden waren gesichtet und schließlich ein Patient ausgewählt.

Die hypertrophe Kardiomyopathie (HCM) ist laut einer Studie von 1998 - 2005, die an symptomatischen Katzen an den Universitäten Bern, Berlin und Genf durchgeführt wurde, die häufigste erworbene Herzerkrankung der Katze (RIESEN et al., 2007b). Daher wurden als Zweites alle Ultraschall DICOM Sequenzen der Tiere gesichtet, die an HCM erkrankt waren. Unter den untersuchten Tieren waren 11 bei denen HCM diagnostiziert wurde.

Da es aufgrund des VSD des ersten Patientenfalls schon festgelegt war, dass die Hauptansicht, also die primäre Schnittebene die Fünfkammeransicht in der Längsachse von rechts parasternal sein musste, wurden lediglich diese Patientendaten gesichtet, von denen diese Ansicht 3D-echokardiographisch angefertigt worden war und schließlich ein Patient mit HCM und einer zusätzlichen Aorteninsuffizienz ausgewählt.

### **3.2 Extrahieren der Einzelbilder aus dem 3D-Scan**

Als Frustum (*engl.: Kegelstumpf*(siehe oben)) wird in der 3D-bzw. 4D-Echokardiographie die mathematische Abbildung eines dreidimensionalen Komplettvolumens auf dem Bildschirm bezeichnet. Genauer gesagt eine kegel- bzw. pyramidenförmige 3D-Darstellung eines Ultraschallbildes in allen drei räumlichen Ebenen.

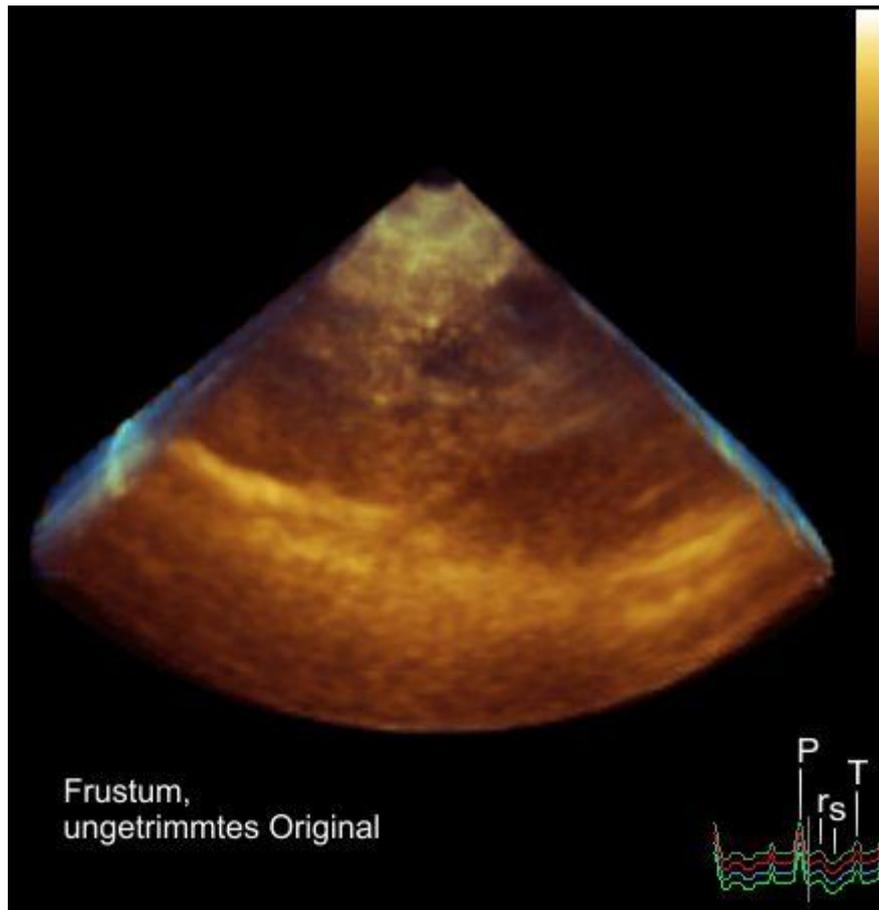


Abbildung 3: Frustum Patient A, ungetrimmt, mit auf der P-Welle getriggertem EKG

In diesem Frustum wird – sofern es die relative Größe des Herzens zulässt und es vollständig in das Frustum passt - das gesamte Herz, von den Ultraschallwellen erfasst und somit dargestellt. Im Gegensatz zum 2D-Bild, das nur eine Schnittebene in zwei Dimensionen mit einer geringen Schichtdicke abbildet, verfügt ein Frustum über eine zusätzliche dritte räumliche Ebene und bildet diese auch ab.

In diesem dreidimensionalen Kegelstumpf werden bei der echokardiographischen Untersuchung drei orthogonale Ebenen gleichzeitig abgebildet: eine als tatsächlich geschaltete Ebene (Ebene I) bezeichnete Ebene, zum Beispiel eine Längsachsenansicht, die dazu senkrecht stehende Ebene (Ebene II), in dem Fall eine Kurzachsenansicht, und eine dritte dazu senkrecht stehende Ebene (Ebene III). Ebene I entspricht der tatsächlich geschalteten Ebene, Ebene II wird teilweise errechnet und Ebene III wird vollständig errechnet.

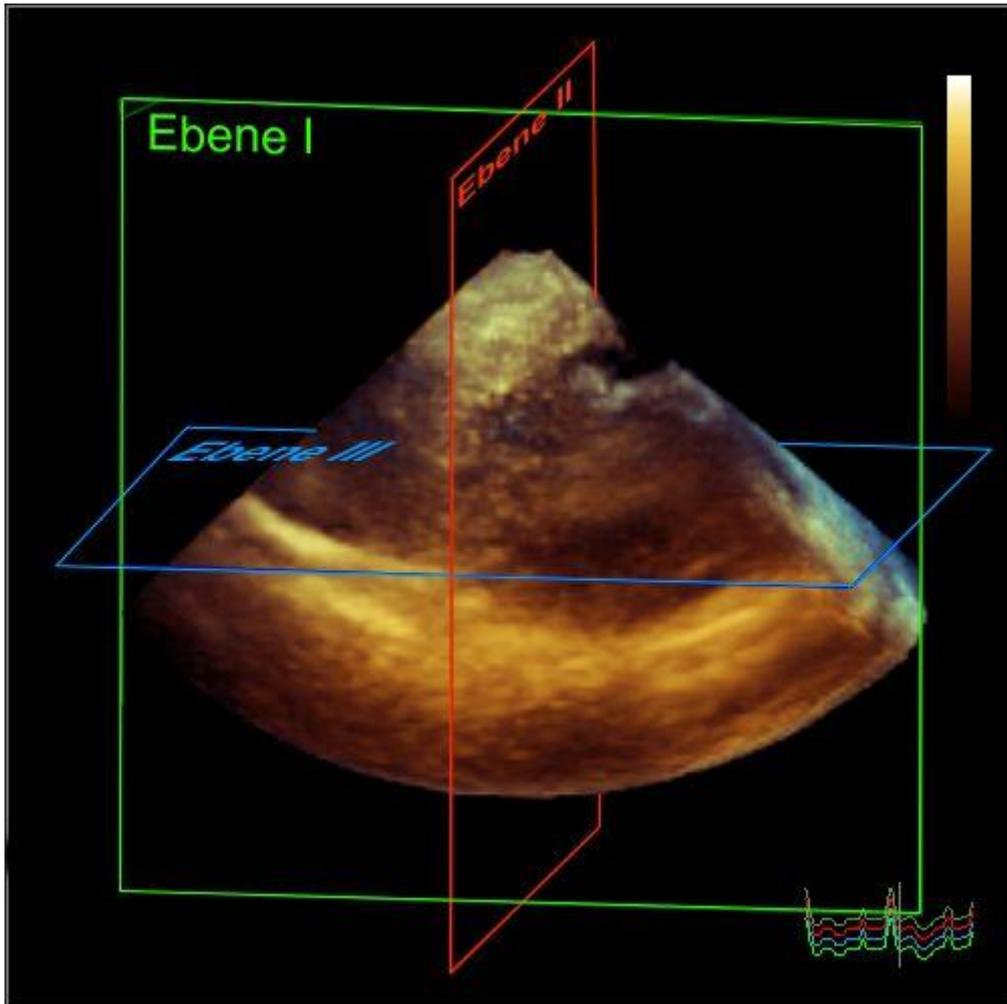


Abbildung 4: Patient A, Frustum, ungetrimmt, mit den orthogonalen Ebenen I, II und III eingezeichnet, mit EKG auf der P-Welle getriggert

Bei der späteren Betrachtung mit einer Volumenquantifizierungssoftware (z.B. Q-Lab von Philips Healthcare, Hamburg), sind in einer der auswählbaren Ansichten – der MPR (=multi-planar reconstruction)-Ansicht - im Bild Ebene I, II und III und ein zur jeweiligen Herzphase passend angeschnittenes Frustum nebeneinander darstellbar:

Das zur Herzaktion passende, bereits getrimmte Frustum unten rechts, die eigentlich geschaltete Ebene (im Beispiel die Längsachsenansicht) oben links, die senkrecht dazu stehende Kurzachsenansicht oben rechts und die Dritte dazu senkrechtstehende Ebene unten links. Die tatsächlich geschaltete Ebene wird grün, die dazu senkrecht stehende rot und die dritte wiederum dazu stehende blau gekennzeichnet. Die farbige Kennzeichnung der Ebenen wird auch in jeder der drei Ansichten fortgesetzt. In diesem Beispiel: Ebene I-III mit dem jeweiligen farbigen Rahmen und im Bild als Linie die beiden jeweils anderen Ebenen: bei Ebene I: grüner Rahmen und Ebene II und III als rote und blaue Linie überlagernd.

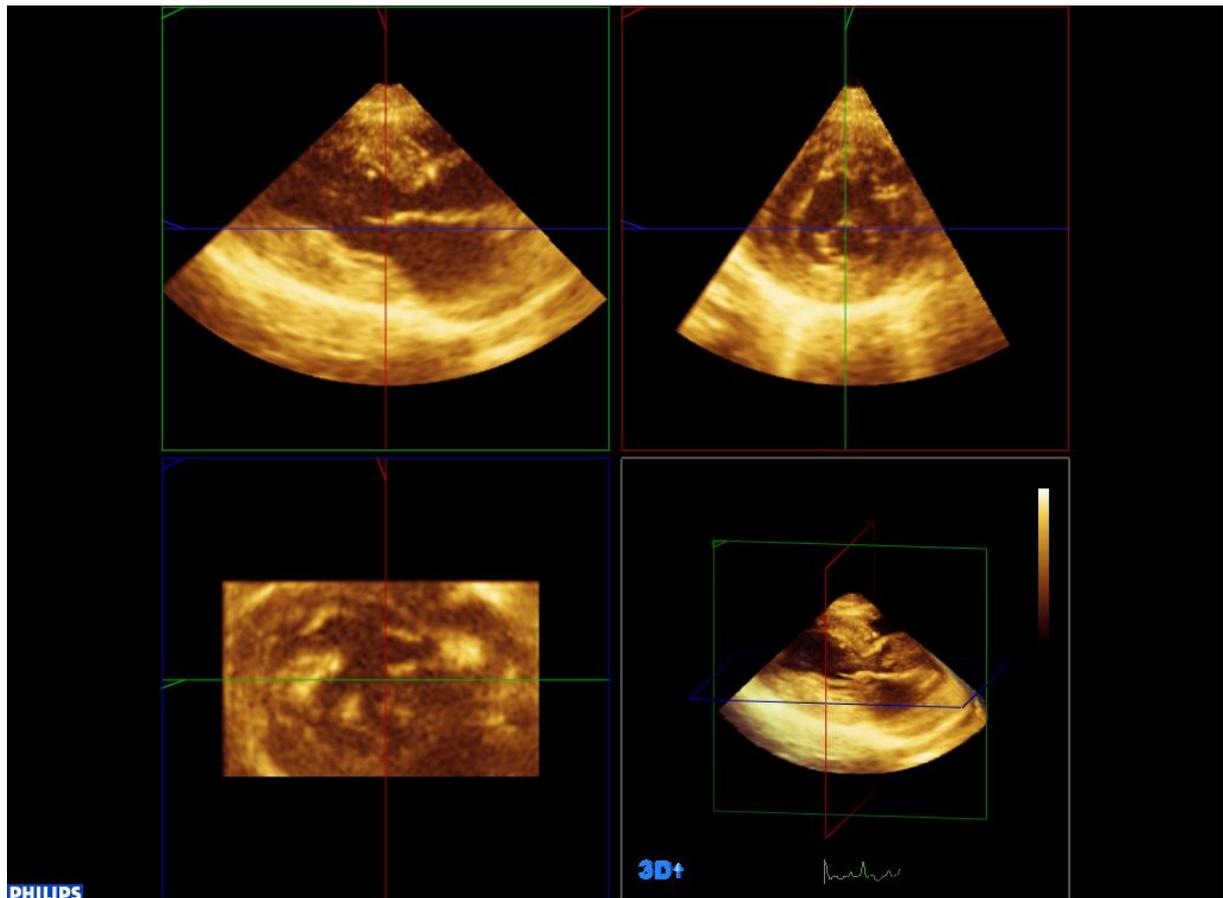
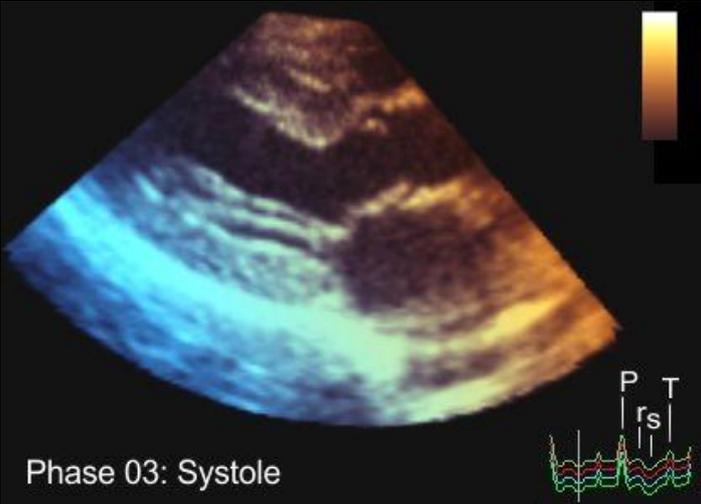
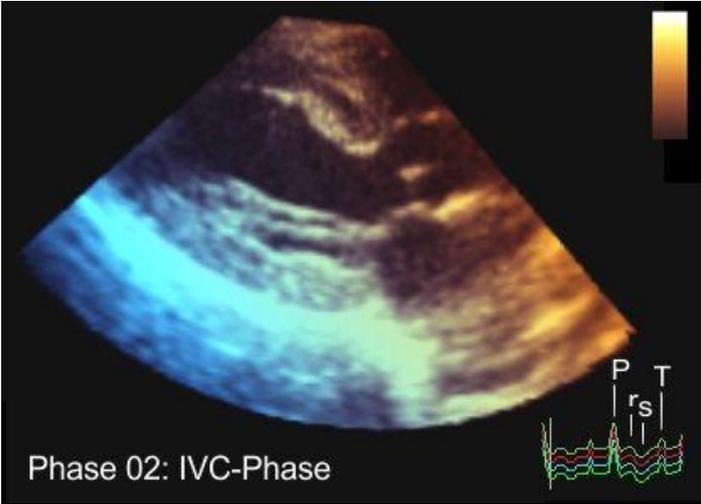
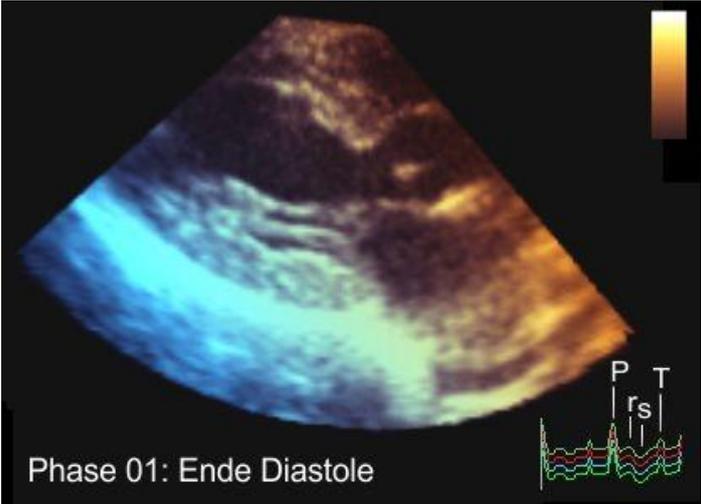


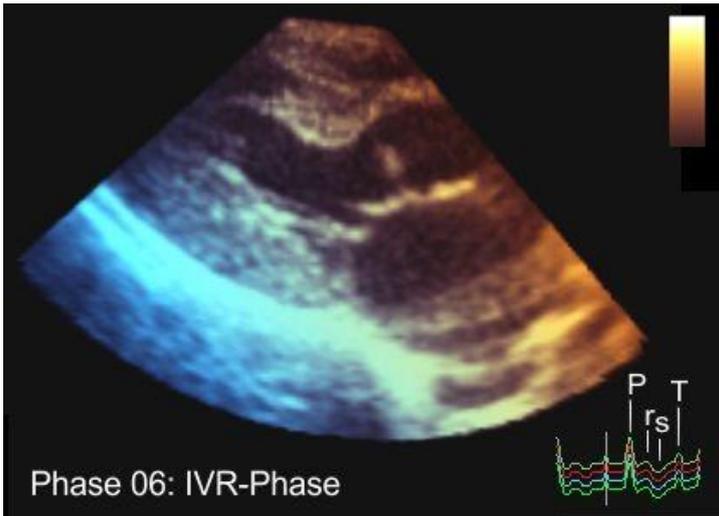
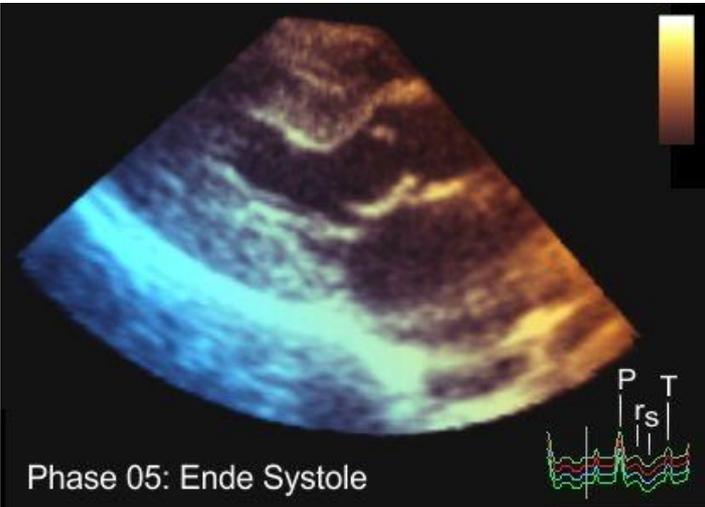
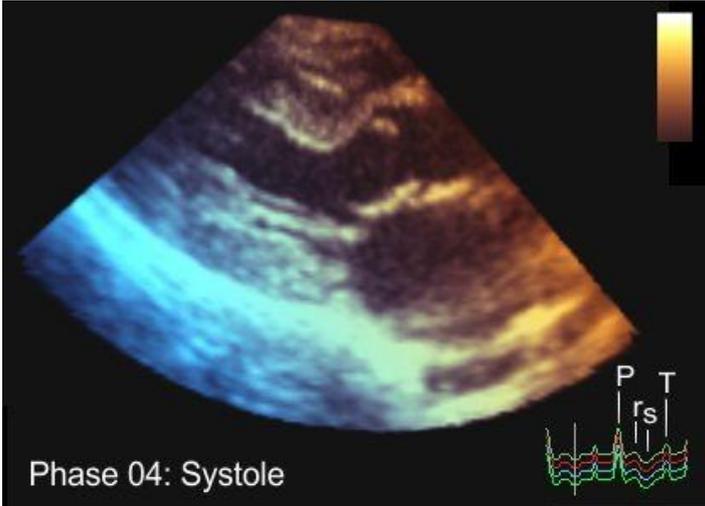
Abbildung 5: Screenshot der MPR - Ansicht Patient A Phase 1: Ebene I, II und III mit getrimmtem Frustum in Phase 1 bei Einzelbild 0050

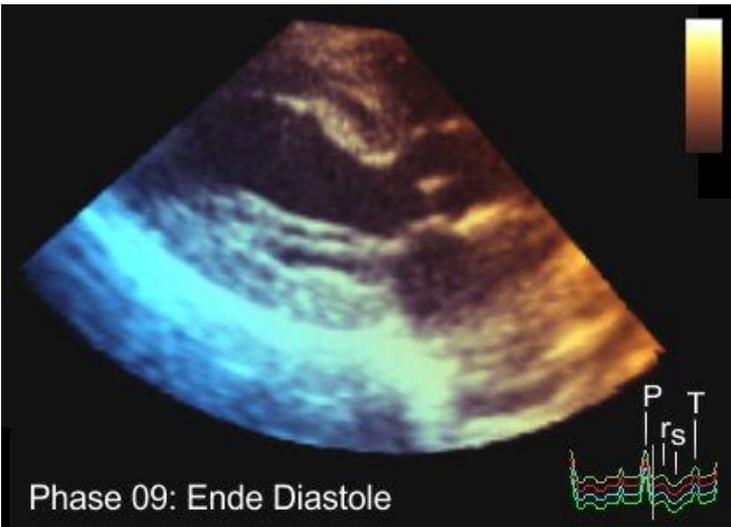
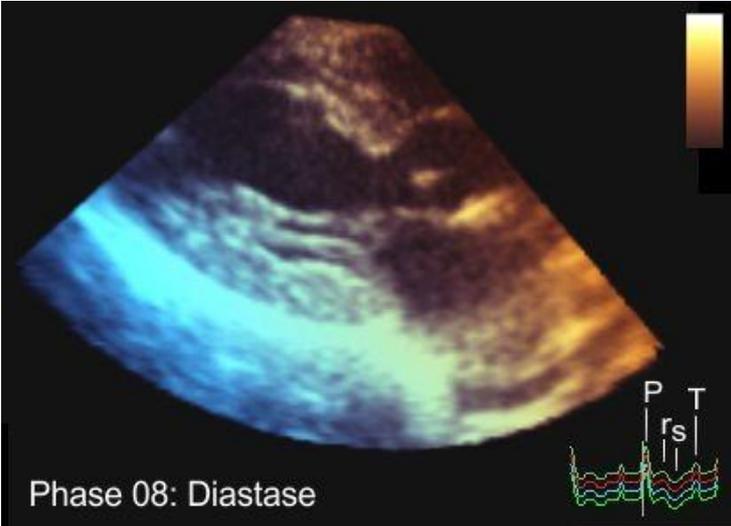
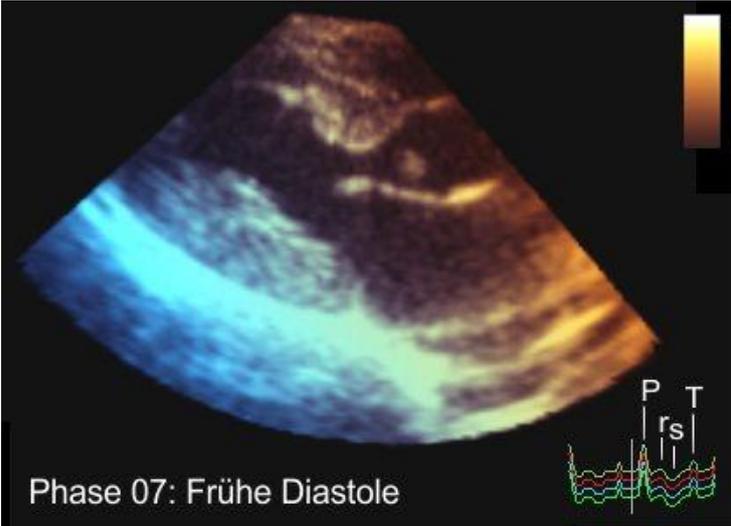
Wie bei einer 2D-Ultraschallsequenz und jeder Filmsequenz, können die zeitlich aufeinanderfolgenden Phasen der Herzaktion als Standbild eingefroren werden. Somit ergeben sich aus jedem ungetrimmten Frustum nochmals mehrere einzelne Herzphasen im Freeze-Modus. Lässt sich also eine 3D-Sequenz zeitlich gesehen in 14 einzelne Phasen unterteilen, so ergeben sich 14 einzelne Phasen der Herzaktion, die die verschiedenen Herzzyklen zeigen. Die folgenden Abbildungen zeigen die 14 verschiedenen Herzaktionen bzw. Phasen von Patient A jeweils mit auf der P-Welle getriggertem EKG.

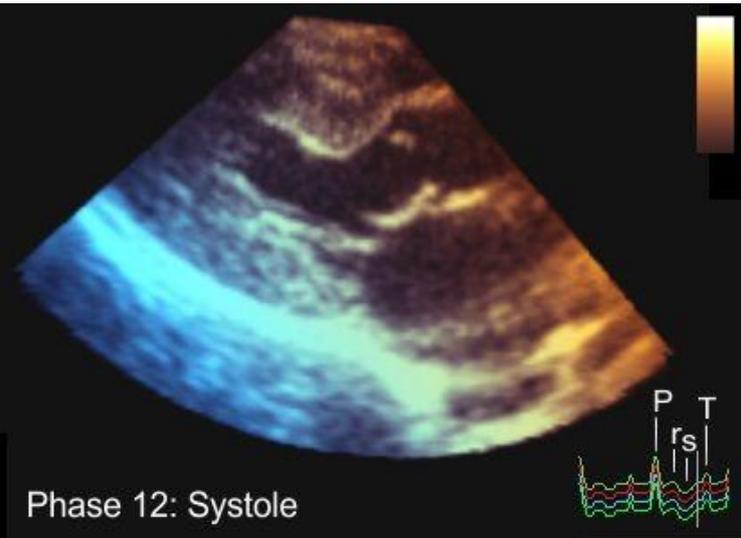
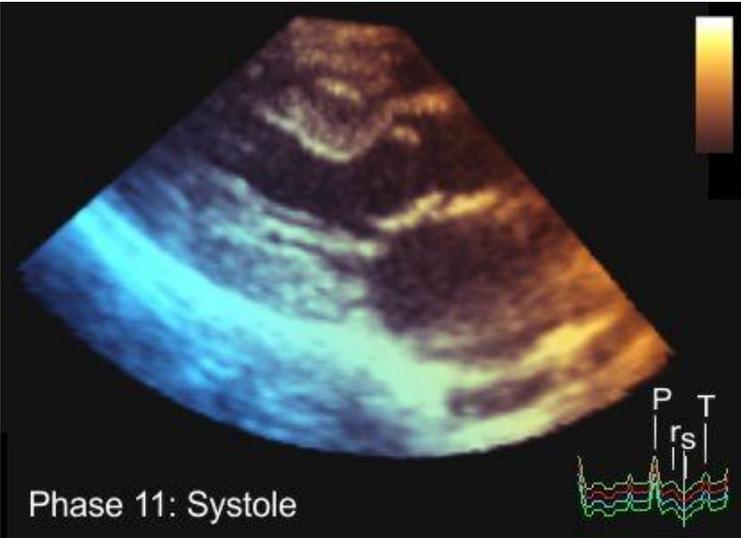
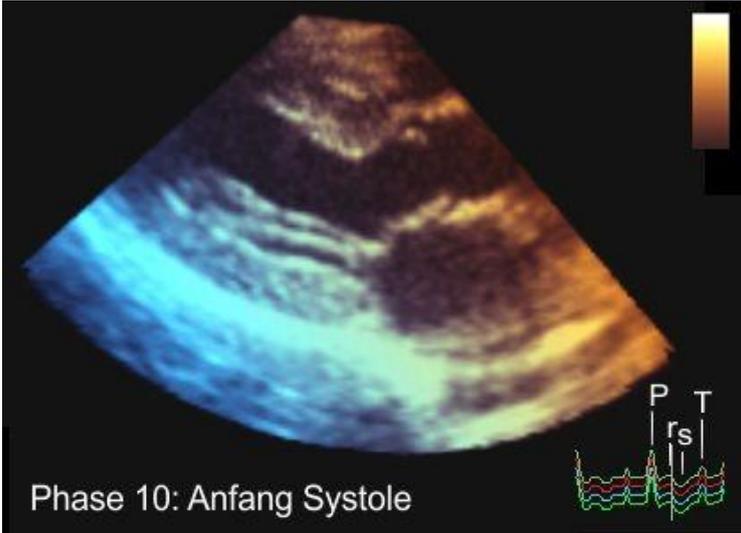
Material und Methoden

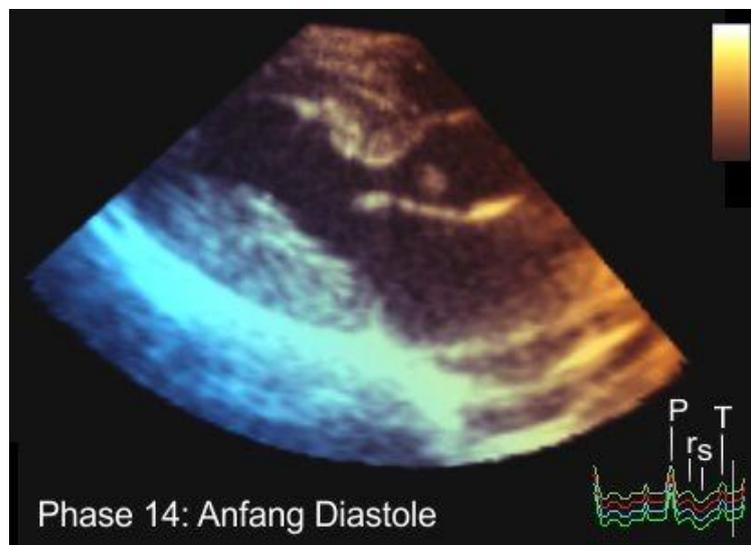
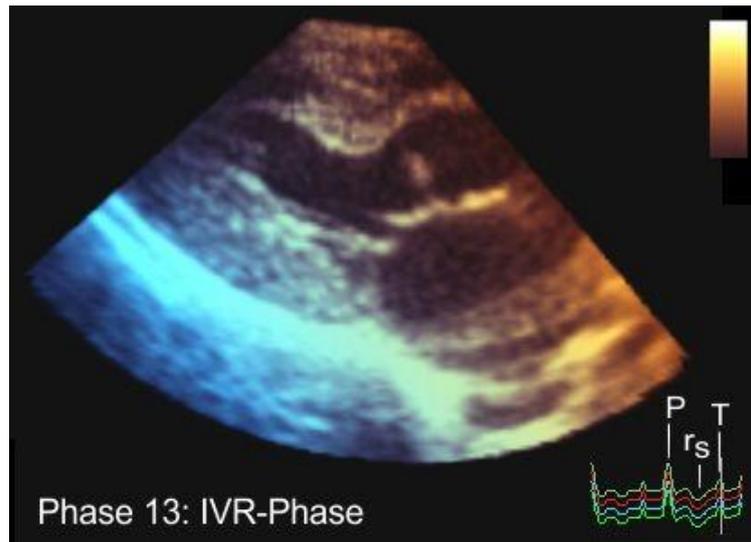
Abbildungen 6-19: Verschiedene Phasen am Beispiel von Patient A (vgl. Bildbeschriftung)











Jede einzelne Phase kann mit Hilfe einer Quantifizierungssoftware in einer Ansicht dargestellt werden, in der die drei orthogonalen Ebenen (die jeweils eigentlich geschaltete Ansicht (hier im Beispiel: Längsachse von rechts parasternal), die dazu senkrechte Ebene (Kurzachse) und die wiederum dazu senkrechtstehende Ebene) und die jeweilige Phase parallel zu sehen sind. Auch in dieser Ansicht werden Ebene I-III farblich gekennzeichnet.

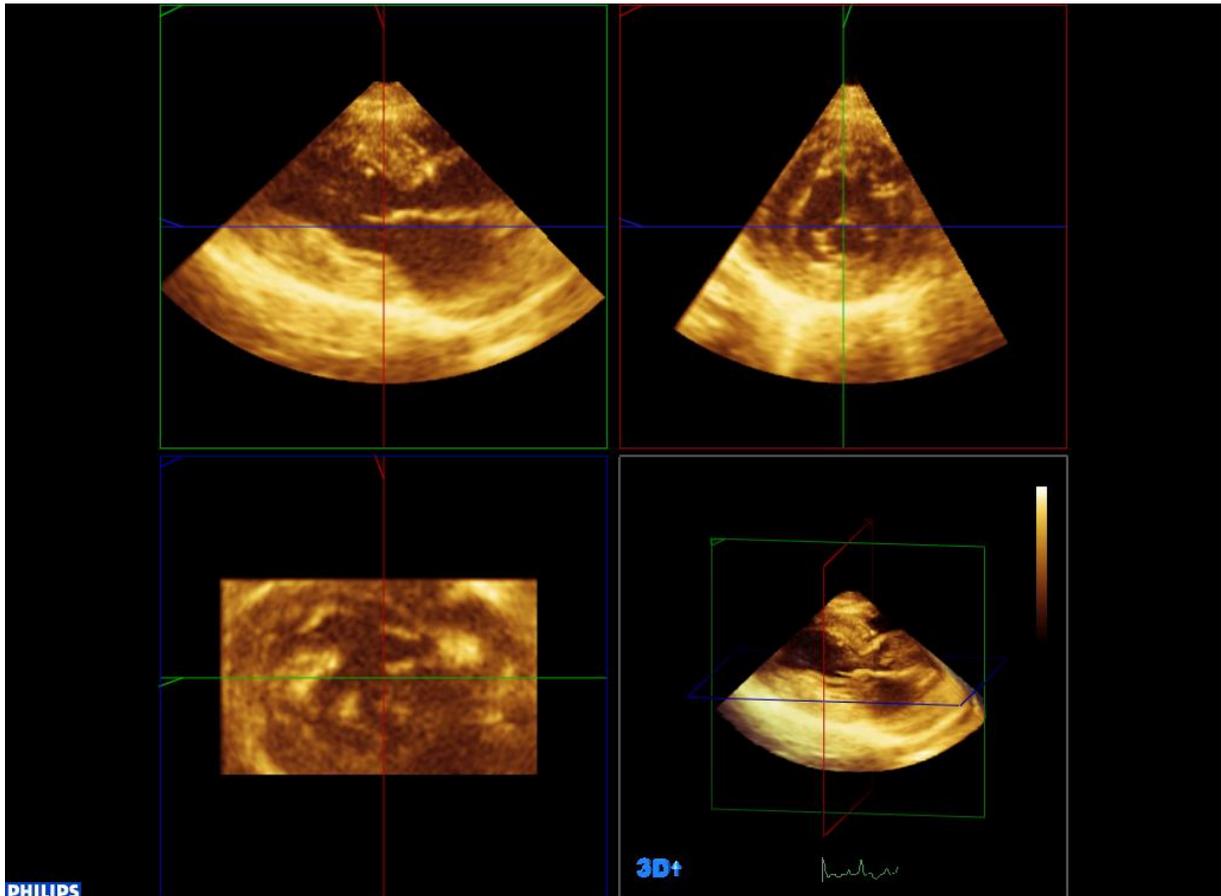


Abbildung 20: Screenshot Patient A, MPR-Ansicht: Ebene I (im Bereich Einzelbild 0050), II und III und angeschnittenes Frustum in Phase 01

Da es sich um eine dreidimensionale Ansicht handelt, besteht jede dieser einzelnen Phasen der Herzaktion wiederum in der dritten Dimension aus 100 aneinandergereihten Einzelbildern, angefangen von dem dem Betrachtenden räumlich am nächsten liegenden Einzelbild, bis hin zu dem das vom Betrachter aus gesehen am weitesten entfernt ist: folglich in einem dreidimensionalen Koordinatensystem entlang der z-Achse aneinander gereihten Bildern. Diese Bilder sind die kleinsten Untereinheiten in die ein Frustum und somit auch die einzelnen Phasen 1-14 bei Patient A zerlegt werden können. Im dreidimensionalen Raum wird die grüne Ebene (Ebene I) auf den Betrachter zu oder vom Betrachter weg verschoben. Die jeweilige Einheit, um die Ebene I mit einem Mausklick, entsprechend der Schichtdicke der Einzelbilder verschoben wird, ist gleichzusetzen mit den Einzelbildern 0001 – 0100.

Um jedes Einzelbild einzufärben und anschließend wieder zu einer Filmsequenz zusammensetzen, muss folglich jedes ungetrimmte Frustum, also die Gesamtultraschallsequenz in 3D, in die zeitlichen, den Herzzyklen entsprechenden Phasen und ihre entsprechend getrimmten Frusta zerlegt werden und diese wiederum in ihre Einzelbilder entlang der räumlichen z-Achse: also die Einzelbilder die entstehen, wenn Ebene I im Raum bewegt wird. Das Trimmen oder Schneiden der Frusta ist in allen drei orthogonalen Ebenen möglich. Da die Bearbeitung und Einfärbung der Einzelbilder jedoch lediglich in der tatsächlich geschallten Schallebene erfolgt und um die Bilder nicht zu verkippen, wurde nur Ebene I im Raum bewegt.

### **3.3 Auswahlkriterien der DICOM Sequenzen aufgrund ihrer Qualität**

Um eine möglichst hohe Bildqualität zu gewährleisten, mussten verschiedene Kriterien bei der Auswahl der Ultraschall DICOM Sequenzen der einzelnen Patienten berücksichtigt werden.

In erster Linie mussten von den erkrankten Patienten diejenigen ausgewählt werden, deren veränderte Herzen in jeder der orthogonalen Ebenen I-III möglichst annähernd vollständig in das Frustum passten, da die Möglichkeit das gesamte Herz zu untersuchen gegeben sein musste und kein Bereich des Herzens fehlen sollte. Passt ein größerer Bereich des Herzens nicht ins Frustum, so entsteht der Eindruck das Herz habe ein „Loch“ (DECKER, 2014). Das Herz des jeweiligen feline Patienten musste jedoch nicht nur in der normalen Schnittebene einer rechten parasternalen Längsachse annähernd vollständig in das Frustum passen, sondern auch in den anderen für die Untersuchung relevanten Ebenen, wie zum Beispiel einem Kurzachsenschnitt auf Klappenebene, der in der MPR (multi-planar-reconstruction)-Ansicht der rot gekennzeichneten Ebene II entspricht. Trotz der relativ kleinen Größe des Katzenherzens passt bei vielen Patienten nicht das vollständige Herz in das Frustum, vor allem wenn sich die Form und die Maße des Herzens aufgrund von Erkrankungen bereits verändert haben. Oftmals ist die Herzspitze nur anteilig abgebildet, aber bei der Erstellung der Aufnahmen wurde der Schwerpunkt darauf gelegt, vor allem veränderte Vorhöfe, Herzklappen und das Septum vollständig in Frustum und Bild darzustellen.

Als zweites Kriterium mussten von den Patienten, deren veränderte Herzen vollständig im Frustum zu sehen waren, auf den Originalbildern alle relevanten Strukturen erkennbar sein ohne Ebene I –III verschieben zu müssen. Die Originalschnittebene sollte nicht verändert und es sollten keinerlei Strukturen eingefügt bzw. verändert werden müssen, um die Kontinuität zu erhalten.

In Q-Lab Version 7.1 wird das Frustum in der Originalschnittebene, sowie in drei orthogonalen Ebenen als MPR (multi-planar reconstruction) angezeigt (siehe oben). Somit konnten bei der Auswahl geeigneter Aufnahmen auf einen Blick alle Ebenen erfasst und auf die annähernd vollständige Abbildung des gesamten Herzens und der relevanten Strukturen wie Septum interventriculare, Ventriculus dexter und sinister, Atrium dexter und sinister, Valva mitralis, Valva aortae, Valva tricuspidalis und gegebenenfalls ein VSD (Ventrikelseptumdefekt) geachtet werden.

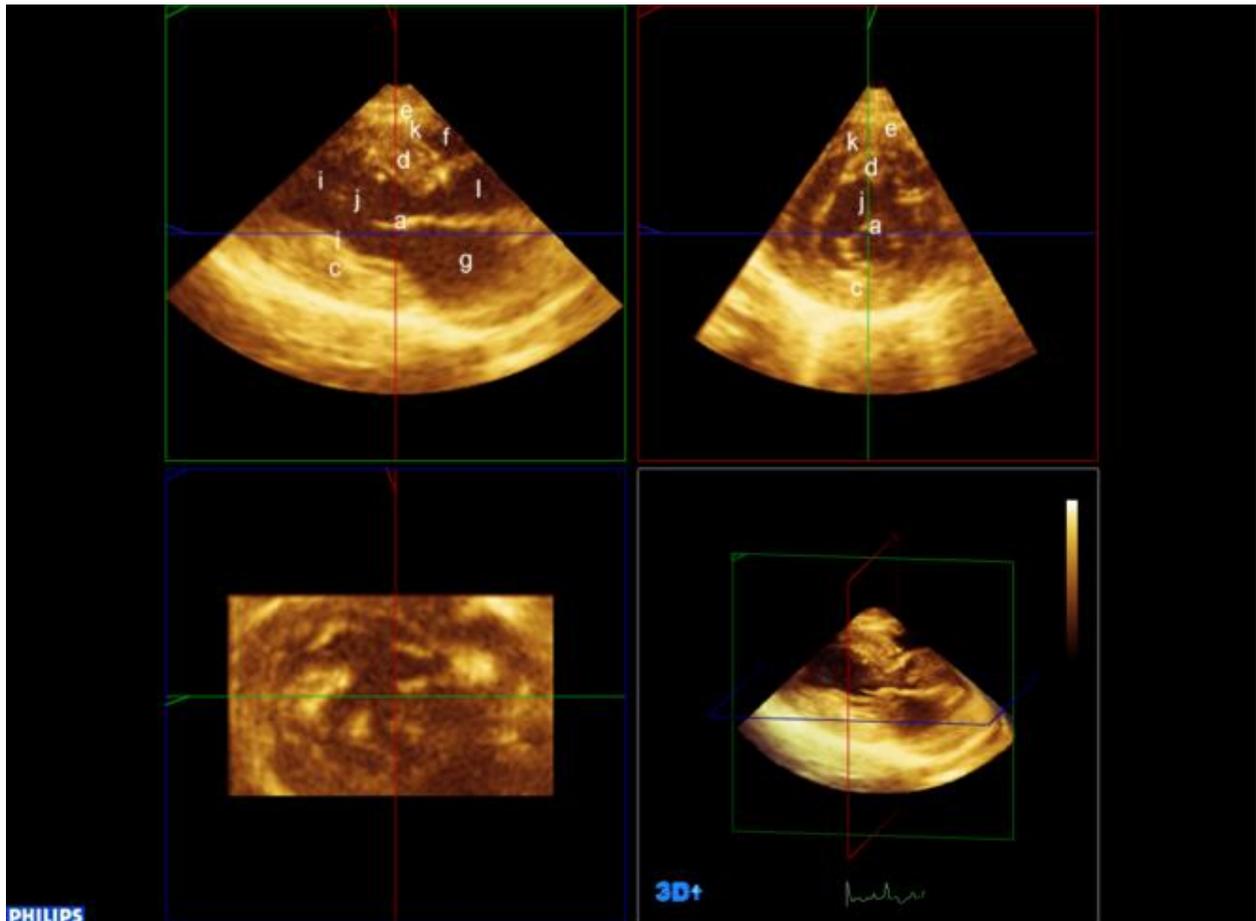


Abbildung 21: Screenshot Patient A Bild 1, MPR –Ansicht, Ebene I und II mit gekennzeichneten Herzstrukturen und getrimmtes Frustum in Phase 01

Oben links: Längsachse von rechts parasternal, alle relevanten kardiologischen Strukturen erkennbar

Oben rechts: Kurzachse von rechts parasternal auf Höhe der Papillarmuskeln, alle relevanten Strukturen erkennbar

Unten links: dritte errechnete Ebene III

a= Valva mitralis, b = Valva aortae, geschlossen, c = Wand des Ventriculus sinister, d = Septum interventriculare, e = Wand des Ventriculus dexter, f = Valva tricuspidalis, g = Atrium sinistrum, h = Atrium dextrum, i = Musculi papillares, j = Lumen des Ventriculus sinister, k = Lumen des Ventriculus dexter, l = Aorta

Die Bildqualität hinsichtlich Schärfe und Auflösung, als auch die Kontinuität der Aufnahmen spielte eine große Rolle, da die spätere Ultraschallsequenz im Simulator keinerlei Unregelmäßigkeiten in der Bildabfolge und auch keine Bewegungsunschärfe aufweisen durfte. Somit waren Bildqualität und Schärfe sowie die Kontinuität das dritte ausschlaggebende Kriterium für die Auswahl der Sequenzen.

Das vierte ausschlaggebende Kriterium war die originalgeschaltete Schnittebene: Als geschaltete Schnittebene für die erkrankten Patienten wurden die Aufnahmen in der Ansicht Längsachse parasternal von rechts gewählt. Der Grund dafür war, dass ein Ventrikelseptumdefekt (VSD) in dieser Ebene am besten darzustellen ist (CÔTÉ et al., 2011b).

## Material und Methoden

Anhand dieser vier Auswahlkriterien wurden schließlich zwei herzkrankte Patienten ausgewählt, davon ein Patient mit einem VSD und ein Patient mit Aorteninsuffizienz und hypertropher Kardiomyopathie (HCM). Zusätzlich wurde noch ein herzgesunder Patient ausgewählt, da bisher nur ein herzgesunder Patient mit der Schnittebene Vier-Kammer-Blick von links apikal bearbeitet worden war (DECKER, 2014) und somit noch die farblich bearbeitete Aufnahme eines herzgesunden Patienten, in der gleichen Schnittebene und von der gleichen Seite geschallt wie die der erkrankten Patienten, benötigt wurde.

Im Original 3D-Datensatz sind alle Frusta und Bilder gelb bzw. ockerfarben. Um jedoch aus dem 3D Datensätzen realistische 2D Bildsätze zu simulieren, wurde die gelb bzw. ockerfarbene Färbung entfernt und alle Bilder und Einzelbilder schwarz-weiß abgespeichert.

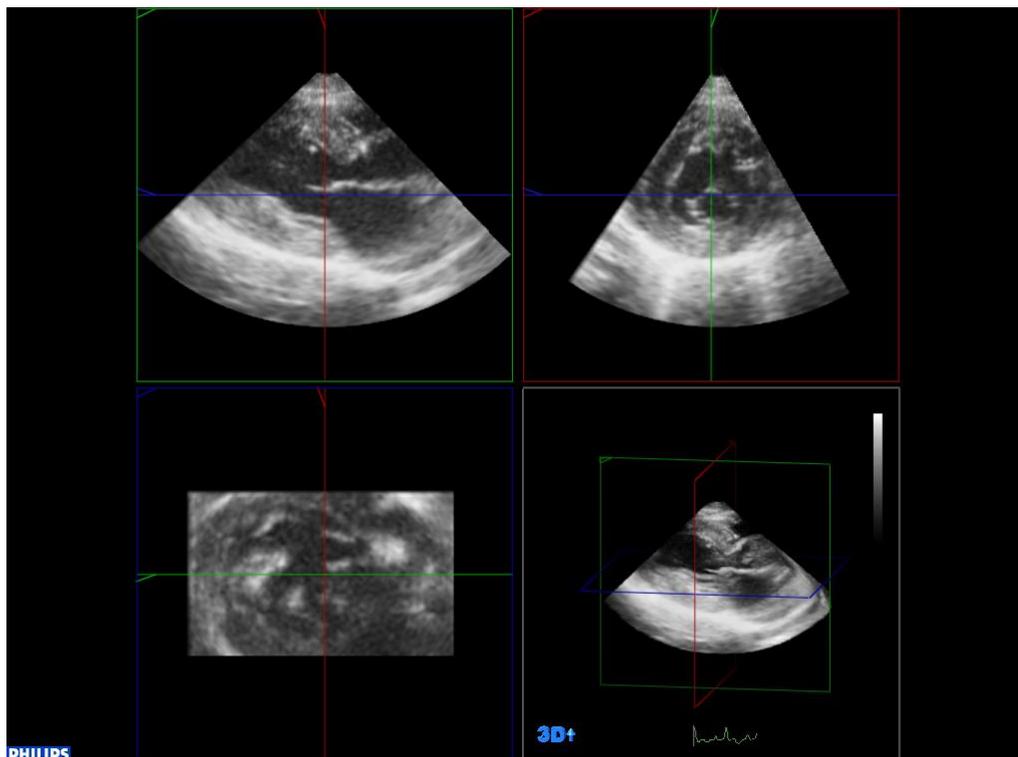


Abbildung 22: Screenshot MPR Ansicht Patient A: Ebene I, II und III, Phase 1 schwarz-weiß

Die DICOM Sequenzen folgender Patienten wurden ausgewählt:

Tabelle 1:

Patient	Rasse	Geschlecht	Gewicht (kg)	Alter	Diagnose
A	EKH	Wk	4,0	16 Jahre	HCM, Aoi
B	NWK	M	1,8	6 Monate	VSD
C	MC	M	4,4	10 Monate	herzgesund

### **3.3.1 Detaillierte Aufstellung der Auswahlkriterien für Patient A**

Die angefertigten Messungen und Untersuchungen von Patient A im 2D-Bild, M-Mode und Doppler zeigten eine basisnahe Verdickung des Myokards und Veränderungen der Papillarmuskeln. Die Aortenklappeninsuffizienz wurde mit Farbduplex von rechts parasternal in der Längsachse und von links apikal mit Fünfkammeransicht nachgewiesen. Der linke Vorhof war sowohl im Verhältnis zu Aorta als auch absolut vergrößert.

Patient A wurde ausgewählt, da er an einer Hypertrophen Kardiomyopathie, der häufigsten erworbenen Herzerkrankung der Katze, und an einer Aorteninsuffizienz erkrankt ist, die tatsächlich geschallte Ebene Längsachse parasternal von rechts entsprach und die durchgeführten Messungen die kardiologischen Diagnosen bestätigten. Außerdem sind Mitralklappe, Aortenklappe, rechter und linker Ventrikel, der vergrößerte linke Vorhof und die vergrößerten Papillarmuskeln gut zu erkennen und vollständig im Frustum abgebildet. In der Sequenz sind keinerlei Sprünge zu erkennen und die relevanten Strukturen sind erkennbar ohne Ebenen zu rotieren oder zu verschieben. Im Farbdoppler konnte auch die Aorteninsuffizienz gut dargestellt werden, was ein weiteres Kriterium war, da eine Videosequenz des Farbdopplers später im Simulator zu sehen sein sollte. Im Bild nicht zu sehen ist die vollständige Herzspitze, was jedoch für dieses Krankheitsbild zu Gunsten von Papillarmuskeln, vergrößertem Vorhof und Aortenklappe vernachlässigt werden kann. Im Gegensatz zu anderen Datensätzen von Patienten die an HCM erkrankt waren, konnte der gesamte linke Vorhof und die anderen relevanten Strukturen im Frustum abgebildet werden, was bei hochgradig vergrößerten Vorhöfen und /oder stark verformten Herzen oft problematisch ist.

### **3.3.2 Detaillierte Aufstellung der Auswahlkriterien für Patient B**

Die durchgeführten Messungen im 2D-Bild und M-Mode sowie im Farbdoppler von Patient B bestätigten das Vorliegen eines Ventrikelseptumdefekts (VSD).

Patient B wurde ausgewählt, da er an der häufigsten angeborenen Herzerkrankung der Katze, einem Ventrikelseptumdefekt (VSD) erkrankt war, die Farbdoppleruntersuchung die kardiologische Diagnose bestätigte und die tatsächlich geschallte Ebene Längsachse parasternal von rechts ist. Bei Patient B ist der VSD auch ohne Farbdoppler zu erkennen, der linke Vorhof, Aorta, linker Ventrikel, Herzseptum mit VSD, rechter Ventrikel und Vorhof sind gut erkennbar und vollständig im Frustum abgebildet, lediglich der ventrale Teil der Herzspitze fehlt. Theoretisch sind keinerlei Sprünge erkennbar und die relevanten Strukturen sind erkennbar, ohne Ebenen verschieben oder rotieren zu müssen. Patient B ist der einzige der drei Patienten mit VSD, bei dem es trotz der Schwere der Erkrankung möglich war eine 3D-Untersuchung durchzuführen, bei der Sequenzen ohne Bewegungs- oder Atemsprüngen aufgenommen werden konnten, also die Bildqualität in geeignetem Maße gewährleistet ist.

### 3.3.3 Detaillierte Aufstellung der Auswahlkriterien für Patient C

Patient C ist ein gesunder Patient, die tatsächlich geschallte Ebene ist Längsachse von rechts parasternal. Diese Kriterien passen zu den Patient A und B, weiterhin sind in der 3D-Sequenz keinerlei Sprünge erkennbar und das Herz passt nahezu vollständig in das Frustum. Auch bei Patient C sind alle relevanten Strukturen erkennbar ohne die Ebenen zu verschieben oder zu rotieren.

Die bei Patient C durchgeführten Messungen im 2D-Bild und M-Mode sowie die Farbdoppler-Untersuchung bestätigten, dass es sich um einen herzgesunden Patienten handelt.

Tabelle 2:

Patient/ Frustum:	Echokardiogra- phische Originalansicht: aufgenommene Zyklen	Aufgenommene Bilder:	Herzfrequenz:  Schläge pro Minute	Bildrate:
A	Sys:7 Dia:7	14	172	20 Hz
B	Sys:6 Dia:6	12	172	19 Hz
C	Sys:10 Dia:6	16	176	25 Hz

### 3.4 Nummerieren und Speichern der Bilder

Mit der Quantifizierungssoftware Q-Lab Version 7.1 wurden die Ultraschallsequenzen der drei ausgewählten Patienten abgespielt, die Originalfärbung ausgeblendet, somit in schwarz-weiß betrachtet und schließlich wie folgt in die kleinste Einheit Einzelbilder zerlegt: die Sequenzen wurden zuerst in ihre jeweiligen der Zeit und Herzzyklen entsprechenden Frusta im Standbild zerlegt und als alleinige Ansicht wurde Ebene I (grüner Rahmen) bildschirmfüllend angezeigt.

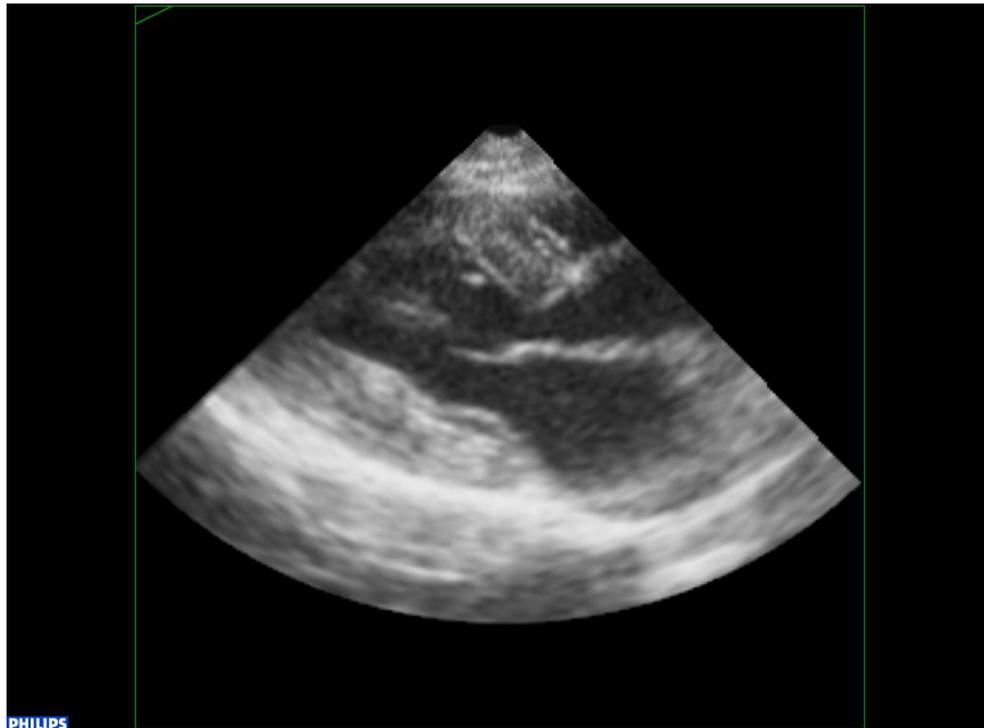


Abbildung 23: Screenshot Patient A, Einzelbild 01-0050 schwarz-weiß in Ebene I, unbearbeitet

Dadurch ergaben sich von Patient A 14, bei Patient B 12 und bei Patient C 16 Phasen der Herzaktion. Jede dieser Phasen wurde wiederum in seine jeweiligen 100 Einzelbilder zerlegt, in dem Ebene I entlang der z-Achse im Raum verschoben wurde und davon Screenshots angefertigt. Jedes dieser kleinsten Einheit an Einzelbildern wurde als Screenshot im .bmp-Format abgespeichert. Die Benennung der Phasen wurde von 1-12 bzw. 14 bzw. 16 gewählt. Die jeweiligen Einzelbilder wurden nach folgendem Schema: Buchstabe des Patienten, gemäß dem zugehörigen Bildes 01,02,03.....12, bzw. 14, bzw. 16 und der jeweiligen Einzelbildnummer 0001 bis 0100 fortlaufend nummeriert.

Abbildungen 24-28: Screenshot Reihe von Einzelbildern unbearbeitet .bmp-Format:



Abbildung 24: A 07-0001 unbearbeitetes Einzelbild ohne Abbildung des Ultraschallbildes und Herzens

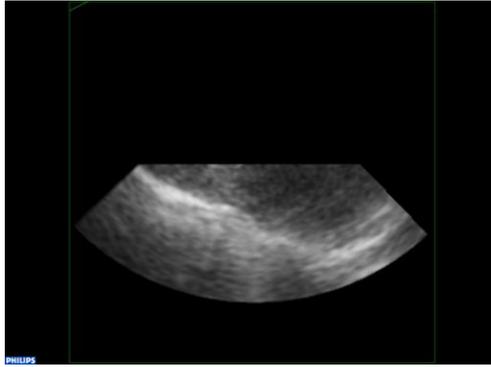


Abbildung 25: A 07-0025 unbearbeitetes Einzelbild auf dem die linke Herzhälfte teilweise zu sehen

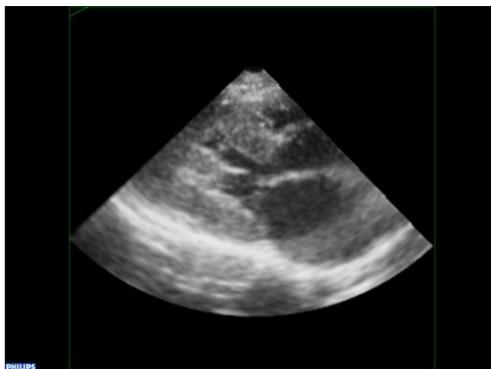


Abbildung 26: A 07-0050 unbearbeitetes Einzelbild mit Ansicht einer vollständigen Längsachse parasternal von rechts

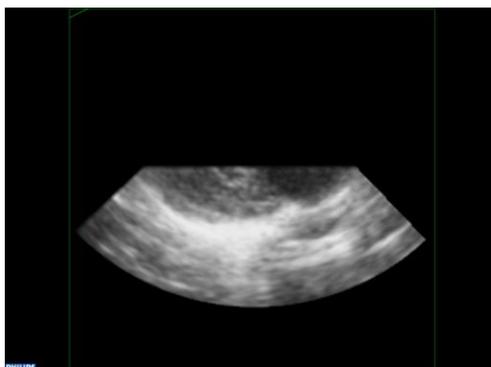


Abbildung 27: A 07-0075 unbearbeitetes Einzelbild mit einem Teil der linken Herzhälfte und des linken Vorhofs

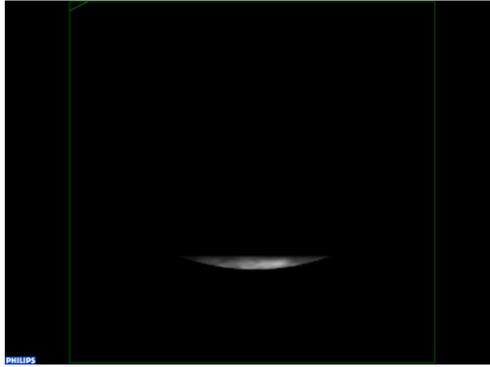


Abbildung 28: A 07-0100 unbearbeitetes Einzelbild mit unterstem Rand des Ultraschallkegels

Durch diese Zerlegung der Bilder entstanden für jede Phase der Herzaktion, 01 bis 12 (Patient B), 14 (Patient A) bzw. 16 (Patient C) jeweils weitere 100 Einzelbilder, also für Patient A insgesamt 1400 Einzelbilder, für Patient B 1200 und für Patient C 1600 Einzelbilder, die jeweils von 0001 bis 0100 durchnummeriert waren. Die Bilder wurden unter Berücksichtigung des Patienten, der Herzphase und des Einzelbildes wie folgt benannt:

Beispiel: Patient A Herzphase 07 - Einzelbild 50 => A 07-0050

### 3.5 Bearbeiten der Einzelbilder

Die Bearbeitung der Einzelbilder im .bmp-Format erfolgte mit Corel Photo Paint Home and Student. Auf den Einzelbildern 0001 bis 0015 und 0091 bis 0100 war das Herz in der Regel nicht zu sehen und somit mussten weder die Endokardgrenzen verdeutlicht, noch die linken und rechten Herzhälften rot bzw. blau eingefärbt werden, die Bilder konnten folglich im Originalzustand belassen werden. Die einzelnen .bmp-Dateien, auf denen das Herz partiell oder vollständig zu sehen war, wurden in Corel Photo Paint X5 Home and Student geöffnet. Um die Endokardgrenzen zu verdeutlichen wurde das Lumen des linken und rechten Ventrikels, sowie des linken und rechten Atriums und der Aorta etwas geschwärzt, aber Strukturen wie Mitralklappe, Sehnenfäden und Papillarmuskeln nicht gefärbt und dadurch verdeutlicht. Es wurden die Farbkanäle: R:0, G:0, B:0 verwendet. Die Deckkraft wurde bei 60% eingestellt und die Ränder weich verlaufend dargestellt.

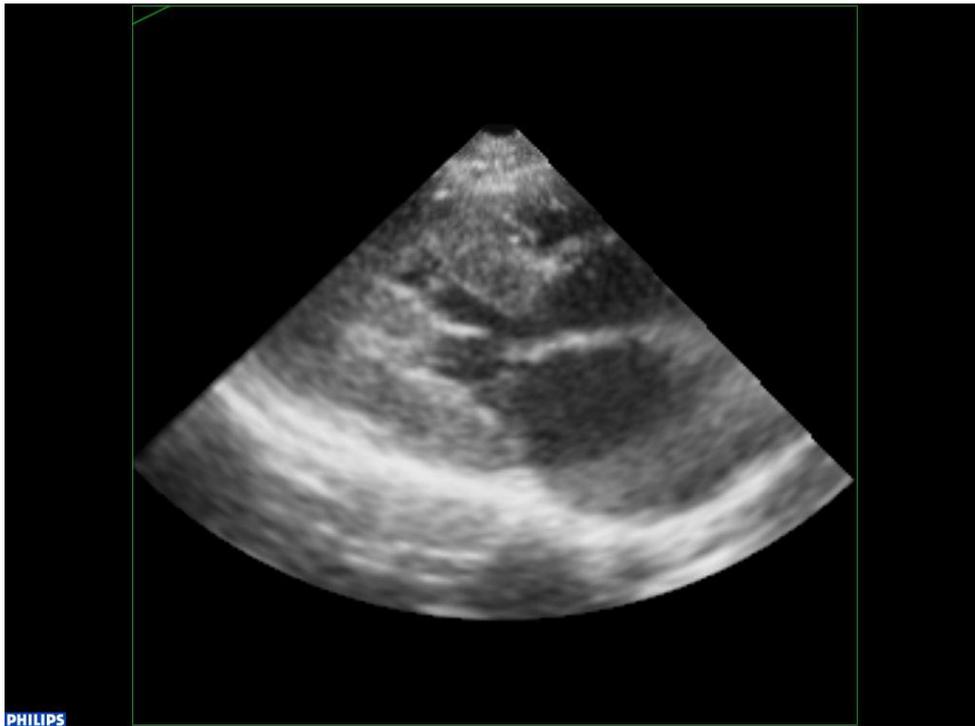


Abbildung 29: 07-0050 Original Screenshot aus Q-Lab Version 7.1 Philips Healthcare, Hamburg, unbearbeitet

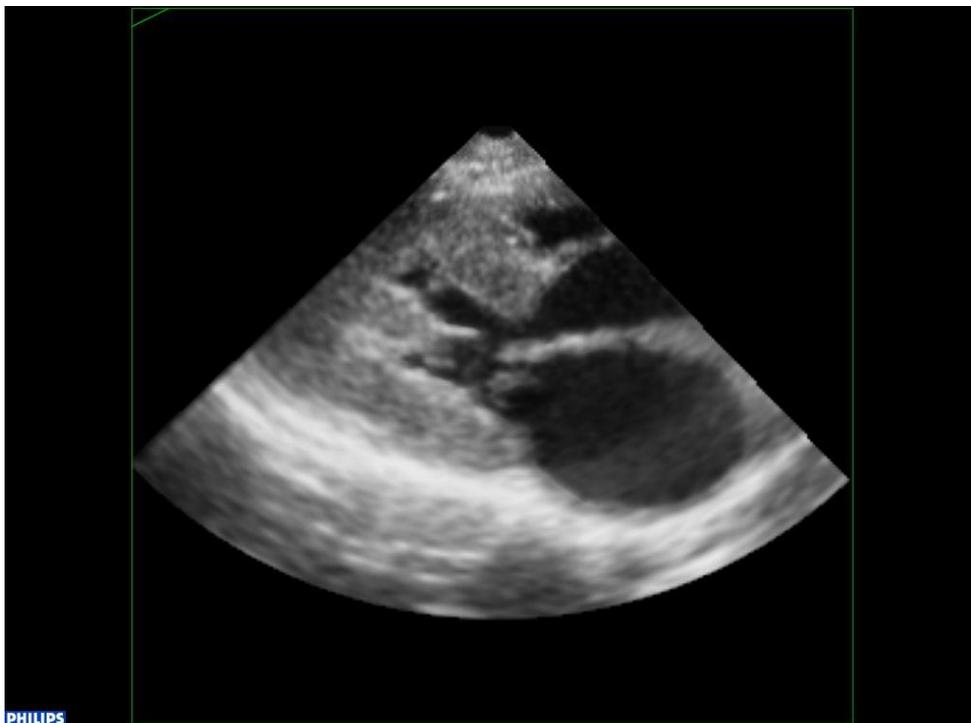


Abbildung 30: Patient A Bild 07-0050 Lumina der Ventrikel, Vorhöfe und Aorta mit schwarzer Farbe eingefärbt, Mitralklappe und Papillarmuskeln nicht schwarz gefärbt

## Material und Methoden

Im weiteren Verlauf wurden die linke Herzhälfte und das Herzseptum mit roter Farbe Kanäle R: 255, G: 0, B: 0 eingefärbt, die Ränder weichgezeichnet und die Deckkraft auf 50% verringert.

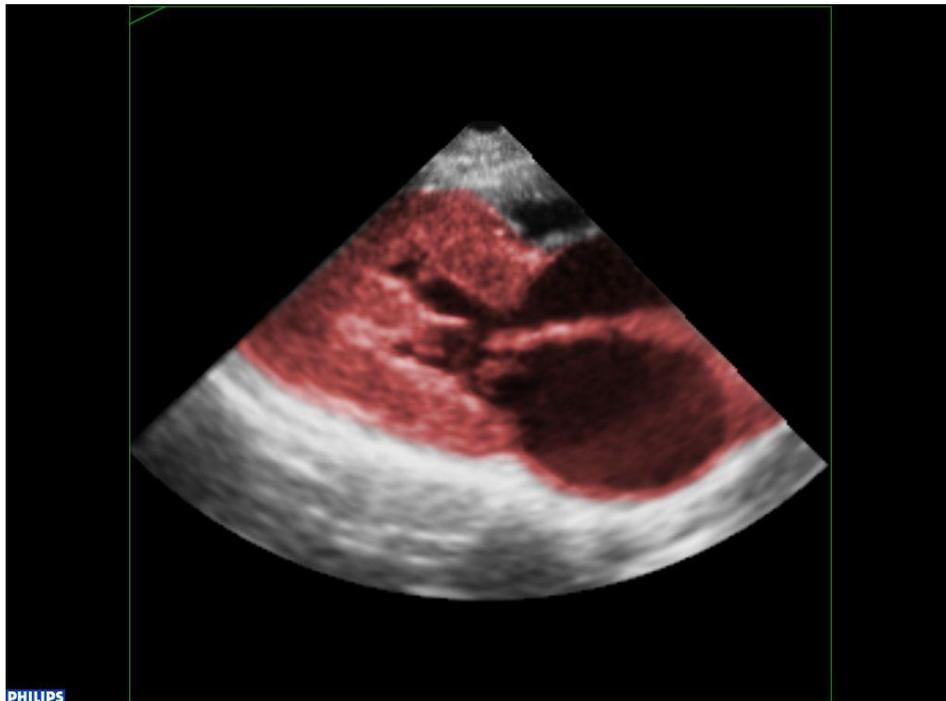


Abbildung 31: Patient A Bild 07-0050 geschwärzt und linke Herzhälfte und Septum rot eingefärbt

Anschließend wurde die rechte Herzhälfte mit blauer Farbe Kanäle R: 102, G: 153, B: 255 koloriert. Die Ränder wurden ebenfalls weich gezeichnet und die Deckkraft auf 60% herabgesetzt.

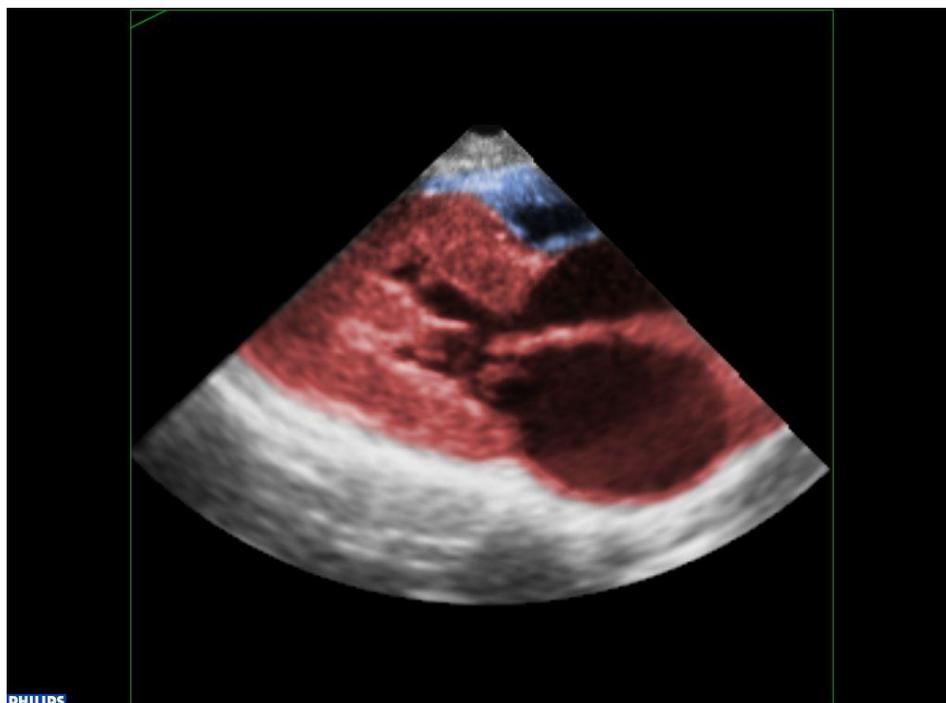


Abbildung 32: Patient A Bild 07-0050 geschwärzt, linke Herzhälfte und Septum rot und rechte Herzhälfte blau eingefärbt

## Material und Methoden

Jedes dieser Einzelbilder wurde zuerst als .cpt-Datei abgespeichert und anschließend in eine .bmp-Datei umgewandelt.

Im Verlauf des Einfärbens der Herzstrukturen der Einzelbilder wurden viele Ansichten eingefärbt, die bei einer normalen Ultraschalluntersuchung nicht dargestellt werden. Um die Kontinuität zu gewährleisten, musste bei jeder Phase die genaue Reihenfolge der Einzelbilder und der einzelnen Schritte des Einfärbens eingehalten werden, da es sonst zu Bildsprüngen in der späteren Sequenz kommen kann. Aus dem gleichen Grund mussten teilweise bei der Genauigkeit der Einfärbung zu Gunsten der Kontinuität leichte Abweichungen der Umriss des Herzens in Kauf genommen werden.

Abbildungen 33 - 37 Screenshots: Einzelbilder nach Bearbeitung



Abbildung 33: A 07-0001, Einzelbild ohne Abbildung des Ultraschallbildes und Herzens

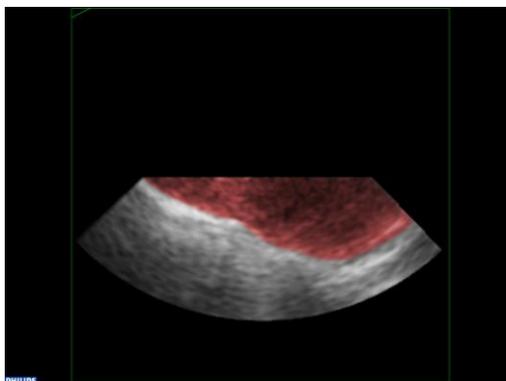


Abbildung 34: A 07-0025, Einzelbild auf dem die linke Herzhälfte teilweise zu sehen und eingefärbt ist

## Material und Methoden

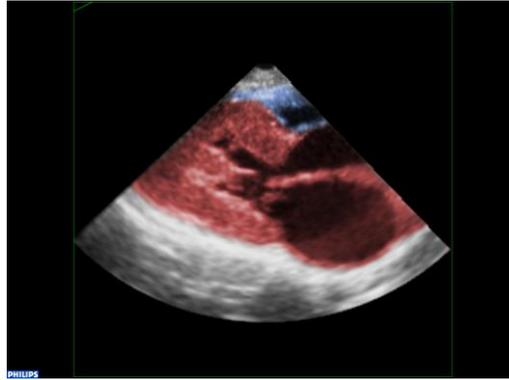


Abbildung 35: A 07-0050, Einzelbild einer vollständig eingefärbten, vollständigen Längsachse parasternal von rechts

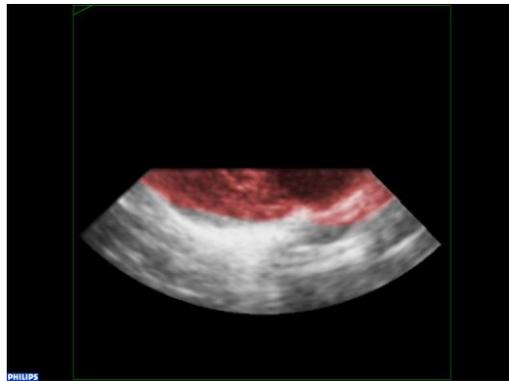


Abbildung 36: A 07-0075, Einzelbild mit teilweiser Ansicht der rot eingefärbten linken Herzhälfte und des schwarz eingefärbten Lumens des linken Vorhofs

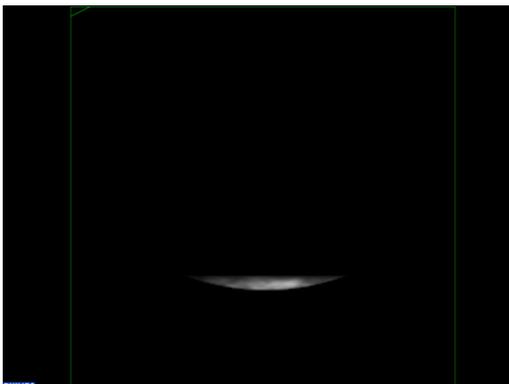


Abbildung 37: A 07-0100, Einzelbild mit unterstem Rand des Ultraschallkegels

Tabelle 3: Einzelbilder

	Phasen pro Frustum/ Patient	Insgesamt abgespeicherte Einzelbilder	Einzelbilder pro Phase/davon farblich bearbeitet	Insgesamt bearbeitete Einzelbilder
Patient A	14	1400	100/77	1078
Patient B	12	1200	100/70	840
Patient C	16	1600	100/59	944

Die Arbeitszeit für Speichern und Bearbeiten der Bilder kann mit ca. 550 Stunden angesetzt werden.

Die bearbeiteten Bilder im .bmp-Format wurden anschließend zu einer Filmsequenz zusammengefügt und in die fahrbare, einer Ultraschallkonsole nachempfundenen Computereinheit des Ultraschallsimulators für die Humanmedizin SonoSim III der Firma Sonofit GmbH, Darmstadt geladen.

## 4 Ultraschalltischplatten und Tischgestell

### 4.1 Tischgestell

Das Tischgestell wurde entworfen, konstruiert und aus handelsüblichen unbehandelten Fichtenkanthölzern, die mit Holzdübeln und Holzleim verbunden wurden, gebaut. Im Tischgestell wurde eine Aussparung zum späteren Einsetzen und Wechseln der Tischplatten vorgesehen.

Tabelle 4: Material für das Tischgestell

	Kanthölzer 4,5 x 4,5 x 30 cm Fichte	Kanthölzer 4,5 x 4,5 x 35cm Fichte	Kanthölzer 4,5 x 2,8 x 55cm Fichte	Holzdübel 1cm Durchmesser	Holzdübel 0,6cm Durchmesser
Anzahl	4	4	3	14	14

### 4.2 Tischplatten

Die Tischplatten wurden ebenfalls aus Fichtenholz gefertigt. Es wurden zwei Leimholzplatten mit Ausschnitten 20 x 21 cm angefertigt und mit ferrarirotem bzw. königsblauem Kunstleder bezogen. Das Kunstleder wurde im Online-Shop der Firma Stoffkontor, Winsen erworben. An der Unterseite der Holzplatte wurde eine Fichtenkantholzleiste 4,5 x 2,8 x 55 cm mit Holzdübeln und Express-Holzleim befestigt, die passgenau in die Aussparung im Tischgestell passt. Außerdem wurden vier

## Material und Methoden

Löcher in jede Platte gebohrt und jeweils drei Vertiefungen in dem Bereich wo die Katze zu liegen kommen sollte gebohrt.

Tabelle 5: Material Tischplatten

	Leimholzplatten Fichte 70 x 45 x 1,5 cm	Kunstleder königsblau 80 x 55 cm	Kunstleder ferrarirot 80 x 55 cm	Kantholz 4,5 x 2,8 x 55 cm Fichte
Anzahl	2	1	1	1

### 4.3 Befestigungsmöglichkeit Trackingsystem

Der Würfel des Magnet-Trackingsystem wurde auf einem eigenen am Tisch fixierten Podest befestigt. Es wurde ebenfalls aus insgesamt neun unbehandelten Fichtenkanthölzern konstruiert und gebaut.

Tabelle 6: Material Befestigungsmöglichkeit

	Kanthölzer Fichte 15 x 4,5 x 4,5cm	Kanthölzer Fichte 19,5 x 4,5 x 4,5cm	Kanthölzer Fichte 15 x 2,8 x 4,5 cm	Kanthölzer Fichte 19,5 x 2,8 x 4,5cm	Holzdübel Durchmesser 1cm
Anzahl	2	4	1	2	20

## 5 Modellkatzen/ Tierattrappen

### 5.1 Vorversuche

Gipsabdruck einer toten Katze

Als erster Versuch wurde ein Abdruck einer toten, aus anderen Gründen euthanasierten Katze gemacht, dieser Abdruck mit Gips ausgegossen und am Gipsabdruck Rippen gefräst, um eine Grundlage für eine Gussform zu erhalten.

Da heutzutage aber Modelle in der Regel sowohl für 3D-Drucke, als auch für Schaumstoffmodelle anhand von digitalen Vorlagen erstellt werden, wurde diese sehr aufwendige Variante verworfen.

Modifizierte handelsübliche Plüschkatze mit eingnähtem Kunststoffthorax

Als nächstes entstand die Idee eine Tierattrappe aus einem handelsüblichen Katzenplüschtier herzustellen. Um die Anforderungen an eine lebensechte Tierattrappe zu erfüllen, mussten jedoch einige Modifikationen vorgenommen werden. Es wurde eine lebensgroße, schwarze, asymmetrisch nach links schauende, liegende Plüschkatze der Firma EBO Plüschtiere, Erich Bohl Plüschspielwaren, Rödenthal ausgewählt, die so modifiziert werden konnte, dass sie die Anforderungen erfüllte. Die

## Material und Methoden

Wattefüllung wurde entfernt und durch einen Abnäher im Schulterbereich der rechten Seite konnte erreicht werden, dass die Katze sich annähernd symmetrisch von beiden Seiten darstellte. Um die Katze mit Merkmalen einer echten Katze auszustatten, wurde der Thorax einer Kunststoffnachbildung eines echten Katzenskeletts erhältlich bei der Firma Eickemeyer®, Medizintechnik für Tierärzte an der anatomisch korrekten Position in das Plüschfell eingenäht. Durch eine minimale Diskrepanz hinsichtlich der Größenverhältnisse von Plüschfell und Thorax, reichte die Wirbelsäule nicht vollständig bis zur Rückennaht des Fells. Das gesamte Fell inklusive Thorax wurde mit Granulex Soft Kunststoffgranulat, Firma Glorex, Schweiz prall gefüllt und die Rückennaht mit einer einstülpenden Schmiedennaht verschlossen.

Beim anschließenden Simulatortestlauf zeigte sich jedoch, dass der Katzenkörper und somit auch der zu schallende Bereich leicht eindrückbar und veränderbar war und die Plüschkatze somit nicht als Tierattrappe verwendet werden könnte. Auch die Reproduzierbarkeit war bei dieser Modellkatze nicht gegeben, außerdem lag sie ebenfalls nicht in digitaler Form vor, so dass auch diese Variante verworfen wurde.

### 5.2 Maßgefertigtes Plüschkatzenfell mit speziellem Schaumstoffkern

Schließlich wurde ein maßgefertigtes Plüschkatzenfell mit einem passenden Hartschaumstoffkern anhand eines vorher gefertigten Tonmodells in Auftrag gegeben. (siehe Ergebnisse)

Tabelle 7: Material maßgefertigtes Plüschkatzenfell

	Fellimitat Kunstpelz	Augen Glas	Augen reflektierend	Nylongarn für Schnurrhaare	Watte	Kunststoffgranulat
Anzahl/ Menge	1,5 x 1,5 m	2	2	1m	200 g	500g

Tabelle 8: Material Tonmodell

	Softton, weiß	Papier als Füllung
Anzahl/ Menge	4kg	300g

### 5.3 Unterlegkissen für den Untersucher

Da die Armlänge der unterschiedlichen Untersucher variiert, wurde ein Unterlegkissen angefertigt: königsblaues und ferrarirotes Kunstleder aus dem Online-Shop Stoffkontor, Winsen wurde zu einem Kissen zusammengenäht und mit Watte gefüllt.

Tabelle 9: Material Unterlegkissen

	Kunstleder ferrarirot 50 x 25 cm	Kunstleder königsblau 50 x 25 cm	Wattefüllung
Anzahl	1	1	700g

## IV Ergebnisse

### 1 Untersuchungstischplatten und Tischgestell

#### 1.1 Tischgestell

Beim Entwurf des Tischgestells und auch der Katzenmodelle mussten einige Faktoren berücksichtigt werden, hauptsächlich aufgrund der Funktionsweise des im SonoSim III verwendeten Magnet-Trackingsystems (vgl. Literatur), was dazu führt dass Sender und Empfänger sich immer im gleichen räumlichen Abstand zueinander befinden müssen, um an einer festgelegten Stelle immer ein definiertes Bild zu zeigen:

In erster Linie bestand das Problem, dass die Katze bzw. der zu schallende Bereich fest und immer in der gleichen Position in Relation zum Trackingsystem auf der Tischplatte fixiert sein muss. Dadurch ergibt sich die Problematik, dass bei einer echokardiographischen Untersuchung die Katze, aber von der linken und der rechten Seite untersucht werden muss. Folglich musste die Katze von beiden Seiten in der gleichen Position fest fixierbar sein oder aber es mussten zwei Katzenmodelle auf zwei Tischplatten angefertigt werden, eines auf der rechten und eines auf der linken Seite liegend fixiert. Da für den Simulator aber nur ein Trackingsystem zur Verfügung steht, musste ein Trackingsystem für beide Katzenmodelle genutzt werden können, das im unveränderlichen räumlichen Verhältnis zu beiden Katzen und Tischplatten steht. Die beste Lösung hierfür bestand darin, das Tracking System in einer definierten Position am Tischgestell zu befestigen und die Katzen mitsamt der Tischplatten **austauschbar** am Tischgestell zu fixieren.

Diese beiden Katzenmodelle mitsamt der Tischplatten mussten relativ einfach zu wechseln sein, gleichzeitig aber so am Tischgestell befestigt werden können, dass sie - und folglich bei der simulierten Untersuchung auch die an der Modellkatze angesetzte Sondenatmosphäre - sich immer in der gleichen räumlichen Position zum Sensor des Trackingsystems befinden. Daher wurde schon beim Entwurf für das Tischgestell berücksichtigt, dass die Tischplatten daran befestigt werden sollen und leicht auswechselbar sind. Hierfür wurde das Gestell so konstruiert, dass im oberen, hinteren Bereich des Tischgestells wo die Tischplatte aufliegt, zwischen dem hinteren und dem mittleren Kantholz, die die Konstruktionen der Seitenteile verbinden, eine Aussparung entstand, in die passgenau eine weitere Kantholzleiste passen sollte, die wiederum an der Tischplatte befestigt werden würde. Auf diese Weise kann die Tischplatte mit dem jeweiligen Katzenmodell über die an der Unterseite befestigte Kantholzleiste in das Tischgestell eingehakt werden. Da beide Tischplatten auf ihrer Unterseite mit einem Kantholz mit den gleichen Maßen in der gleichen Position versehen sind, passen beide Platten in die Aussparung im Gestell. Durch das Eigengewicht der Platten rasten sie fest und unbeweglich in das Gestell ein, können aber ohne großen Aufwand wieder abgehoben und gewechselt werden.

Gleichzeitig musste das Tischgestell auf eine Weise konstruiert und entworfen werden, dass die Modellkatze sowohl mit den Beinen zum Untersucher, als auch bei Bedarf mit den Beinen vom Untersucher weg, also über den Rücken, geschallt werden konnte. In diesem Fall musste der Untersucher die Seite des Tisches wechseln oder den Tisch drehen. Durch die Art der Anbringung der

## Ergebnisse

Verbindungskanthölzer der Seitenteile, ist aber gewährleistet, dass von beiden Seiten eine echokardiographische Untersuchung durchgeführt werden kann.

Außerdem ist die Rahmenkonstruktion so ausgelegt, dass Lehrpersonal mit unter den Tisch greifen und den Studierenden oder Tierärztinnen und Tierärzten die Hand mit der Ultraschallsonde zu Lehrzwecken führen kann.

Das Gestell des Ultraschalltisches wurde aus handelsüblichen, unbehandelten Fichtenkanthölzern gebaut. Zuerst wurden Kanthölzer mit Durchmesser 4,5 x 4,5 cm in 30 bzw. 35 cm lange Stücke zersägt. Benötigt wurden insgesamt vier 30 cm lange Stücke und vier 35 cm lange Stücke. Daraus entstand die rechteckige Rahmenkonstruktion der Seitenteile: die 35 cm langen Holzstücke wurden als Tischbeine für den Ultraschalltisch verwendet und mit den 30 cm langen Stücken am oberen und unteren Ende verbunden. Die Verbindung der einzelnen Kanthölzer erfolgte über Holzdübel mit den Durchmessern 1 cm und 0,6 cm. Für die Holzdübel wurden die Positionen angezeichnet, mit einem Holzbohrer vorgebohrt und schließlich wurden die Dübel eingesetzt und mit schnelltrocknendem Holzleim verleimt. Als Verbindungsstücke der Seitenteile wurden ebenfalls unbehandelte Fichtenkanthölzer allerdings mit den Maßen 4,5 x 2,8 cm verwendet. Sie wurden auf die Länge 55 cm zugeschnitten ebenfalls mit Holzdübeln und Holzleim mit den beiden Seitenteilen der Tischkonstruktion verbunden. Insgesamt wurden die Seitenteile mit drei Holzlatten verbunden, um einerseits die Stabilität und andererseits den größtmöglichen Schallkomfort zu gewährleisten. Die 55 cm langen Verbindungslatten und die Seitenteile wurden ebenfalls mit Holzdübeln verbunden und mit schnelltrocknendem Expressholzleim verklebt. Es wurde darauf geachtet, eine Aussparung im Gestell zu berücksichtigen, um später die Tischplatten leicht auswechseln zu können.

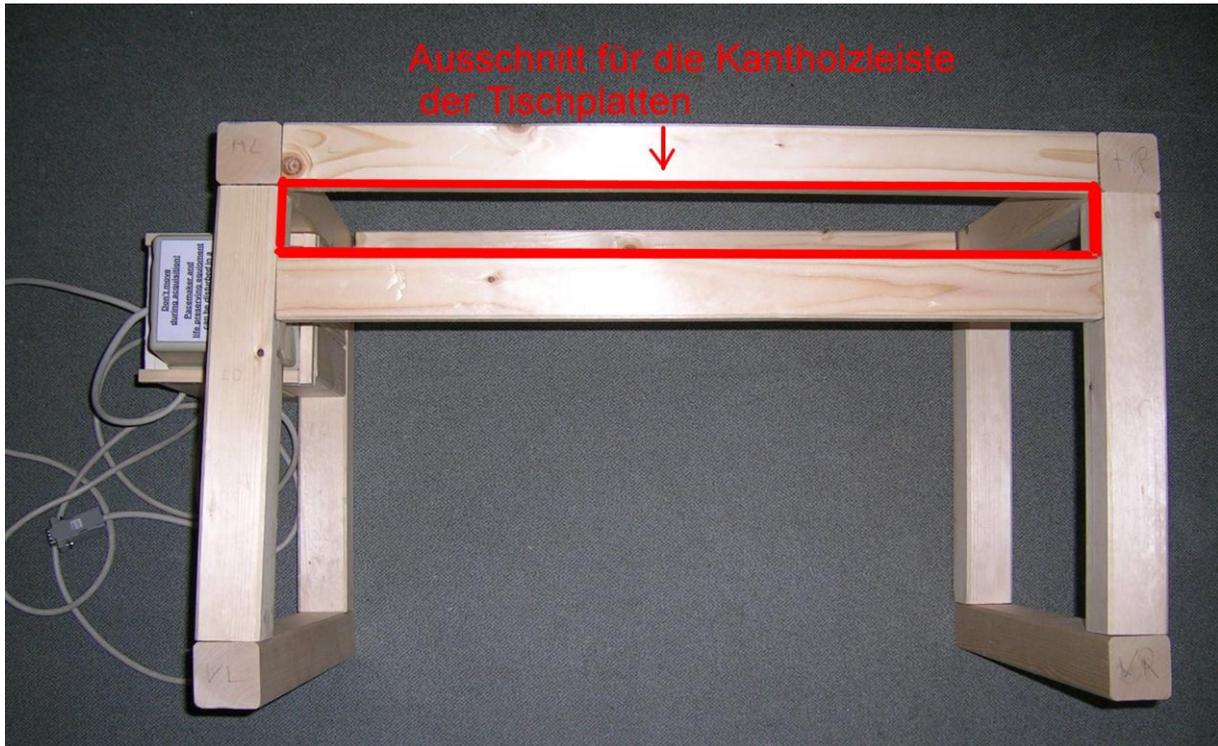


Abbildung 38: Tischgestell mit bereits eingesetztem Würfel des Trackingsystems und Aussparung für die Kantholzleiste der Tischplatte, Ansicht von oben

So entstand eine stabile Unterkonstruktion für die Ultraschalltischplatten.

Im Anschluss daran wurde das unbehandelte Fichtenholz mit hellgrauer Farbe gestrichen.

## 1.2 Tischplatten

Als Tischplatten wurden zwei Leimholzplatten aus Fichtenholz verwendet. Die Plattenmaße betragen 45 x 70 x 1,5 cm. In die Platten wurde an einer langen Seite jeweils mittig ein Ausschnitt mit der Tiefe 21 cm und der Breite 20 cm ausgesägt. Die Schnittkanten wurden sorgfältig mit Sandpapier geglättet, um den Komfort bei der Nutzung zu gewährleisten. Im Bereich links und rechts neben dem Ausschnitt wurden ein bis zwei, insgesamt jedoch drei Vertiefungen pro Platte mit 1 cm Durchmesser gebohrt, um später die Katzenmodelle mit den in den Modellen befindlichen Aussparungen mit Hilfe von Holzdübeln befestigen zu können. Um den Tischplatten ein möglichst praxisnahes Aussehen zu verleihen wurde die gesamte Oberseite der Platten mit handelsüblichem Kunstleder überzogen, das zur besseren Haltbarkeit zusätzlich mit den Tischplatten verklebt wurde. Die Tischplatte auf der die von rechts zu schallende Katze befestigt werden sollte, wurde mit königsblauem Kunstleder bezogen und die Platte auf der die von links zu schallende Katze befestigt werden sollte, mit ferrarirotem Kunstleder. Über den Bohrlöchern in der Oberseite der Platten wurden den Bohrlöchern entsprechende Aussparungen in das Kunstleder geschnitten. In die vorgebohrten Vertiefungen der Tischplatten wurden durch die Aussparungen im Kunstleder Holzdübel mit 1 cm Durchmesser gesetzt und mit Holzleim fixiert. Insgesamt wurden vier Bohrlöcher, jeweils eines ober- und unterhalb des Bereichs in dem Hals und Becken der Modellkatzen zu liegen kommen, in jede Platte gebohrt. Diese Bohrlöcher weisen einen Durchmesser von 3 mm auf. An die Unterseite der Tischplatten auf der dem Ausschnitt abgewandten Seite wurde jeweils ein Kantholz 55 x 2,8 x 4,5 cm- von Position und Maßen

## Ergebnisse

passend zur Aussparung im Tischgestell- mit Holzdübeln gedübelt und ebenfalls mit schnelltrocknendem Holzleim verklebt.

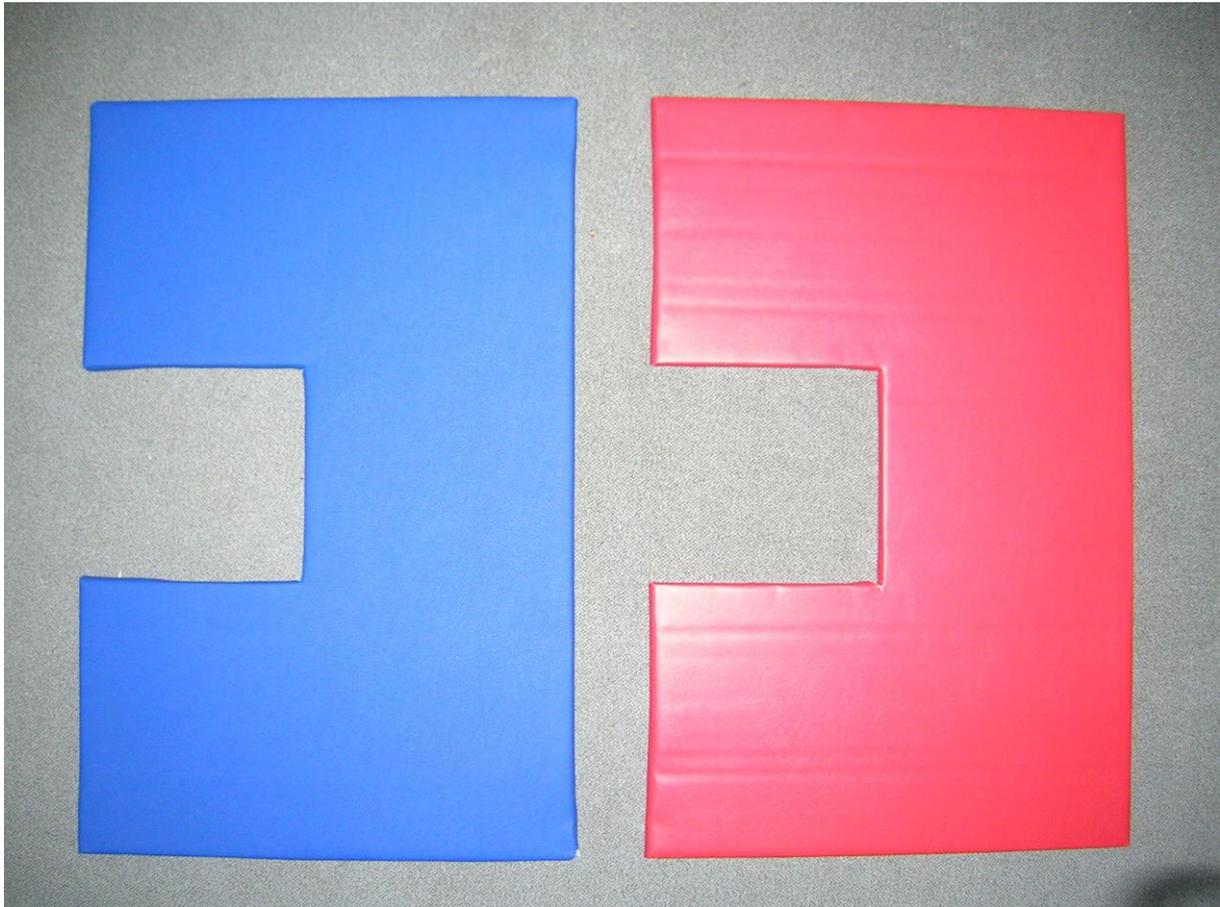


Abbildung 39: Tischplatten mit Kunstleder bezogen

### 1.3 Befestigungsmöglichkeit für das Tracking System

Um zu gewährleisten, dass sich das Trackingsystem stets im gleichen räumlichen Abstand und Verhältnis zum schallbaren Bereich am Katzenmodell befindet, wurde eine stabile, nicht veränderbare Befestigungsmöglichkeit benötigt. Die praktikabelste Position für das Trackingsystem befindet sich im Bereich des linken hinteren Teils des Tischgestells. In diesem Bereich wurde ein Podest aus insgesamt neun unbehandelten Fichtenkanthölzern und einer darauf gesetzten Holzplatte mit den Maßen 11,8 x 13,5 x 0,3 cm angefertigt, das auf das untere Kantholz des Tischgestells aufgesetzt und ebenfalls mit Holzdübeln und Holzleim an der Außenseite des Tischgestells befestigt wurde. Das Podest besteht aus insgesamt neun Kanthölzern, wovon drei die Maße 15,0 x 4,5 x 4,5 cm und sechs die Maße 19,5 x 4,5 x 4,5 cm aufweisen. Um die exakte Position des Tracking Systems zu gewährleisten wurden zusätzlich auf die Kanten der Platte drei Buchenholzleisten aufgeklebt, zwei mit den Maßen 12,5 x 1 x 1 cm und eine mit den Maßen 11,8 x 1 x 1 cm. Zwei weitere 1,5 x 1 x 1 cm Leisten wurden an die dem Tisch abgewandte Seite geklebt, mit deren Hilfe das Tracking System fixiert werden kann.

## Ergebnisse

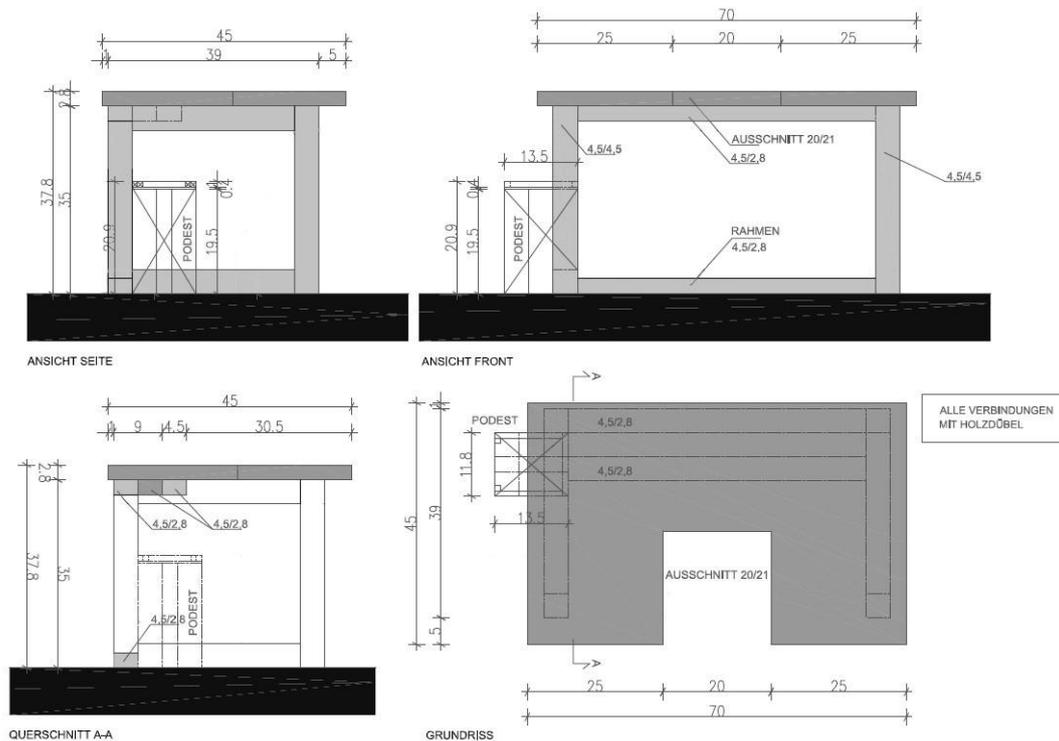


Abbildung 40: Technische Zeichnung: Tischkonstruktion inklusive Tischplatten und Befestigungsmöglichkeit für das Trackingsystem

Auf diese Weise wurde sichergestellt, dass in der gesamten Tischkonstruktion inklusive der Tischplatten, der Befestigungsmöglichkeit für die Trackingeinheit und dem Kissen zum Unterlegen keinerlei Metallteile verarbeitet wurden, um das pulsierende elektromagnetische Feld des Senders und Empfängers des Magnet-Trackingsystems sicher nicht zu stören.

## 2 Modellkatzen

Nach den nicht zufriedenstellenden Vorversuchen, wurde die Vorlage für das Katzenmodell letztendlich folgendermaßen gefertigt:

Die Modellkatzen entstanden einerseits nach dem Vorbild eines 12-jährigen, kastrierten Europäisch Kurzhaarkaters, dessen Körpermaße als Grundlage fungierten, andererseits wurden fünf anatomische Präparate zur Orientierung bei der Herstellung eines modifizierten Modellrumpfes aus Ton verwendet.

## 2.1 Tonmodell von Rumpf und Halsansatz als Vorlage für den Hartschaumstoffkern

Das Modell für den Rumpf wurde aus Softton weiß der Firma Glorex, Schweiz angefertigt. Das Innere des Tonmodells wurde mit Zeitungspapier ausgefüllt. Die Wanddicke des Ton betrug ca. 0,7 – 1 cm. In den Tonrumpf wurden zuerst auf der der Ultraschalltischplatte anliegenden Seite im Bereich des Ausschnitts der Ultraschalltischplatte Merkmale einer echten Katze eingearbeitet: das Sternum, der Rippenbogen, die Ansätze der dritten bis dreizehnten Rippe und deren Interkostalräume als Orientierung für die korrekte Schallposition. Um das Bild zu vervollständigen, wurden auf der der Tischplatte abgewandten Seite ebenfalls die dritte bis dreizehnte Rippe und der Rippenbogen eingearbeitet. Die Teile des Rumpfs, die direkt auf der Tischplatte aufliegen sollten, wurden vollständig flach geformt. Der Halsansatz wurde entsprechend der Maße gefertigt und nach kranial spitz auslaufend geformt. Sowohl der Hals als auch das hintere Ende wurden nicht vollständig mit Ton verschlossen, so dass der Ton schneller durchtrocknen konnte. Zur besseren Befestigung wurden in die der Tischplatte aufliegenden Bereiche drei Löcher mit 1 cm Durchmesser gebohrt.

Maßtabelle 1: EKH 12 Jahre

Körperstelle	Maße in cm
Halsumfang	25
Rückenlänge von Halsansatz bis Schwanzansatz	38
Brustumfang auf Höhe des Ellbogens	38
Bauchumfang auf Höhe des Knies	36
Halslänge kranial: Halsansatz bis Sternum	9
Bauchlänge von Beckensymphyse bis Sternum	28
Umfang Vorderbeine am Bauchansatz	13
Umfang Hinterbeine am Bauchansatz	15

Insgesamt wurden zwei Tonmodelle angefertigt, jeweils eines für die auf der rechten und auf der linken Seite liegenden Katze. Beide Modelle wurden nach dem gleichen Schema, mit den gleichen Maßen und Merkmalen gefertigt. Die Tonmodelle wurden an der Luft getrocknet, da Softton eine spezielle Tonmischung ist, die laut Herstellerangaben auch durch alleiniges Trocknen an der Luft zufriedenstellend aushärtet.

## Ergebnisse



Abbildung 41: Tonmodell rechts anliegend von ventral, Sternum und Rippen modelliert



Abbildung 42: Tonmodell rechts anliegend von links, Rippen modelliert



Abbildung 43: Tonmodell rechts anliegend von dorsal, der Tischplatte anliegende Seite flach modelliert



Abbildung 44: Tonmodell rechts anliegend von rechts, Rippen modelliert und Befestigungslöcher gebohrt

## Ergebnisse

Nachdem der Ton nach fünf Tagen ausreichend ausgehärtet war, wurde zunächst von dem auf der rechten Seite liegenden Modell eine 3D-Computertomographieaufnahme in der Chirurgischen und Gynäkologischen Kleintierklinik der LMU München in einem Siemens SOMATOM Definition AS erstellt, um einen 3D-Datensatz zu erhalten, auf dessen Basis schließlich ein Schaumstoffmodell produziert werden sollte. Auf eine Computertomographieaufnahme des auf der linken Seite liegenden Tonmodells konnte verzichtet werden, da beschlossen wurde, den Datensatz des auf der rechten Seite liegenden Tonmodells zu spiegeln, um eine identische aber spiegelverkehrte auf der linken Seite liegende Vorlage für den Hartschaumstoffkern zu erhalten.

### 2.2 Herstellung der digitalen Vorlage für den Hartschaumstoffkern

Der CT Datensatz des rechts anliegenden Tonmodells wurde mit drei Programmen weiterbearbeitet.

Das Oberflächenrendering der CT-Datensätze erfolgte mit OsiriX für das Betriebssystem Mac OS X. Die Datensätze wurden nach Bearbeitung mit OsiriX im .obj-Format gespeichert. Anschließend wurde die .obj-Datei in Maya von Autodesk bzw. mit Blender von Blender weiterbearbeitet und gespiegelt, um einen identischen zweiten Datensatz für die auf der linken Seite liegende Katze zu erhalten. Beide Datensätze, das Original und der Gespiegelte wurden schließlich im .stl-Format ausgegeben und gespeichert.

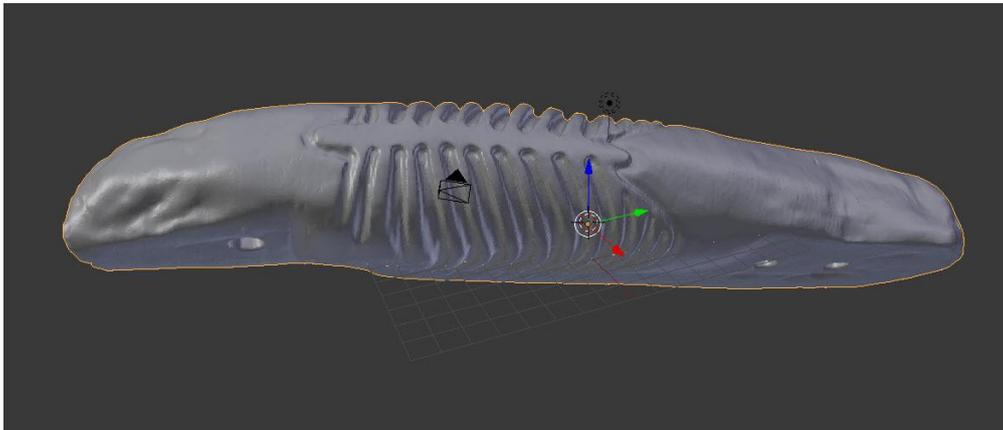


Abbildung 45: .stl-Datei Katzentorso rechts anliegend, Ansicht von ventral und rechts

## Ergebnisse

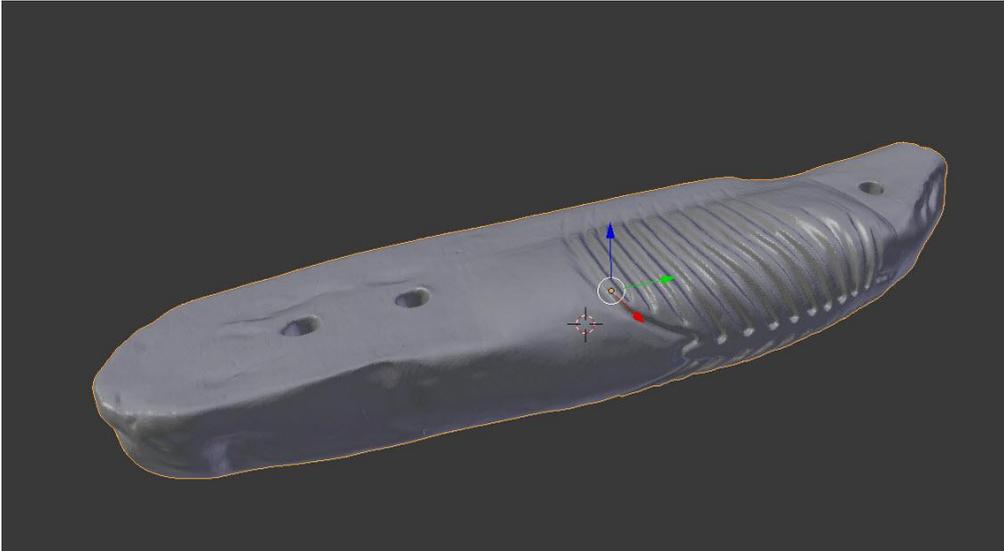


Abbildung 46: .stl-Datei Katzentorso rechts anliegend, Ansicht von rechts

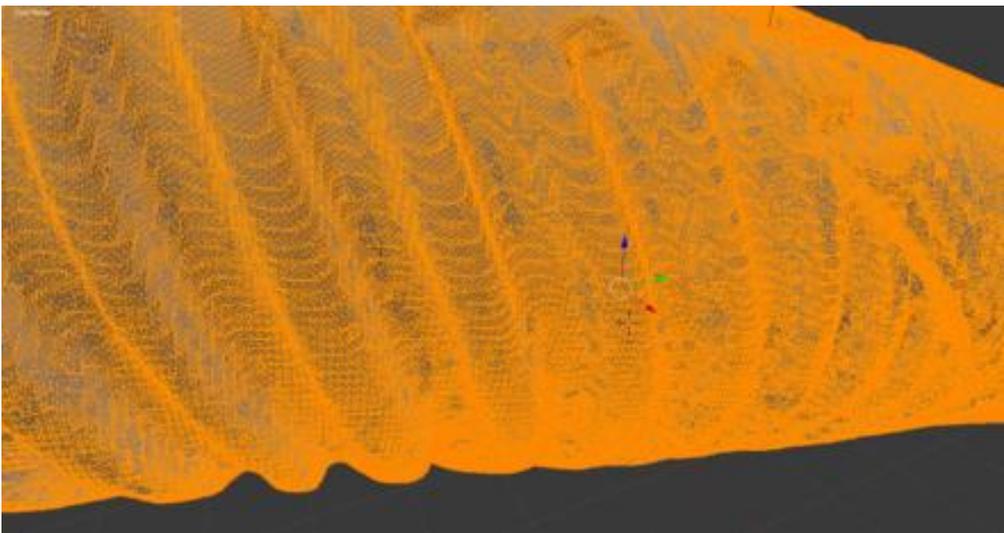


Abbildung 47: .stl-Datei Katzentorso rechts anliegend: Polygondarstellung eines Ausschnitts mit Rippen

## Ergebnisse

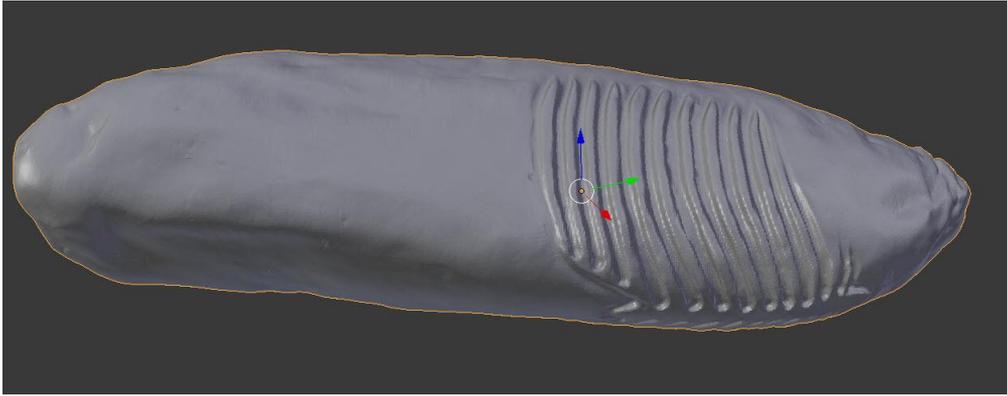


Abbildung 48: .stl-Datei, Katzentorso links anliegend, gespiegelte Variante, Ansicht von rechts

### 2.3 Schaumstoffrumpf als Kern

Aus diesen 3D-Datensätzen wurden zwei Schaumstoffrumpfe von der Firma Polyform, Rinteln entsprechend dem vorliegenden Tonmodell gefertigt: Ein Rumpf links anliegend und ein Rumpf rechts anliegend.

#### Schaumstoffrumpf Katze rechts anliegend

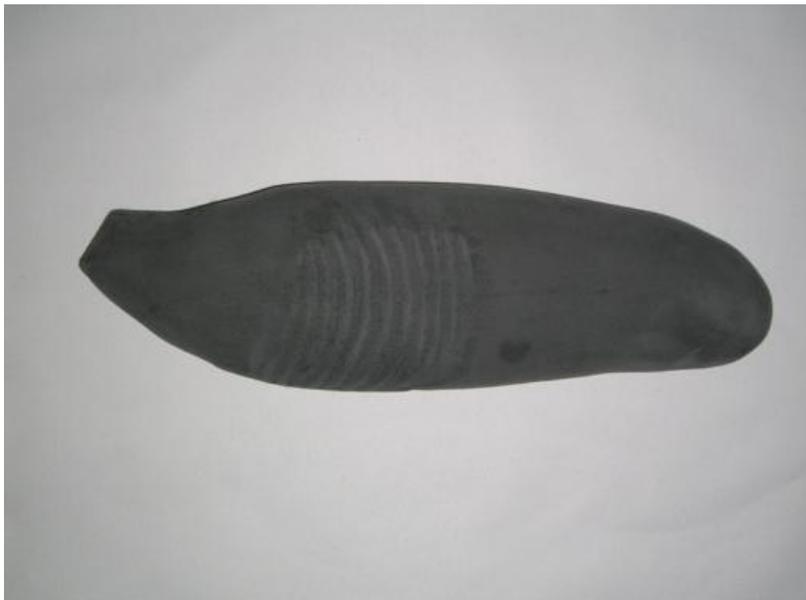


Abbildung 49: Schaumstoffrumpf rechts anliegend Ansicht von links

## Ergebnisse

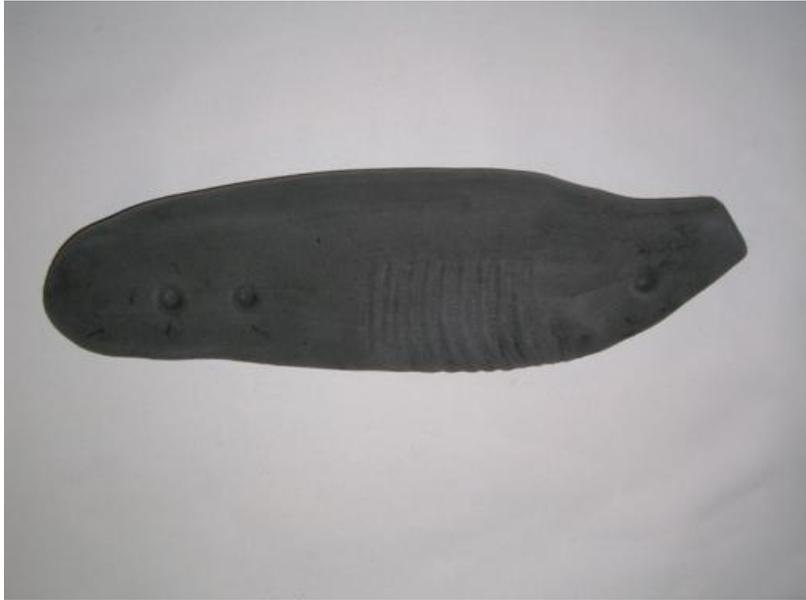


Abbildung 50: Schaumstoffrumpf rechts anliegend Ansicht von rechts



Abbildung 51: Schaumstoffrumpf rechts anliegend Ansicht von ventral

## Ergebnisse

### Schaumstoffrumpf Katze links anliegend

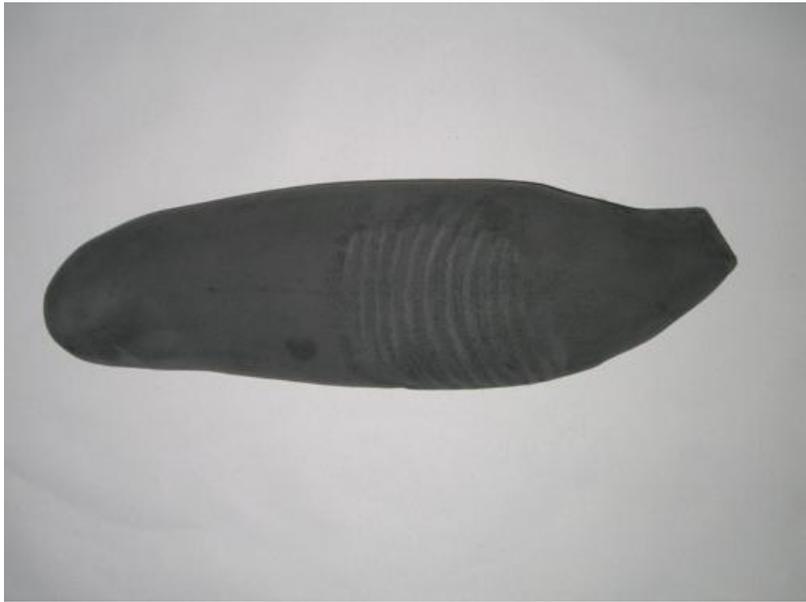


Abbildung 52: Schaumstoffrumpf links anliegend Ansicht von rechts



Abbildung 53: Schaumstoffrumpf links anliegend Ansicht von links



Abbildung 54: Schaumstoffrumpf links anliegend Ansicht von ventral

#### **2.4 Herstellung des Katzenplüschfells**

Für das Katzenplüschfell wurde die Puppenwerkstatt Heidi Loibl, München beauftragt ein Schnittmuster für eine symmetrisch auf der Seite liegende, lebensgroße Katze zu zeichnen. Das Schnittmuster wurde entsprechend der Maße der beiden Tonrumpfe und folglich auch der Maße der Schaumstoffkerne bzw. der Maße des 12 jährigen Europäisch Kurzhaar Katers angefertigt (siehe Maßtabelle 1). Es wurde darauf geachtet, dass im Schallbereich keine Nähte gesetzt werden, dass eine Ellbogenfalte zum Auffinden der Schallposition vorhanden ist und dass die Beine extra an den Körper angesetzt werden, um die Beine in der exakten Position zu befestigen. Für das Katzenfell wurde schwarzer Premium-Kunstfellplüsch verwendet. Als Augen für die rechts liegende Katze wurden handbemalte blau-grün hintermalte Katzenaugen mit Durchmesser 1,4 cm verwendet und eine Kunststoffnase wurde aufgeklebt. Die links anliegende Katze wurde ebenfalls mit einer Kunststoffnase versehen und es wurden reflektierende Augen mit Durchmesser 1,4 cm angenäht. Beine, Kopf und Schwanz wurden jeweils mit Kunststoffgranulat Granulex Soft der Firma Glorex, Schweiz gefüllt. Der zuvor gefertigte Schaumstoffrumpf wurde in das Fell eingepasst und außerhalb des Schallbereichs mit Watte detaillierter modelliert und angepasst. Um die Liegeeigenschaften der Katze zu verbessern und den Gliedmaßen und Schwanz sowohl ein realistisches Gewicht zu geben, als auch sie zumindest eingeschränkt beweglich zu erhalten, wurden sie ebenfalls mit Granulex Soft Granulat gefüllt. Da die Ellenbogenfalte zur Orientierung beim Aufsuchen der korrekten Schallposition ebenfalls maßgeblich ist, wurde diese im Fell nachgebildet und durch eine Naht hervorgehoben.

## Ergebnisse



Abbildung 55: Plüschkatzenmodelle links und rechts anliegend

Abschließend wurden die beiden fertigen Katzenattrappen in korrekter Schallposition - eine Katze rechts anliegend, eine Katze links anliegend – mit jeweils drei Holzdübeln zur Positionsfestlegung über dem Ausschnitt auf der jeweiligen Tischplatte befestigt und zusätzlich mit jeweils zwei Fäden Stickgarn fixiert. Das Stickgarn wurde mithilfe einer Sticknadel im Hals- und Beckenbereich der Katzen auf der der Platte nicht anliegenden Seite zwischen Kunstfell und Schaumstoff von außen unsichtbar hindurch geführt, die Garnenden durch die vorgebohrten Löcher in den Tischplatten gezogen und die beiden Enden an der Tischunterseite fest verknotet, um die Katze stabil und unbeweglich zu fixieren.

## Ergebnisse



Abbildung 56: Tischgestell mit aufgesetztem Trackingsystem und Tischplatte mit befestigter rechts anliegender Katze



Abbildung 57: Tischgestell mit aufgesetztem Trackingsystem und Tischplatte mit befestigter links anliegender Katze

## 2.5 Unterlegkissen für den Untersucher

Aus abwaschbarem ferrarirottem und königsblauem Kunstleder wurde ein Kissen mit den Maßen 50 x 20 x 5 cm gefertigt und mit Watte gefüllt, um für Untersucher mit kürzeren Armen eine Möglichkeit zu schaffen, den Arm aufzusetzen und so komfortabel, ermüdungsfrei und sicher eine simulierte Untersuchung durchzuführen.

## 3 Patientenfälle auf der Basis der bearbeiteten 3D-Datensätze

Anhand der bearbeiteten Datensätze entstanden insgesamt drei verschiedene Fälle:

Wie bei einem realen Ultraschallgerät können im SonoSim III bei jedem Datensatz Gain und Eindringtiefe korrigiert werden und ein Standbildmodus erzeugt werden, in dem es möglich ist, die vorher geschallten Bilder als Standbild zu betrachten. Die minimale Eindringtiefe ist aufgrund der technischen Einstellungen des Gerätes aus der Humanmedizin zum Zeitpunkt der Abgabe dieser Dissertation (6.10.2014) 5 cm. Bei jedem Patienten läuft im linken unteren Bildrand das entsprechende EKG der jeweiligen Patienten mit, das mit dem 3D-VolumenScan aufgezeichnet wurde. Die Auswahl der Patienten bzw. Fälle erfolgt über ein gesondertes Menü.

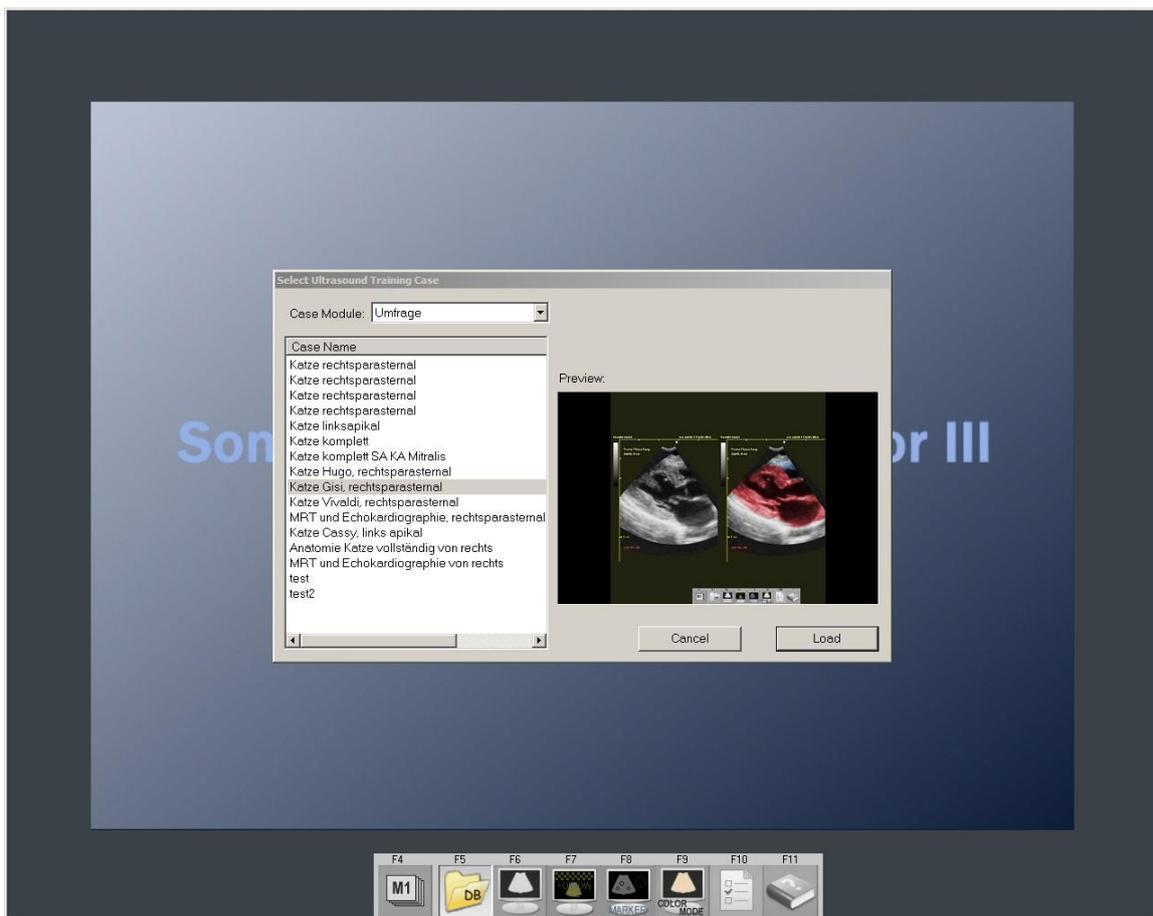


Abbildung 58: Screenshot Auswahlmenü Patientenfälle

## Ergebnisse

Jedem Patientenfall ist ein Vorbericht beigefügt, der als erste Ansicht nach der Auswahl der Patienten zu sehen ist.

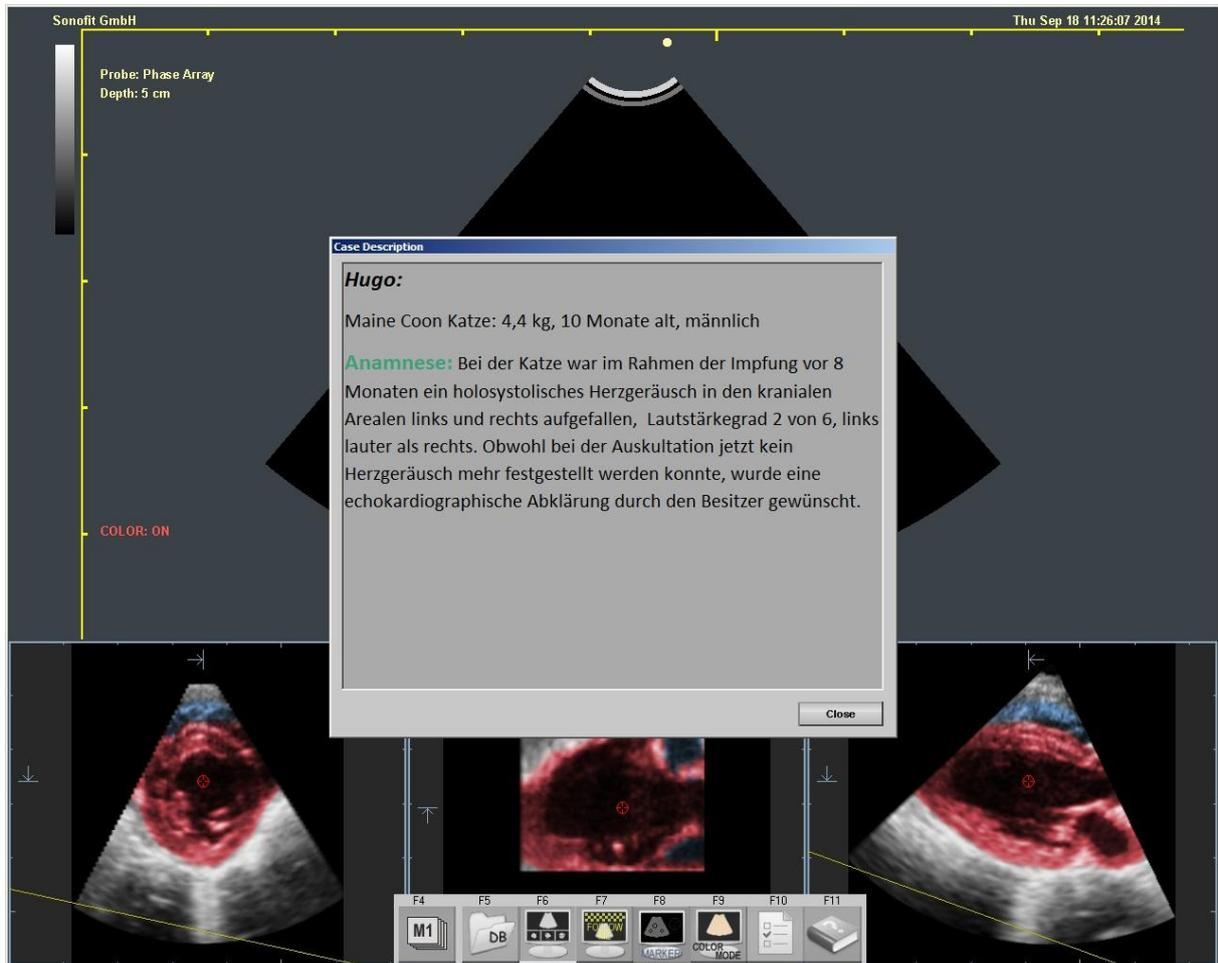


Abbildung 59: Screenshot: Patient C, „Katze Hugo“, Ansicht mit Vorbericht nach Auswählen des Patientenfalles

Die folgenden Screenshots wurden allesamt im Freezemode angefertigt, um die Qualität der jeweiligen Ansichten zu gewährleisten.

Allgemein ist zu sagen, dass grundsätzlich bei jedem Patienten je nach Voreinstellung verschiedene Ansichtsmöglichkeiten gewählt werden können. Es existieren zwei Hauptansichtsmöglichkeiten: Einerseits eine Ansicht, die einem realen Ultraschallbild entspricht, also der Schallkegel mittig auf dem Bildschirm. In dieser Ansicht ist es möglich die rote und blaue Einfärbung der Herzanteile über den Button „Color“ zu- bzw. abzuschalten. Dadurch kann der Untersucher entscheiden, ob er die Kolorierung zur Orientierung nutzt oder nicht. Die Frequenz mit der das Herz im simulierten Bild schlägt, entspricht im nicht eingefärbten Bild der realen Herzfrequenz der jeweiligen Katze, im kolorierten Bild einer niedrigeren Herzfrequenz, obwohl die gleichen Systemeinstellungen beibehalten werden. In diesen beiden Ansichten ist es möglich, das Bild im Freeze-Modus anzuhalten und Messungen durchzuführen. Die Funktion des Messens ist lediglich in dieser Ansichtsvariante möglich, allerdings sowohl im schwarz-weißen als auch im kolorierten Bild.

## Ergebnisse

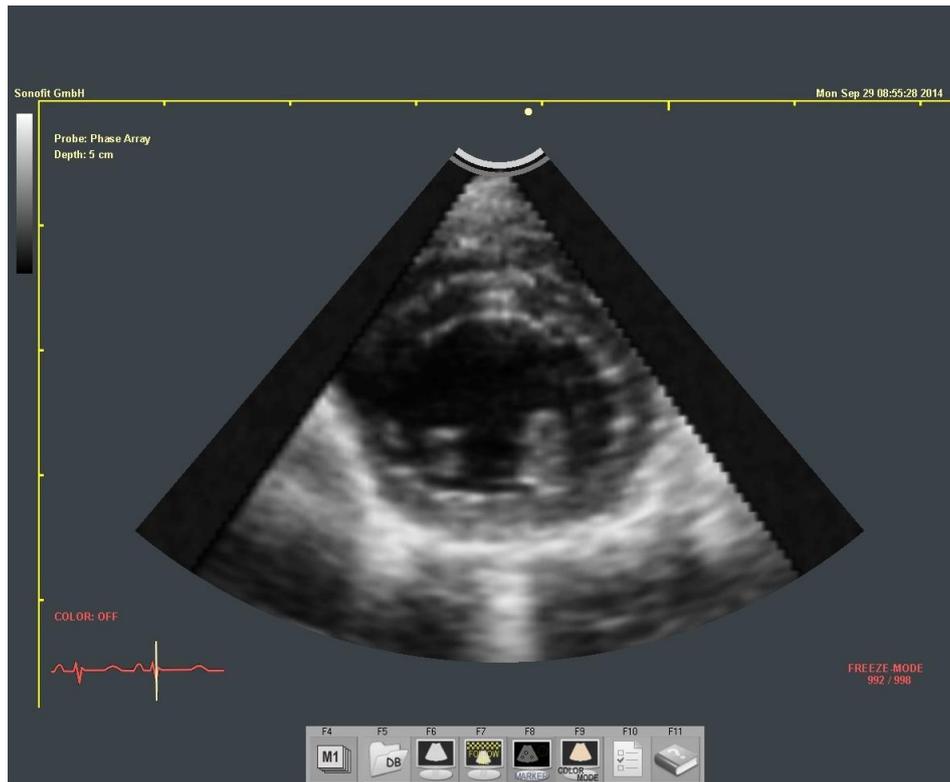


Abbildung 60: Screenshot Patient C „Katze Hugo“ Kurzachsenansicht rechts parasternal, in klassischer Hauptansicht, Schallkegel mittig im Bild, nicht eingefärbt, EKG im linken unteren Bildrand

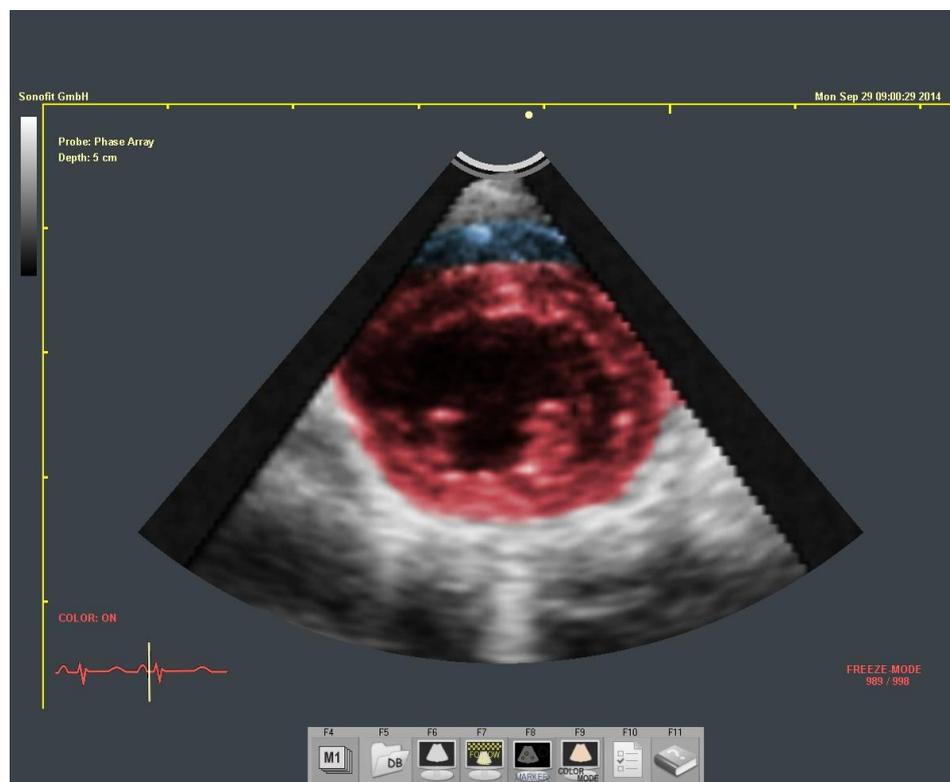


Abbildung 61: Screenshot Patient C „Katze Hugo“, Kurzachsenansicht rechts parasternal, in klassischer Hauptansicht, Schallkegel mittig im Bild, kolorierte Ansicht, EKG im linken unteren Bildrand

## Ergebnisse

In einer weiteren Hauptansicht werden zwei Schallfenster in der gleichen Schallebene auf dem Bildschirm positioniert. In dieser Ansichtsvariante, kann eine der beiden Ansichten mit dem lediglich geschwärzten Bild und eine parallel dazu mit dem rot und blau eingefärbten Bild kombiniert werden. Das rot und blau eingefärbte Bild kann sowohl links als auch rechts positioniert werden. Über den Button „Color“ kann die Farbe auch in dieser Ansicht zu- oder ausgeschaltet werden, so dass bei Ausschalten der Farbe, beide Schallkegel schwarz-weiß nebeneinander dargestellt werden. Messungen können in dieser Ansichtsvariante nicht durchgeführt werden, sie dient lediglich der besseren Orientierung. Die Herzfrequenz ist in beiden Darstellungen identisch.

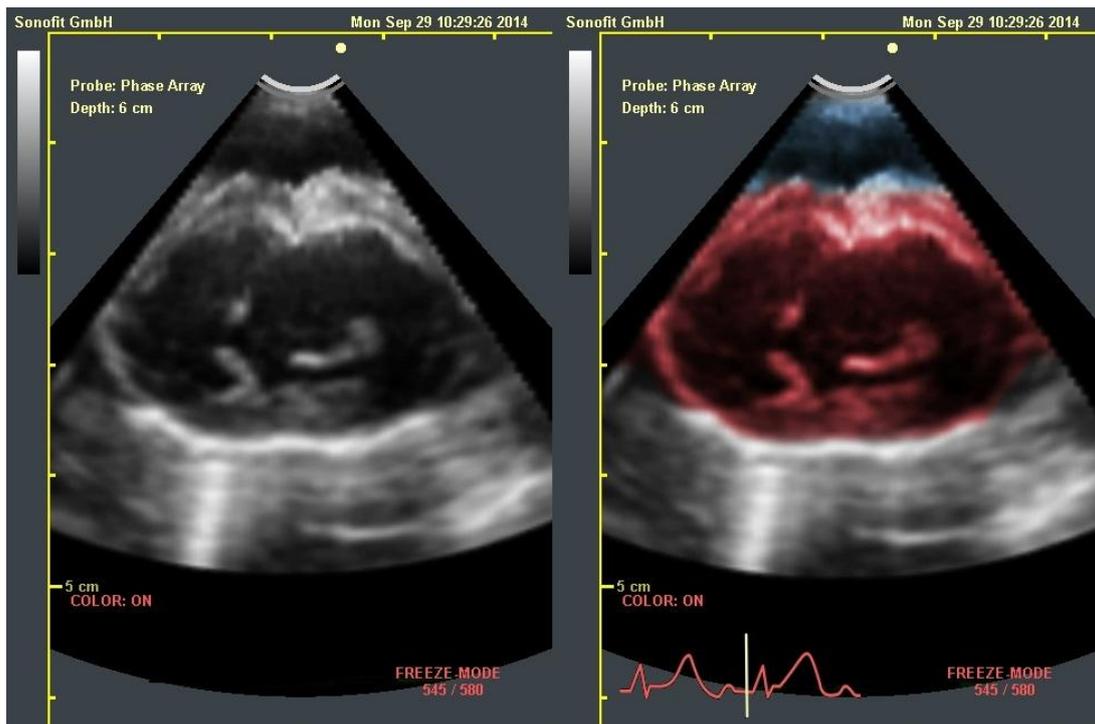


Abbildung 62: Screenshot Patient B „Katz Vivaldi“, Kurzachsenansicht von rechts parasternal, Bildschirm zweigeteilt, einmal schwarz-weiß, einmal eingefärbte Ansicht parallel, EKG von Patient B im unteren Bildrand

## Ergebnisse

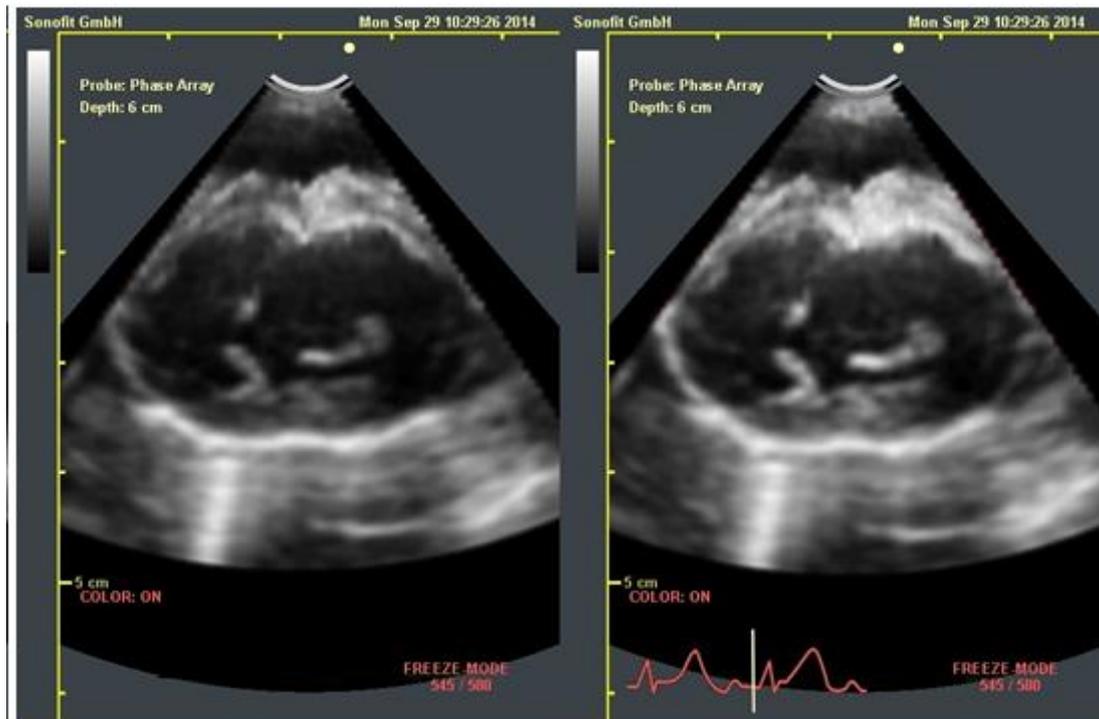


Abbildung 63: Screenshot Patient B „Katze Vivaldi“, Kurzachsenansicht von rechts parasternal, Bildschirm zweigeteilt zwei Schallkegel parallel, rote und blaue Kolorierung ausgeschaltet, EKG von Patient B im unteren Bildrand

Ergänzend zu diesen beiden Varianten, können bei jeder dieser zwei Hauptansichten jeweils im unteren Bildrand zusätzlich drei weitere Bildfenster eingeblendet werden, die letztendlich den Einzelbildern der MPR (multi-planar-reconstruction)- Ansicht einer Quantifizierungssoftware entsprechen: Kurzachse (teilerrechnete Ebene II), Längsachse (Original geschaltete Ebene I) und eine zur ersten Längsachse senkrecht stehende weitere Längsachsenansicht (vollständig errechnete Ebene III) nebeneinander (Bezeichnung der Ebenen I bis III entsprechend Abb. 4, Kap. 3.2). Durch die Einblendung dieser weiteren Nebenansichten, wird dem Untersucher zusätzlich die Orientierung erleichtert, da er Längs- und Kurzachse gleichzeitig betrachten kann. Wie bei den beiden Hauptansichten, kann bei diesen Nebenansichten die Kolorierung über den Button „Color“ zu- bzw. ausgeschaltet werden.

## Ergebnisse

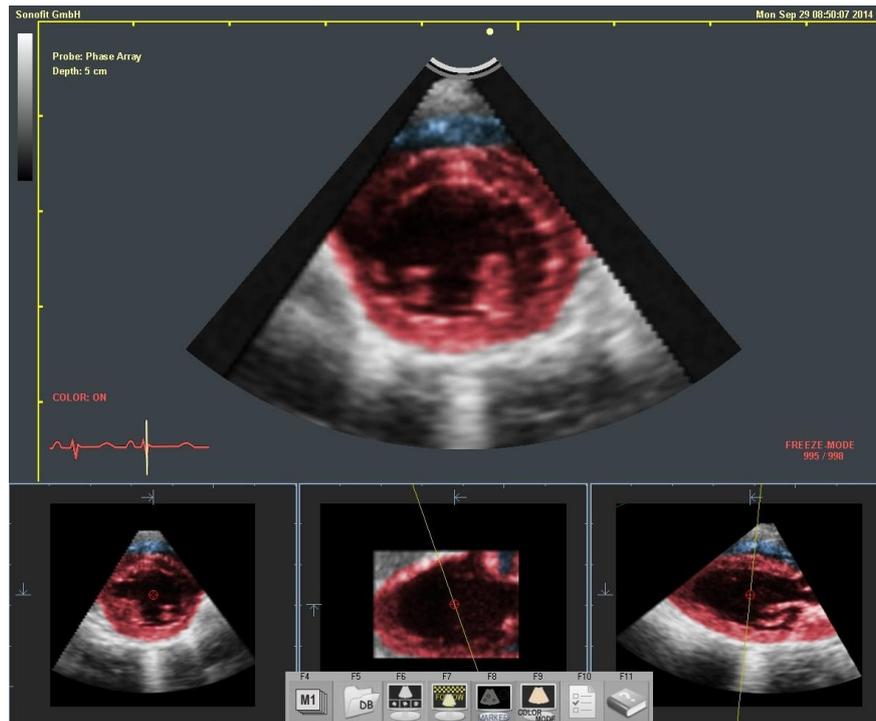


Abbildung 64: Screenshot Patient C „Katze Hugo“ mit rot und blau eingefärbter klassischer Ansicht als Hauptfenster und zusätzlichen drei Ebenen als Nebenansichten: Kurzachse links (Ebene II), Längsachse rechts (Ebene I) und zur Längsachse senkrecht stehende Ebene in der Mitte (Ebene III), sowie EKG von Patient C im linken unteren Bildrand der Hauptansicht

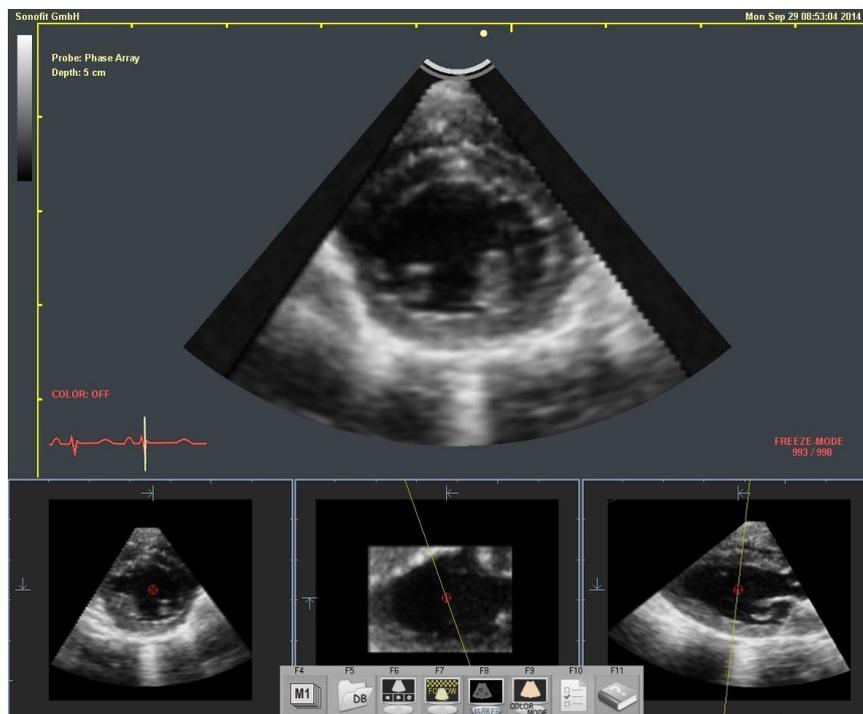


Abbildung 65: Screenshot Patient C „Katze Hugo“, nicht eingefärbte klassische Ansicht als Hauptfenster und zusätzlichen drei Ebenen als Nebenansichten: Kurzachse links (Ebene II), Längsachse rechts (Ebene I) und zur Längsachse senkrecht stehende Ebene in der Mitte (Ebene III), sowie EKG von Patient C im linken unteren Bildrand der Hauptansicht

## Ergebnisse

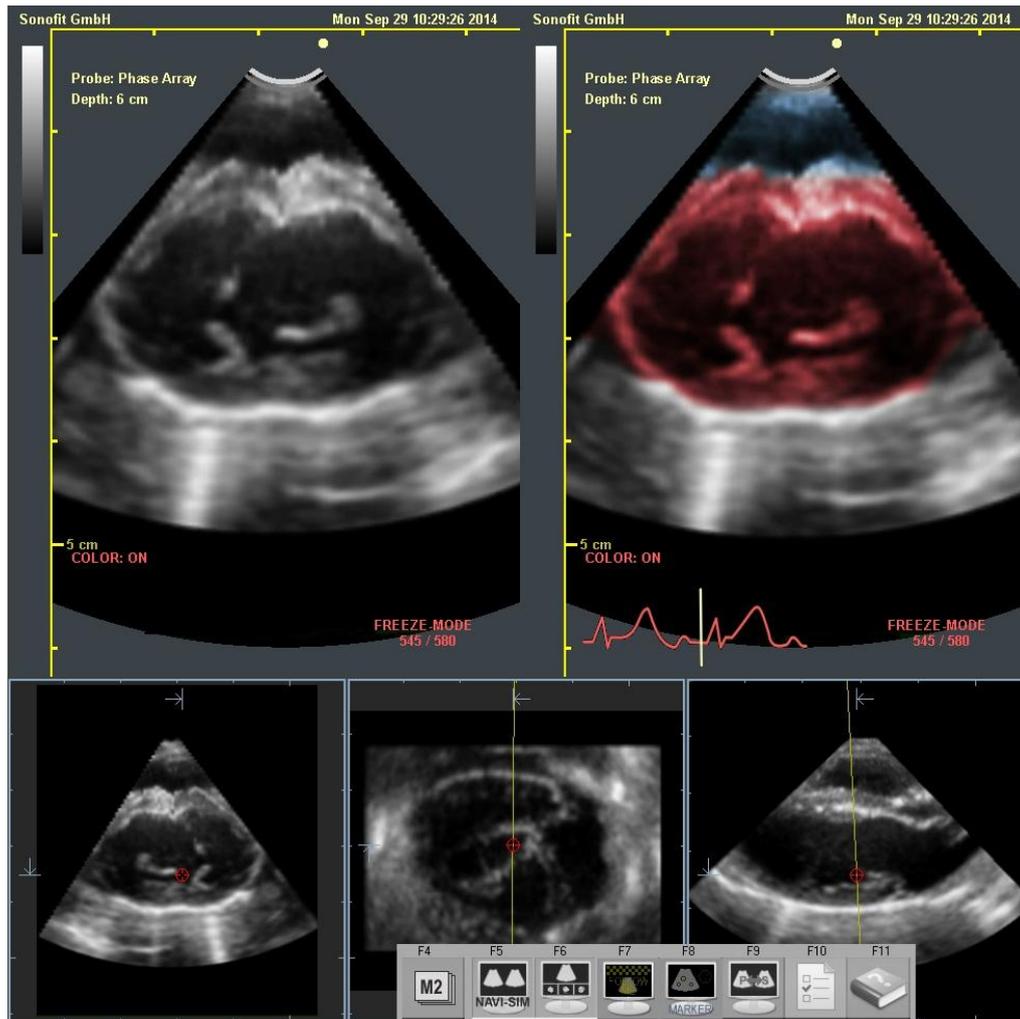


Abbildung 66: Screenshot Patient B „Katze Vivaldi“ Kurzachse von rechts parasternal mit Hauptansicht zwei Schallkegel parallel: einmal schwarz-weiß und einmal rot und blau eingefärbt, zusätzlichen Nebenfenster mit drei Ebenen: Kurzachse links (Ebene II), Längsachse rechts (Ebene I) und zur Längsachse senkrecht stehende Längsachse mittig (Ebene III) in schwarz-weiß, sowie EKG von Patient B im unteren Bildrand des Hauptfensters

## Ergebnisse

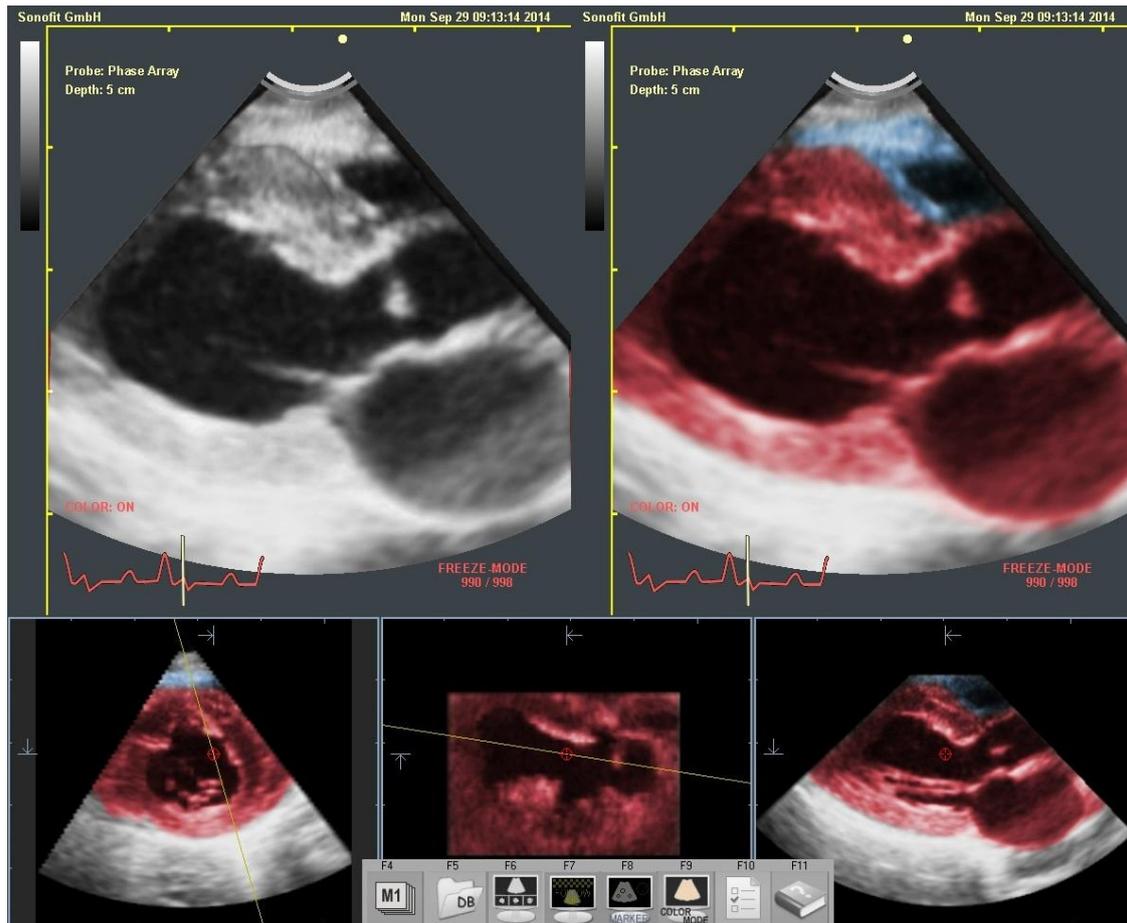


Abbildung 67: Screenshot Patient A „Katze Gisi“ Längsachse von rechts parasternal mit Hauptansicht zwei Schallkegel parallel: schwarz-weiß und rot und blau eingefärbt, mit zusätzlichen Nebenansichten in drei Ebenen: Kurzachse links (Ebene II), Längsachse rechts (Ebene I) und zu dieser Längsachse senkrecht stehende Längsachse (Ebene III) mittig in rot und blau eingefärbt, sowie EKG von Patient A im linken unteren Bildrand der Hauptansicht

Bei jedem Patienten wird im linken unteren Bildrand der Hauptansicht das entsprechende EKG eingefügt, das während des Erstellens des 3D-Volumenscans geschrieben wurde.

Zum autodidaktischen Lernen verfügt der Katzen-Echokardiographiesimulator über eine Tutorialfunktion. In diesem Tutorial-Modus, anwählbar über den Button „Follow-Up“ der am unteren Bildschirmrand oder über F7 ausgewählt werden kann, ist der Bildschirm zweigeteilt: links befindet sich das eigentliche klassische Schallfenster und im rechten Bereich des Bildschirms ist Platz für das Einfügen weiterer Bilder oder Graphiken bzw. Videos von Ultraschallsequenzen und einer Darstellung des Herzens mit eingezeichneter Schnittebene. Der Untersucher bekommt in diesem Fall die Aufgabenstellung, die jeweiligen Schnittebenen einzustellen. Die Richtigkeit seiner Einstellung kann der Übende beispielsweise an der rechts eingeblendeten Schemazeichnung überprüfen, die nicht oder nur schemenhaft sichtbare Schemazeichnung wird umso deutlicher, je näher der Untersucher an die verlangte Position kommt. Zusätzlich befindet sich ein grüner Balken am linken Bildrand der bei Auffinden der korrekten Position vollständig ausgefüllt ist.

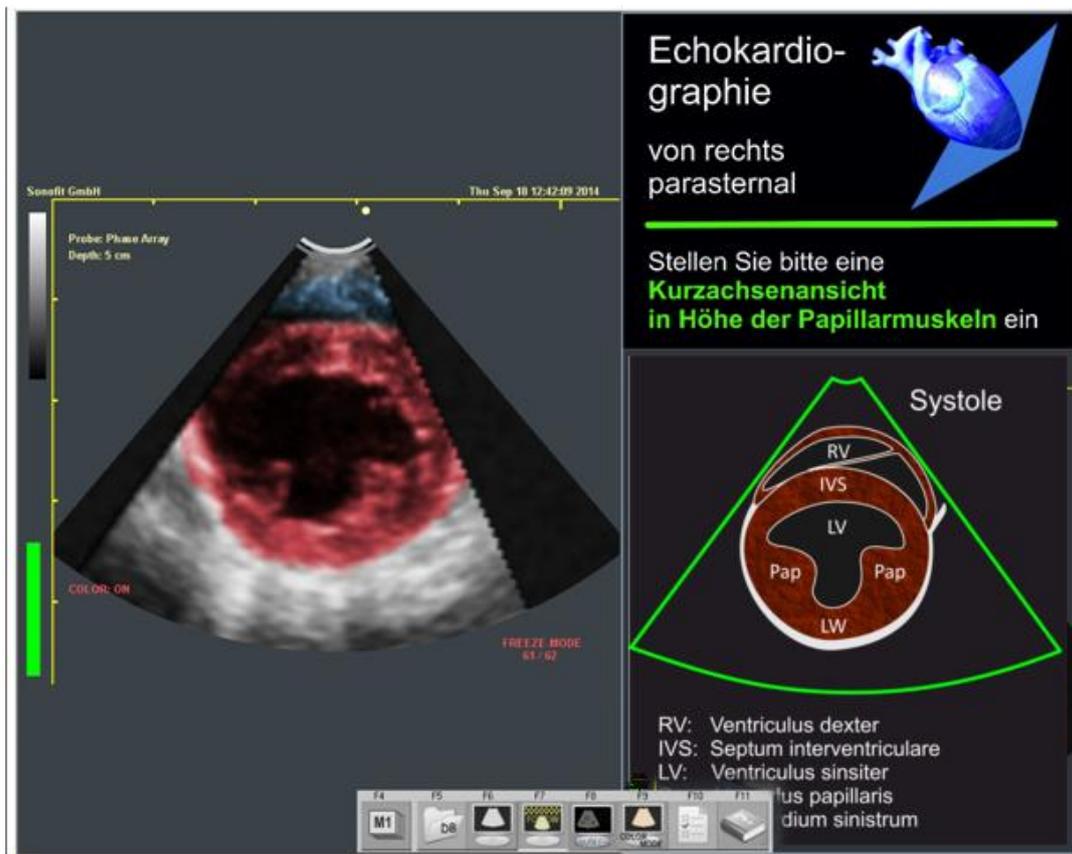


Abbildung 68: Screenshot: Tutorial Patient C „Katze Hugo“: „Stellen Sie bitte eine Kurzachsenansicht auf Höhe der Papillarmuskeln ein“, mit voll ausgefülltem grünen Balken und der volleingblendeten Schemazeichnung entsprechenden Ansicht

In diesem Tutorialmodus kann auch zum Beispiel eine Videosequenz einer Doppler- oder M-Mode Untersuchung eingefügt werden, sobald der Untersucher das Schallfenster an eine für die M-Mode bzw. Doppleruntersuchung relevante Position platziert. Eine eigenständige Doppler- oder M-Modeuntersuchung ist derzeit nicht simulierbar. Auch eine Freeze-Ansicht der gewünschten Ebene ist rechts platzierbar, die ebenfalls langsam bis zum Erreichen der gewünschten Position eingeblendet wird.

Für die Diagnose von Krankheiten und Unterscheidung zu Normvarianten ist auch die Messfunktion von großer Bedeutung, daher können im Katzen-Echokardiographiesimulator Messungen simuliert werden. Die derzeitige Eindringtiefe beträgt aufgrund der humanmedizinischen Voreinstellungen mindestens 5 cm. Bei den beiden vorliegenden erkrankten Patienten sind die Messungen korrekt, da die Größenverhältnisse exakt eingestellt werden konnten. Die folgenden Screenshots zeigen verschiedene beispielhaft Messungen der drei Patientenfälle: Messungen nach Teichholz in Kurz- und Längsachse und Aorta im Verhältnis zu linkem Vorhof:

## Ergebnisse

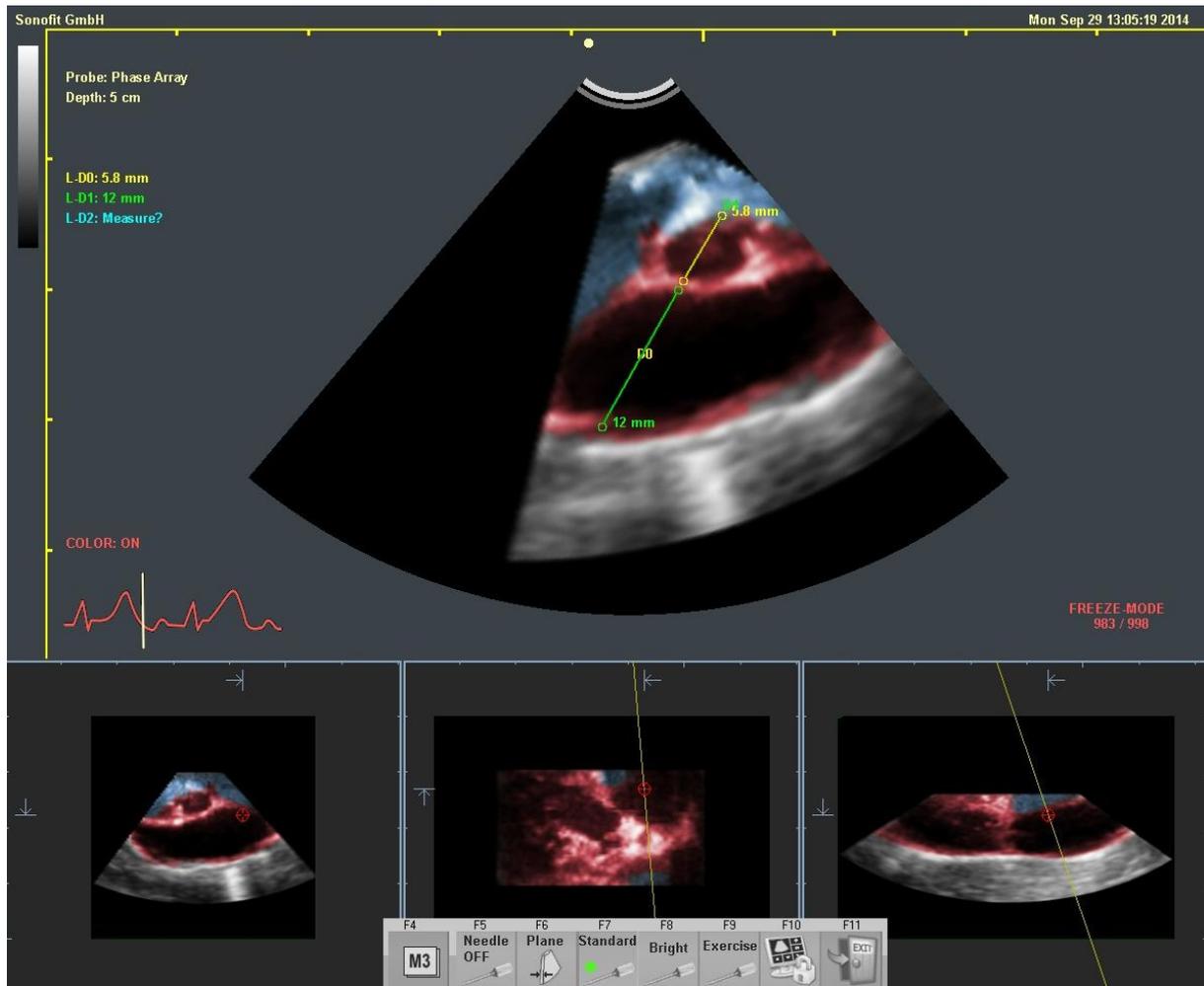


Abbildung 69: Screenshot Patient B „Katzé Vivaldi“, Messung in der Kurzachsenansicht von rechts parasternal auf Höhe der Aortenklappe: Verhältnis Aorta zu linkem Vorhof: 5,8 mm zu 12 mm, linker Vorhof vergrößert

## Ergebnisse

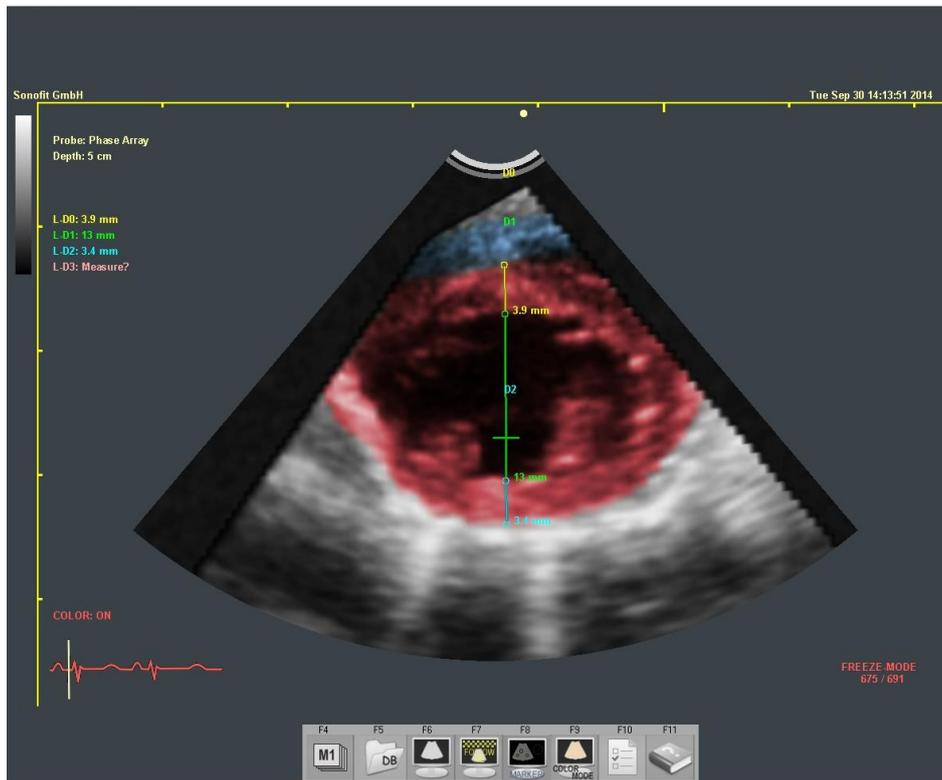


Abbildung 70: Patient C „Katze Hugo“, Messung nach Teichholz, Diastole, Kurzachse von rechts parasternal, Messergebnisse im Normbereich

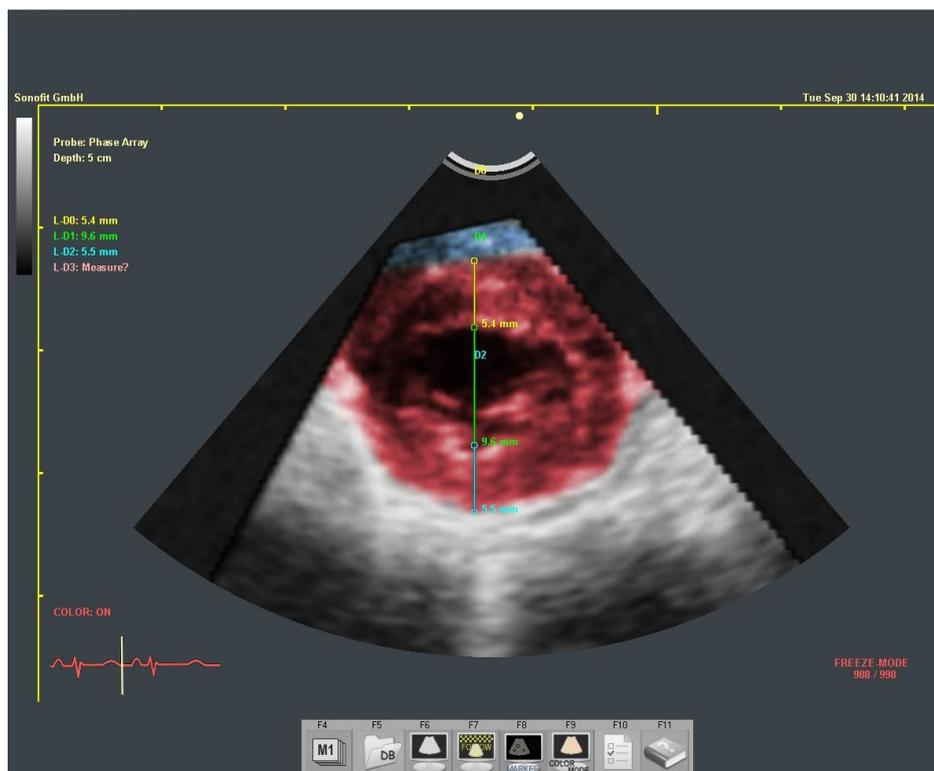


Abbildung 71: Patient C „Katze Hugo“, Messung nach Teichholz, Systole, Kurzachse von rechts parasternal, Messergebnisse im Normbereich

## Ergebnisse

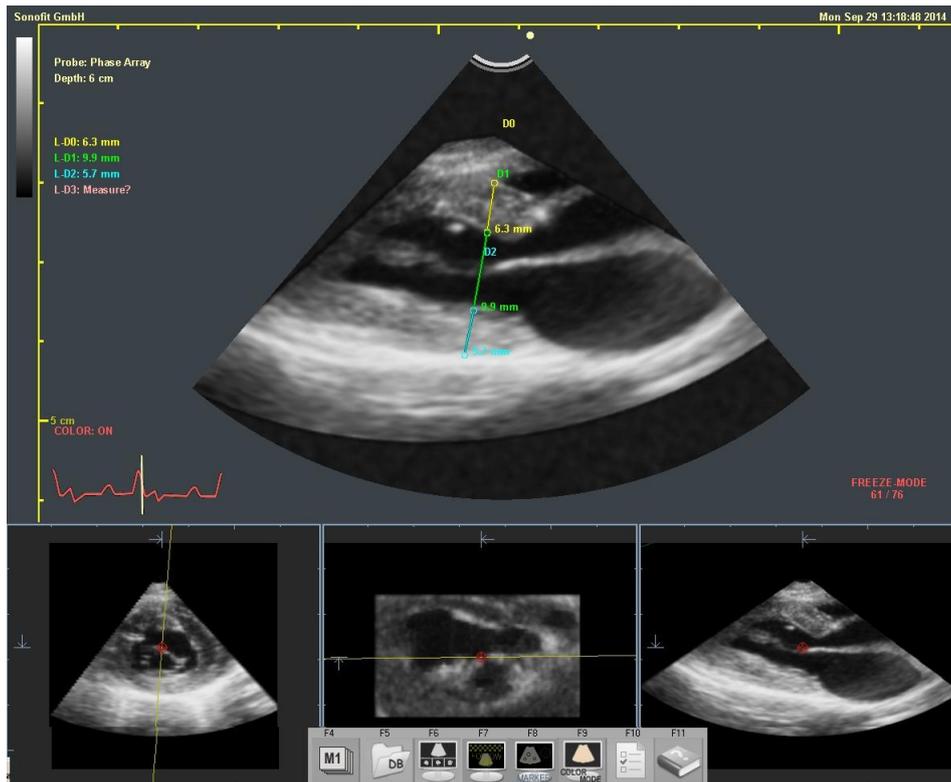


Abbildung 72: Patient A „Katze Gisi“, Messung nach Teichholz, Diastole, Längsachse von rechts parasternal, Septum interventriculare verdickt, Myocardium sinistrum noch normal

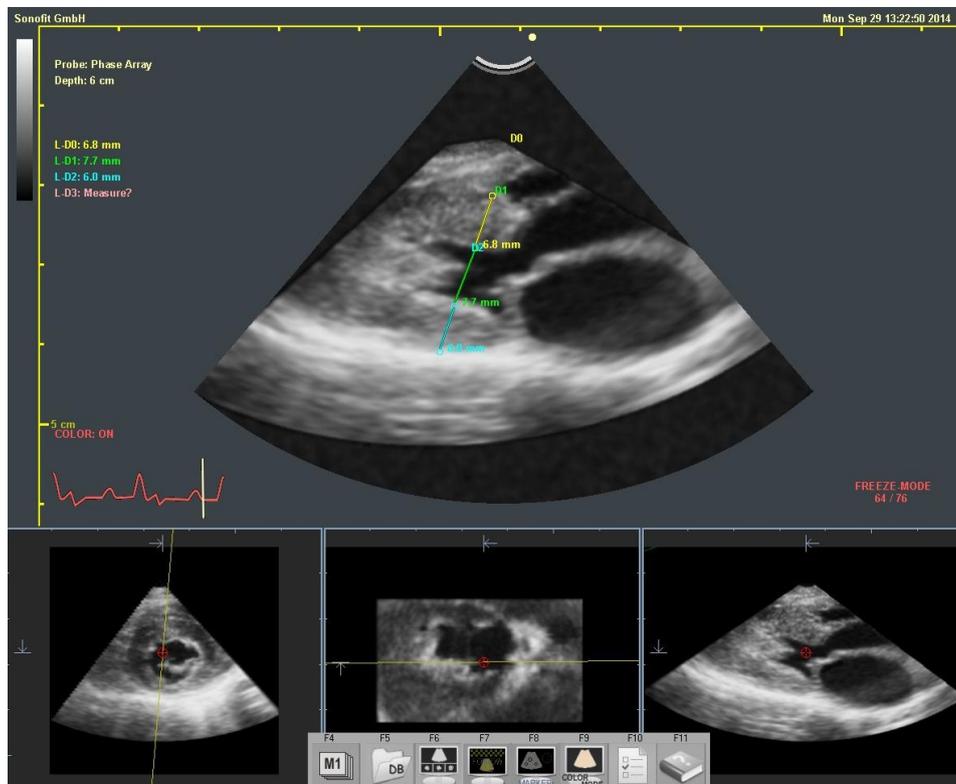


Abbildung 73: Patient A „Katze Gisi“, Messung nach Teichholz, Systole, Längsachse von rechts parasternal, alle systolischen Werte noch normal

## Ergebnisse

Die Messergebnisse korrelieren allesamt mit den realen Messungen, die während der echokardiographischen Untersuchung der echten Patienten gemessen wurden (vgl. Tabelle 11 im Anhang).

Beschreibung der einzelnen Patientenfälle:

### **3.1 Patient A, Fall: „Katze Gisi, rechts parasternal“**

Vorbericht: „Europäische Kurzhaar Hauskatze, 4 kg, 16 Jahre alt, weiblich kastriert

Die Katze ist seit einiger Zeit ruhiger als sonst, die Atemfrequenz etwas erhöht. Bei der Auskultation fiel ein holosystolisches Herzgeräusch in den kranialen und kaudalen Arealen links, Lautstärkegrad 2 von 6, sowie ein diastolisches Decrescendo-Herzgeräusch im kranialen Areal links auf, Lautstärkegrad 2 von 6“

Bei Patient A handelt es sich um eine Katze mit (asymmetrischer) hypertropher Kardiomyopathie (HCM) und Aorteninsuffizienz. Insbesondere Papillarmuskeln und Septum sind verändert. Für diesen Patienten existieren ebenfalls zwei verschiedene Ansichtsvarianten: Die beiden Hauptansichten mit einem mittigen Schallkegel, schwarz-weiß oder koloriert, und mit zwei parallelen Schallkegeln, einem schwarz-weißen und einem kolorierten nebeneinander.

Als zweite Variante können auch zu dieser Doppelansicht und der klassischen 2D-Ansicht die jeweiligen 3D-Achsenansichten im unteren Bildbereich in schwarz-weiß, also lediglich mit schwarz hervorgehobenem Lumen von Vorhöfen und Kammern ohne farbliche Hervorhebung der Myokardgrenzen, aber auch in rot und blau eingefärbt, ergänzt werden.

Der Standbildmodus und das Entfernen der roten und blauen Farbgebung ist in diesen beiden Varianten ebenfalls möglich, die Möglichkeit Messungen durchzuführen lediglich in der klassischen Hauptansicht, hierbei aber auch wenn die 3D-Schnittebenen als Nebenansichten mit eingeblendet sind.

Bei Patient A wird das während des Erstellens der 3D-Volumenscans aufgezeichnete EKG im linken unteren Bildrand eingeblendet.

Das EKG von Patient A weist eine Besonderheit auf: durch das Vorhandensein eines P-kardiale und einer extremen Niedervoltage des Kammerkomplexes ist das EKG auf der P-Welle getriggert.

Außerdem kann bei Patient A die EPSS im Simulator nicht gemessen werden, da aufgrund der niedrigen Bildrate des Datensatzes, die maximale frühdiastolische Öffnung der Mitralklappe nicht im Datensatz vorhanden ist.

### **3.2 Patient B, Fall: „Katze Vivaldi, rechts parasternal“**

Vorbericht: „Norwegische Waldkatze, 1,8 kg, 6 Monate alt männlich

Bei der Untersuchung vor der Impfung war ein holosystolisches, bandförmiges Herzgeräusch in den kranialen Arealen links und rechts aufgefallen, Lautstärkegrad 4 von 6, rechts lauter als links, das Verhalten und Allgemeinbefinden des Katers sind ungestört“

Patient B ist ebenfalls ein erkrankter Kater. Er leidet an einem Ventrikelseptumdefekt (VSD). Die Untersuchung ist in den Kurz- und Längsachsenansichten von rechts parasternal möglich. Auch bei Patient B besteht die Möglichkeit verschiedener Ansichten. Im ersten Fall sind wiederum nebeneinander die lediglich schwarz eingefärbte Variante, diesmal auf der rechten Bildschirmseite, und die mit zusätzlich rot und blau eingefärbten Myokardgrenzen auf der linken Bildschirmseite eingeblendet. Als zusätzliche Ergänzung besteht auch hier die Möglichkeit die jeweiligen 3D-Achsen-Ansichten im unteren Bildrand einzublenden. Bei Patient B sind sie jedoch nicht nur mit geschwärztem Lumen von Vorhöfen und Kammern darstellbar, sondern auch mit rot und blau eingefärbtem Myokard von linker Herzkammer und Septum bzw. rechter Herzkammer. Wie auch bei Patient A und C besteht die Möglichkeit die roten und blauen Farbanteile per Knopfdruck zu- bzw. auszuschalten. Auch Patient B kann in der klassischen Ansicht mit mittig platziertem Schallkegel untersucht werden, wo Farbe hinzu- oder ausgeschaltet werden kann. Hier besteht ebenfalls die Möglichkeit Messungen durchzuführen. Das entsprechende EKG von Patient B wird ebenfalls im linken unteren Bildrand dargestellt.

Im Datensatz von Patient B ist auffällig, dass bei leicht verkippter Darstellung vom linksventrikulären Ausflusstrakt apikal von der Aortenklappe ein Echo sichtbar ist, dass mit der Aortenklappe verwechselt werden kann.

### **3.3 Patient C, Fall: „Katze Hugo, rechts parasternal“**

Vorbericht: „Maine Coon Katze, 4,4 kg 10 Monate alt, männlich

Bei der Katze war bei der Impfung vor 8 Monaten ein holosystolisches Herzgeräusch in den kranialen Arealen links und rechts aufgefallen, Lautstärkegrad 2 von 6, links lauter als rechts. Obwohl bei der Auskultation jetzt kein Herzgeräusch mehr festgestellt werden konnte, wurde eine echokardiographische Abklärung vom Besitzer gewünscht.“

Bei Patient C handelt es sich um einen gesunden Patienten. Die echokardiographische Untersuchung ist möglich in Kurz- und Längsachse von rechts parasternal. Der Datensatz von Patient C bietet zwei verschiedenen Ansichten: erstens die Hauptansicht wie im gängigen Ultraschallbild mit einem Schallfenster. In diesem Schallfenster besteht die Möglichkeit wie bei einer realen echokardiographischen Untersuchung ein Standbild zu erzeugen, Messungen durchzuführen und es existiert die Auswahlmöglichkeit zwischen einer Ansicht in der lediglich die Herzkammern und Vorhöfe geschwärzt sind - was einem realen Ultraschallbild entspricht - und einer weiteren Ansicht in der zusätzlich linke und rechte Herzwand und –septum rot bzw. blau eingefärbt sind. Die Färbung kann über den Auswahlbutton „Color“ mit einem Knopfdruck ausgeschaltet bzw. hinzugefügt werden. Als zweites steht die Hauptansicht mit drei weiteren Nebenansichten zur Verfügung. Das 2D-

## Ergebnisse

Bild ist großformatig am Bildschirm zu erkennen und im unteren Bildrand finden sich noch drei zusätzliche Schnittbilder, wie sie auch in der MPR (multi-planar-reconstruction) - Ansicht eines 3D-Scans zu finden sind: Kurzachsenschnitt (Ebene II), Längsachsenschnitt (Ebene I) und einem dazu senkrecht stehenden Längsachsenschnitt (Ebene III). Auch bei dieser Auswahl besteht die Möglichkeit ein Standbild zu erzeugen, Messungen durchzuführen und es besteht ebenfalls die Auswahlmöglichkeit zwischen einer Variante, in der lediglich Herzkammern und Vorhöfe geschwärzt sind oder zusätzlich Septum und Herzwand des linken bzw. rechten Herzanteils rot bzw. blau eingefärbt sind. In dieser Ansicht kann ebenfalls per Knopfdruck die Färbung hinzugefügt oder ausgeschaltet werden. Im linken unteren Bildrand wird auch hier das EKG des Patienten eingeblendet.

Auch bei Patient C kann die EPSS im Simulator nicht gemessen werden, da auch hier durch die geringe Bildrate des Datensatzes die frühdiastolische maximale Öffnung der Mitralklappe nicht im Datensatz enthalten ist, nur die spätdiastolische Öffnung, bei der der Abstand zwischen Septum und septalen Mitralsegel deutlich größer ist als die EPSS.

Für Patient C wurde zusätzlich ein Tutorial zum autodidaktischen Erlernen der Echokardiographie in der Schnittebene Kurzachse von rechts parasternal auf Höhe der Papillarmuskeln, der Mitralklappe und der Ventilebene erstellt. Dabei wird die Aufgabe gestellt, nacheinander diese Ebenen im 2D-Echokardiogramm einzustellen. Anhand der Schemazeichnung unten rechts und des grünen Balkens unten links wird kenntlich gemacht, wie exakt die geforderte Ansicht eingestellt wurde. Ein nicht gefüllter Balken und eine undeutliche Schemazeichnung zeigen die falsche oder ungenau eingestellte Schnitteben an. Dagegen markiert ein gefüllter grüner Balken und eine klare Schemazeichnung den Erfolg.

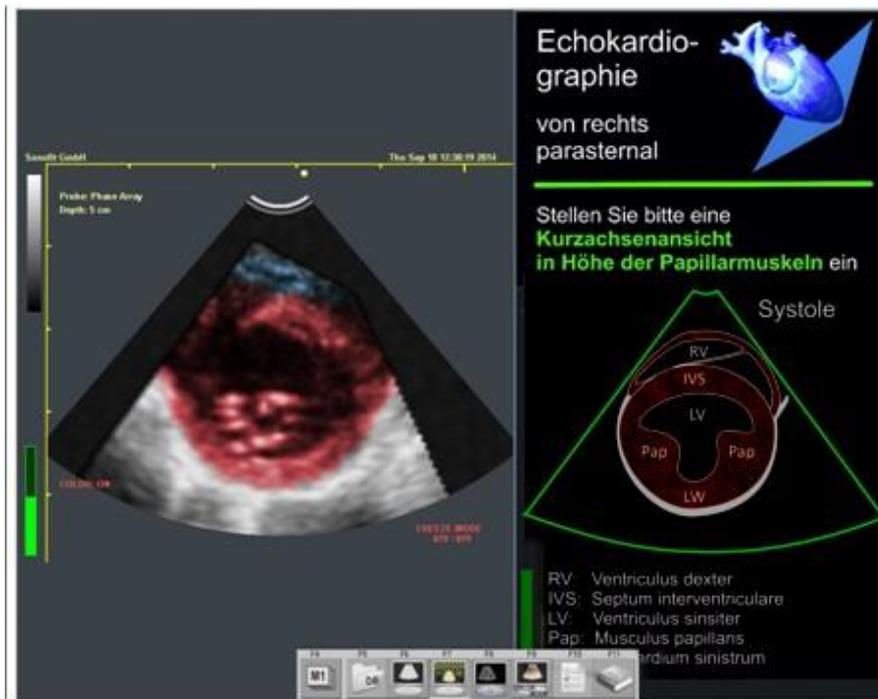


Abbildung 74: Screenshot Tutorial Patient C „Katze Hugo“: „Stellen Sie bitte eine Kurzachsenansicht auf Höhe der Papillarmuskeln ein“ mit noch nicht vollständig ausgefülltem grünen Balken links, und nicht mit voller Deckkraft eingeblendeter Schemazeichnung der gewünschten Ansicht

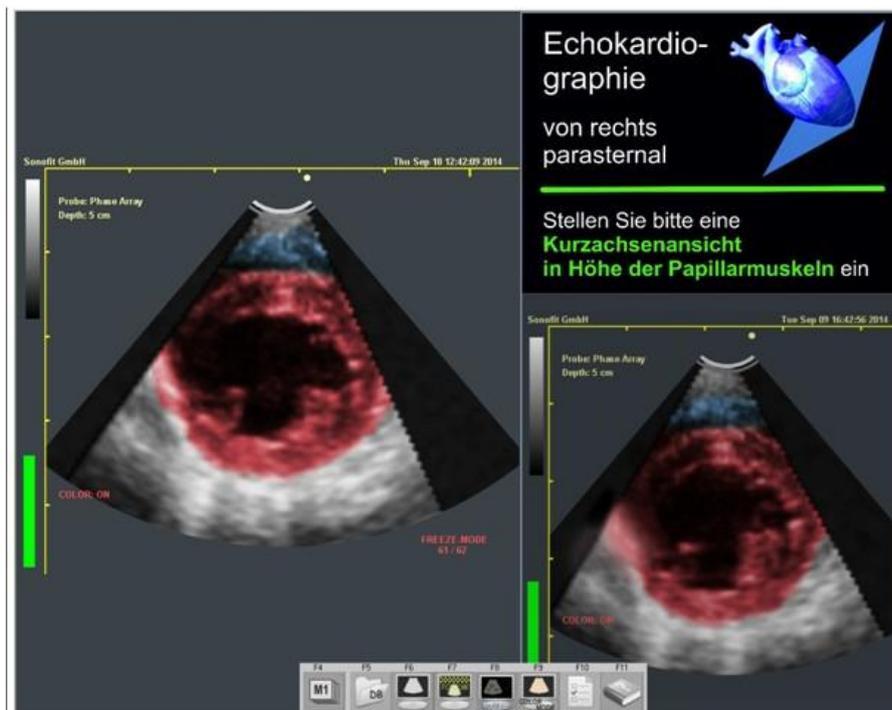


Abbildung 75: Screenshot Tutorial „Stellen Sie bitte eine Kurzachsenansicht auf Höhe der Papillarmuskeln ein“ mit vollständig ausgefülltem grünen Balken und vollständig eingeblendeter gewünschter Ansicht



Abbildung 76: Screenshot Tutorial Patient C „Katze Hugo“: „Stellen Sie bitte eine Kurzachsenansicht in Höhe der Aortenklappe ein“ mit vollständig ausgefülltem grünen Balken links und voll eingblendeter Schemazeichnung zur Orientierung rechts

Zusätzlich zu diesen Patientenfällen wurde der Katzen-Echokardiographiesimulator mit bereits im Rahmen der Dissertation von Decker (2014) erstellten Datensätzen bestückt: Einerseits mit einem Echokardiographiedatensatz eines Vierkammerblicks von links apikal für die auf der linken Seite liegenden Katze, andererseits mit einem Datensatz, der anatomische Schnitte des gesamten Thorax und Abdomens enthält und mit einem Datensatz in dem zwei Multivolumendatensätze parallel gezeigt werden, eine thorakale Magnetresonanztomographie (MRT) einer Katze und parallel dazu ein echokardiographischer Datensatz.

## Ergebnisse

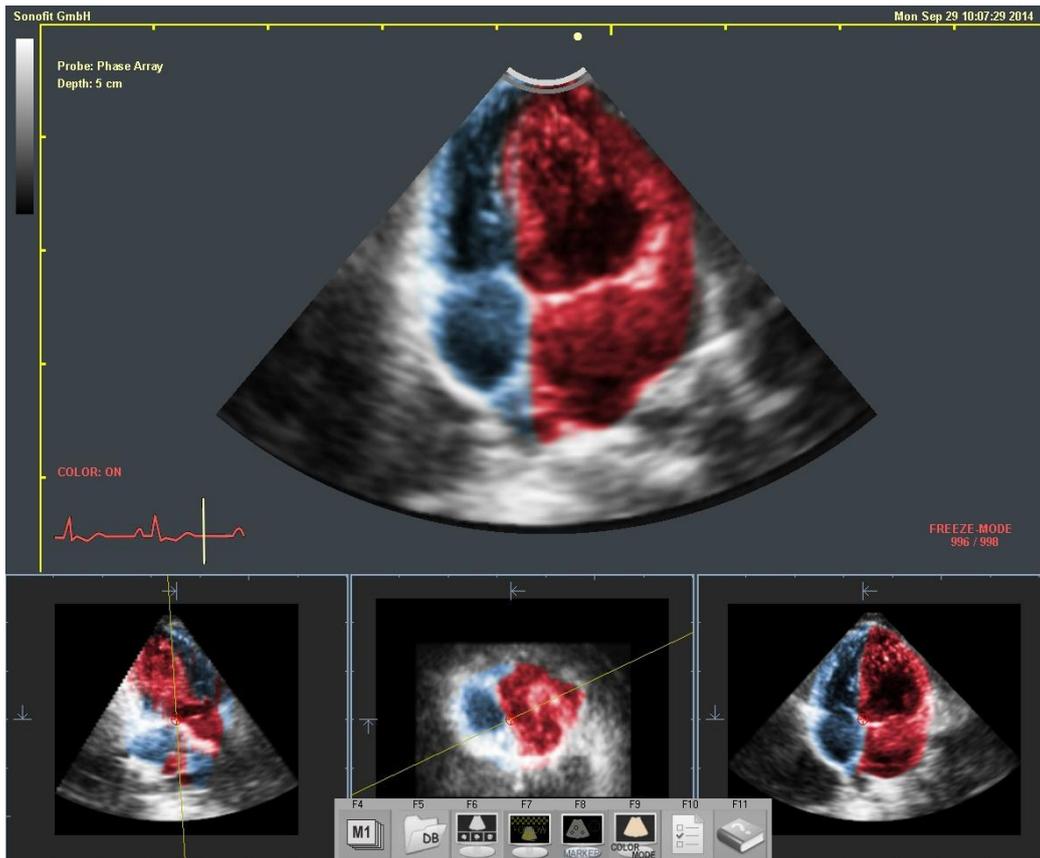


Abbildung 77: Patientenfall: „Katze Cassy“, Vierkammerblick von links apikal, Ansichtsvariante mit einer klassischen kolorierten Hauptansicht und drei kolorierten Nebenansichten, mit EKG des Patienten links unten in der Hauptansicht, erstellt im Rahmen der Dissertation von Decker (2014)

## Ergebnisse

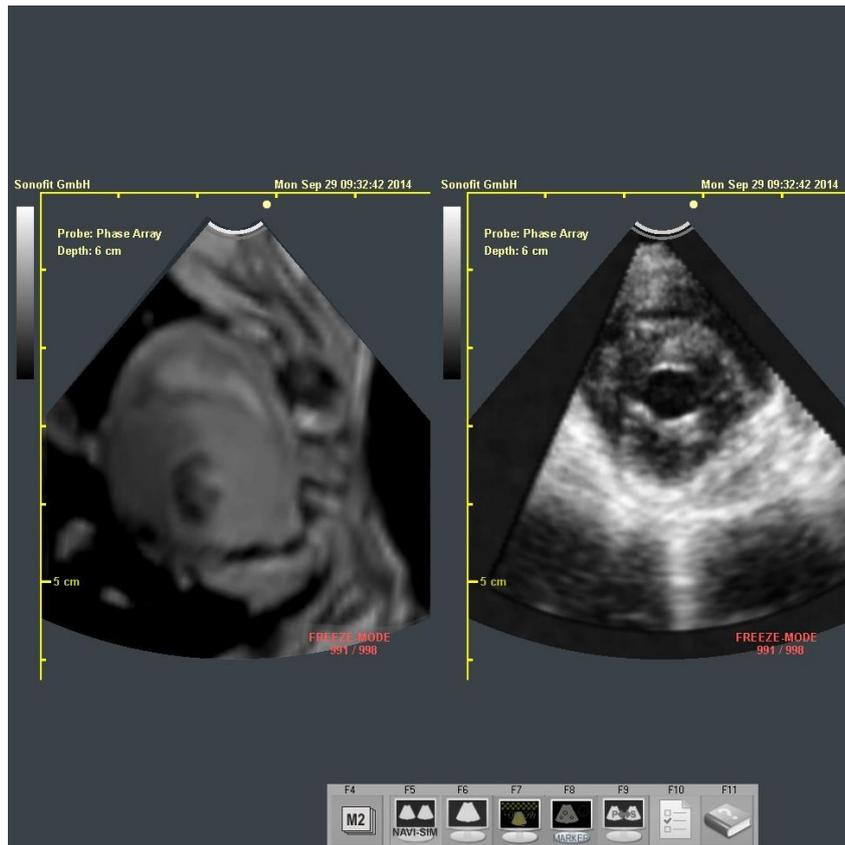


Abbildung 78: Screenshot: parallele Abbildung von MRT Datensatz und Ultraschallbild aus der Arbeit von Decker (2014)

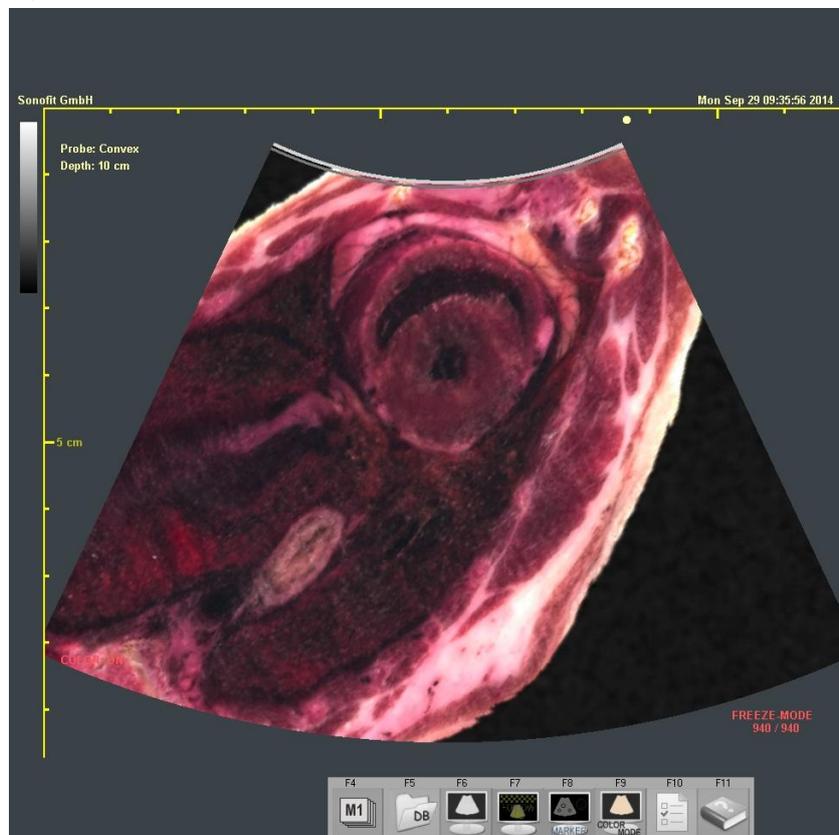


Abbildung 79: Screenshot anatomischer Schnitt auf Höhe des Herzens, erstellt im Rahmen der Dissertation von Decker (2014)

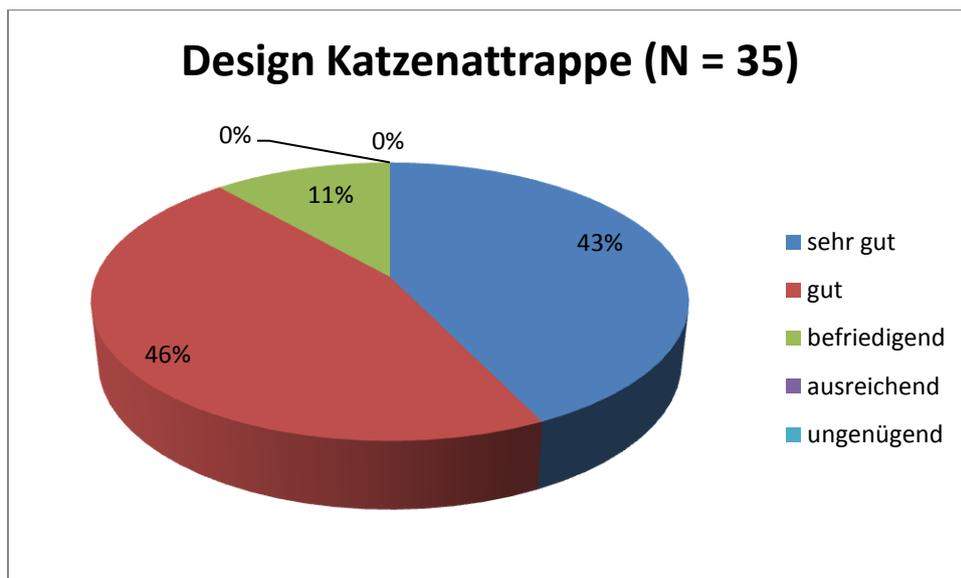
## 4 Evaluierung

Der Katzenechokardiographie Simulator wurde im Zuge der Testphase von zwei Gruppen Studierender evaluiert. Neunzehn Studierende im sechsten Semester, die im Sommersemester 2014 am Wahlpflichtfach „Echokardiographie“ teilgenommen hatten und sechzehn Studierende ab dem achten Semester, die sich im Chirurgie Block der klinischen Rotation befanden, testeten den Echokardiographiesimulator. Alle verfügten über mäßige bzw. geringe Erfahrungen in der Ultraschalluntersuchung von lebenden Hunden. Der kardiologische Kenntnisstand der Studierenden war zum Zeitpunkt des Tests eher eingeschränkt. Es wurden verschiedene Parameter hinsichtlich Handling, Realitätsnähe und Relevanz evaluiert. Die Ergebnisse der Evaluierung sind in den Diagrammen 1-16 dargestellt.

Als erstes wurden die Teilnehmer befragt, inwiefern sie das Design der Katzenattrappen als ansprechend empfinden.

Diagramm 1

43 % bewerteten das Design mit sehr gut, 46 % mit gut und 11 % mit befriedigend.



## Ergebnisse

Die zweite Fragestellung bezog sich auf den Untersuchungstisch. Hier wurde unterschieden zwischen ansprechendem Design einerseits und Funktionalität andererseits.

Diagramm 2

Das Design wurde von 47 % mit sehr gut, 41 % mit gut und 12 % mit befriedigend bewertet.

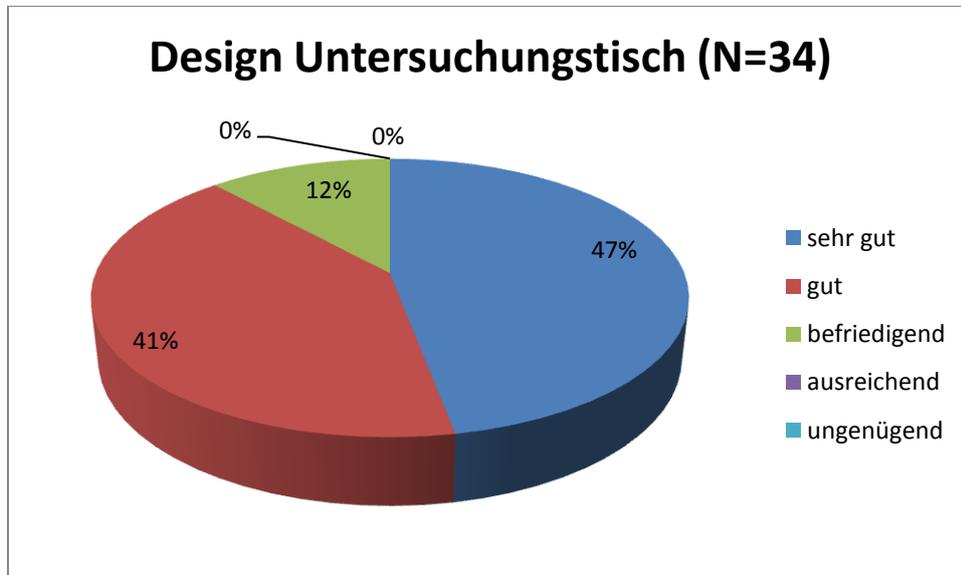
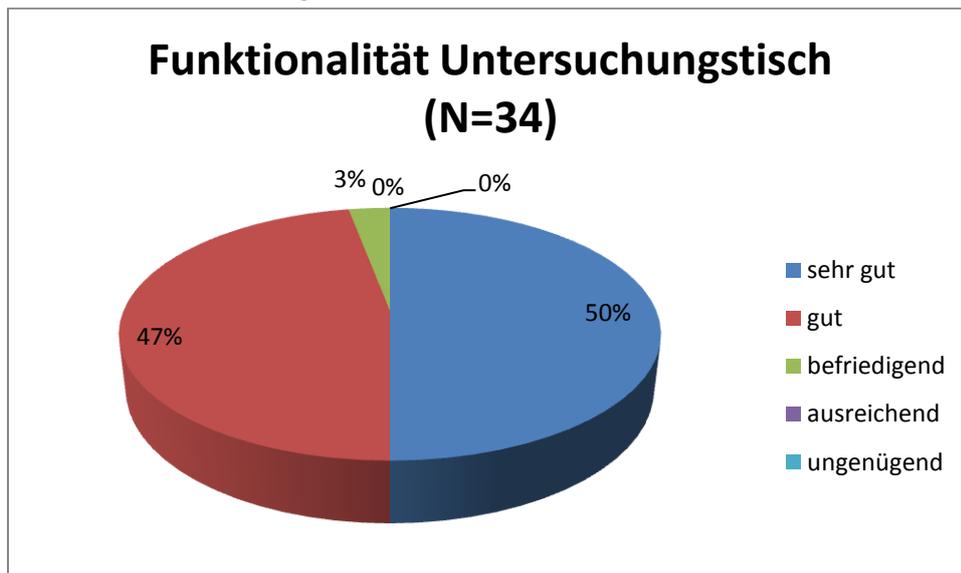


Diagramm 3

Hinsichtlich der Funktionalität wurde der Untersuchungstisch von 50 % mit sehr gut, 47 % mit gut und von 3 % mit befriedigend bewertet.

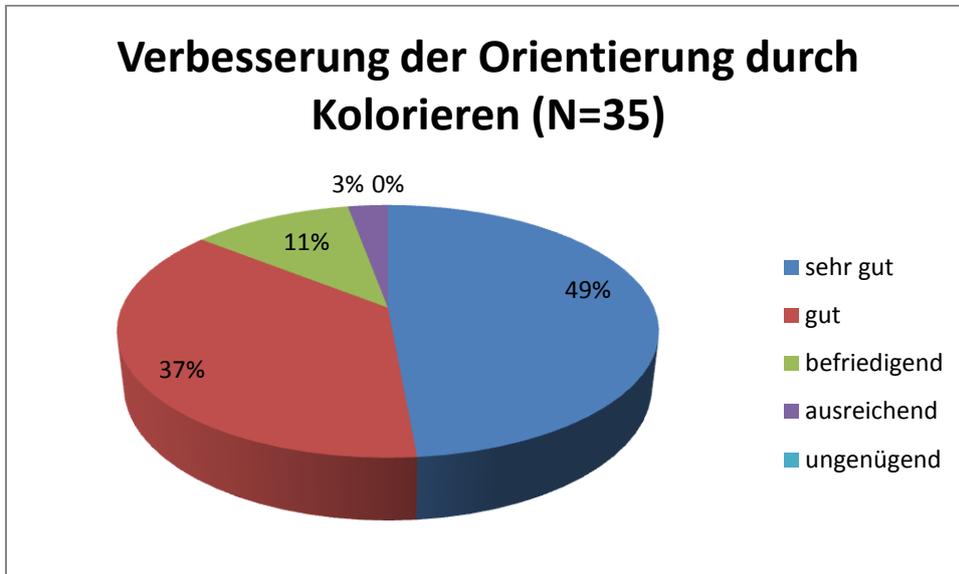


## Ergebnisse

Ein weiterer Punkt den die Studierenden bewerteten, war die Verbesserung der Orientierung durch das Einfärben der Herzhälften.

Diagramm 4

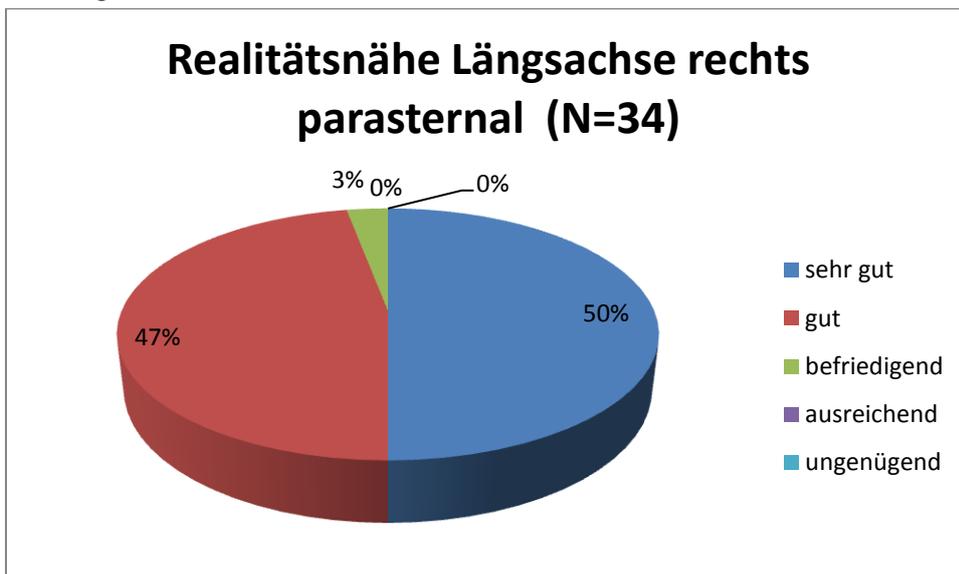
49 % bewerteten die verbesserte Orientierung mit sehr gut, 37 % mit gut, 11 % mit befriedigend und 3 % mit ausreichend.



Auch die Realitätsnähe der Darstellung der einzelnen Schnitte wurde bewertet. Als erstes die parasternale Längsachsenschnitte von rechts.

Diagramm 5

50 % der Teilnehmer bewerteten die Realitätsnähe mit sehr gut, 47 % mit gut und 3 % mit befriedigend.

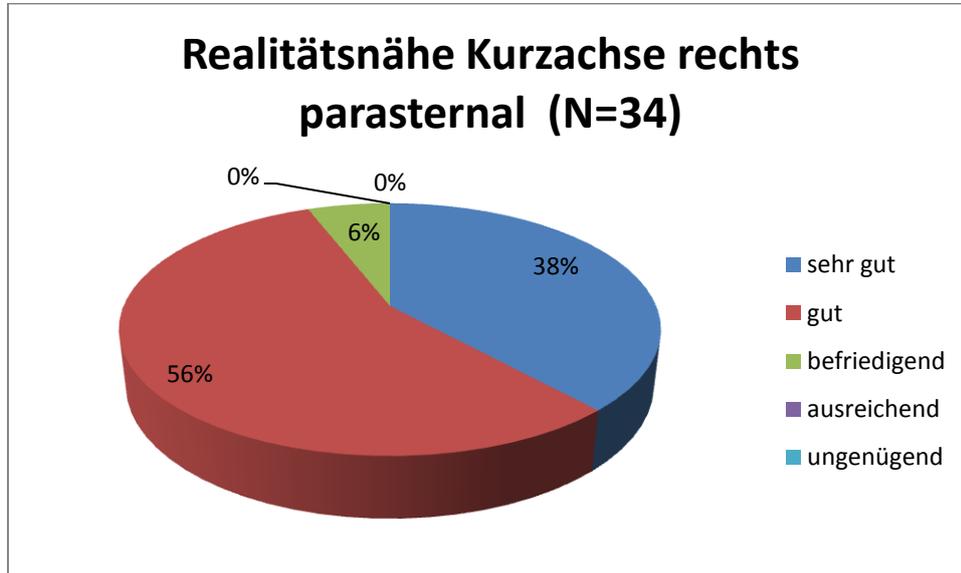


## Ergebnisse

Die Kurzachsenschnitte parasternal von rechts wurden als zweites bewertet.

Diagramm 6

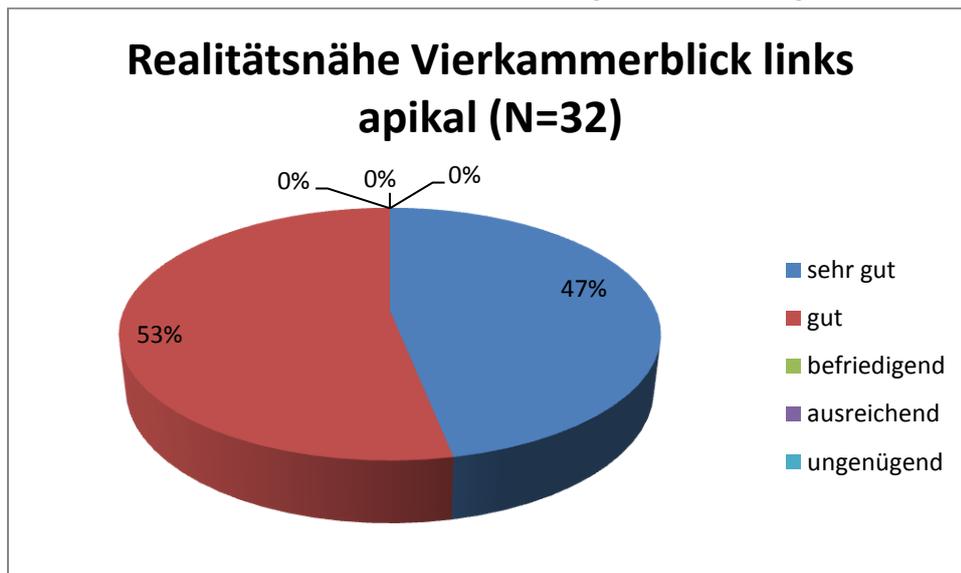
38 % bewerteten sie mit sehr gut, 56 % mit gut und 6 % mit befriedigend.



Weiterhin wurde die Darstellung der apikalen Vier-, Drei- und Zwei-Kammeransichten von links bewertet.

Diagramm 7

Die Teilnehmer bewerteten sie mit 47 % als sehr gut und 53 % als gut.

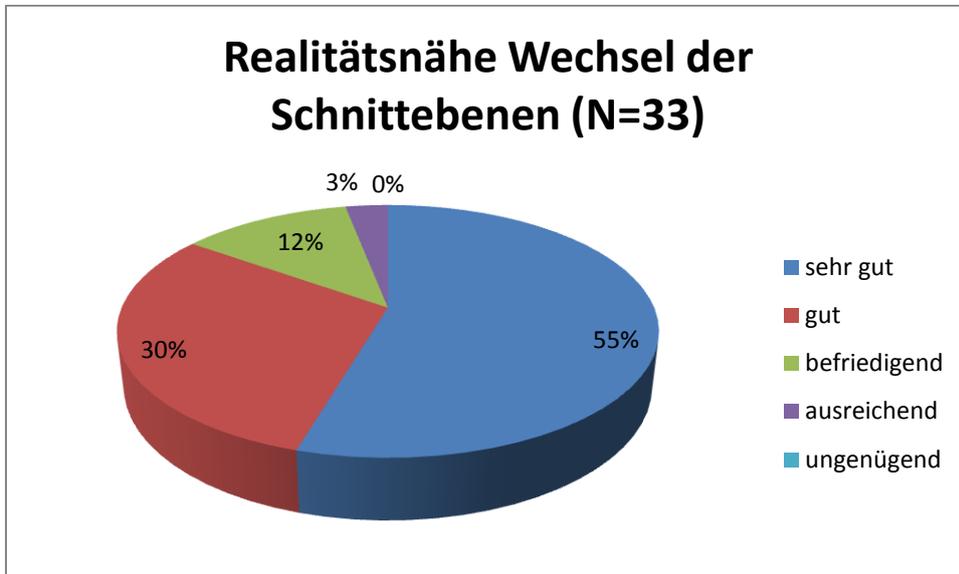


## Ergebnisse

Auch das Wechseln zwischen den einzelnen Standardschnittebenen, also das Drehen und Kippen des Schallkopfes, wurde hinsichtlich der Realitätsnähe bewertet.

Diagramm 8

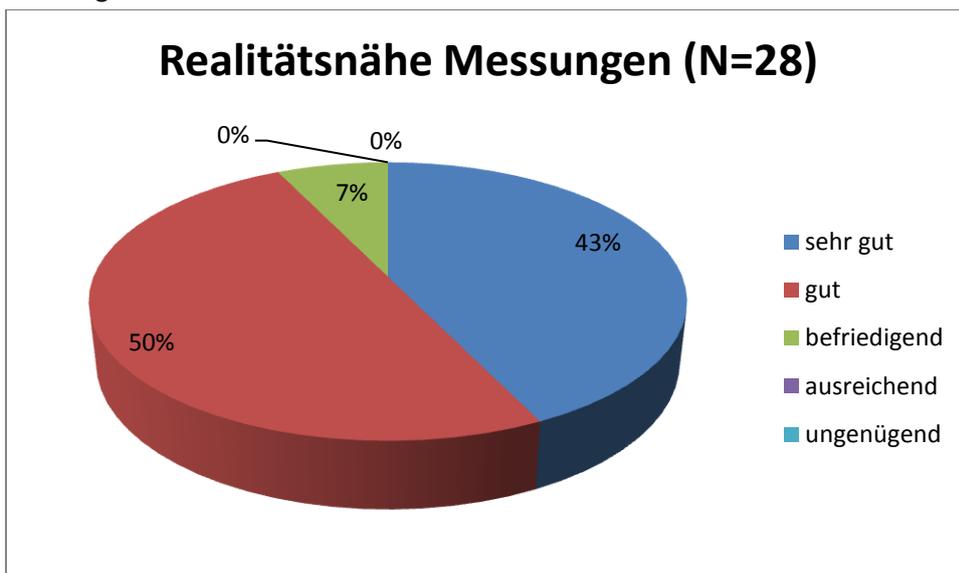
55 % der Studierenden bewerteten sie mit sehr gut, 30 % mit gut, 12 % mit befriedigend und 3 % mit ausreichend.



Die Möglichkeit Messungen mit dem Simulator durchzuführen, wurde ebenfalls bewertet.

Diagramm 9

Die Realitätsnähe dieser Funktion bewerteten 43 % mit sehr gut, 50 % mit gut, und 7 % mit befriedigend.



## Ergebnisse

Hinsichtlich der Praktikabilität wurde einerseits der Wechsel der Katzen, also der Wechsel von rechter in linke Seitenlage, bewertet und andererseits der Wechsel zwischen den einzelnen Datensätzen.

Diagramm 10

Das Wechseln der Katzen wurde von 34 % als sehr gut, von 53 % als gut und von 13 % als befriedigend bewertet.

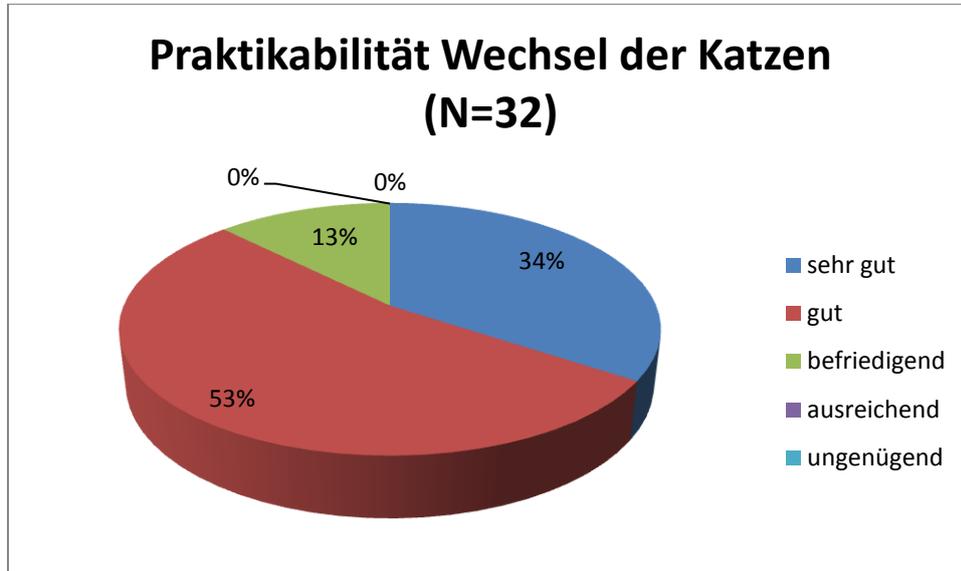
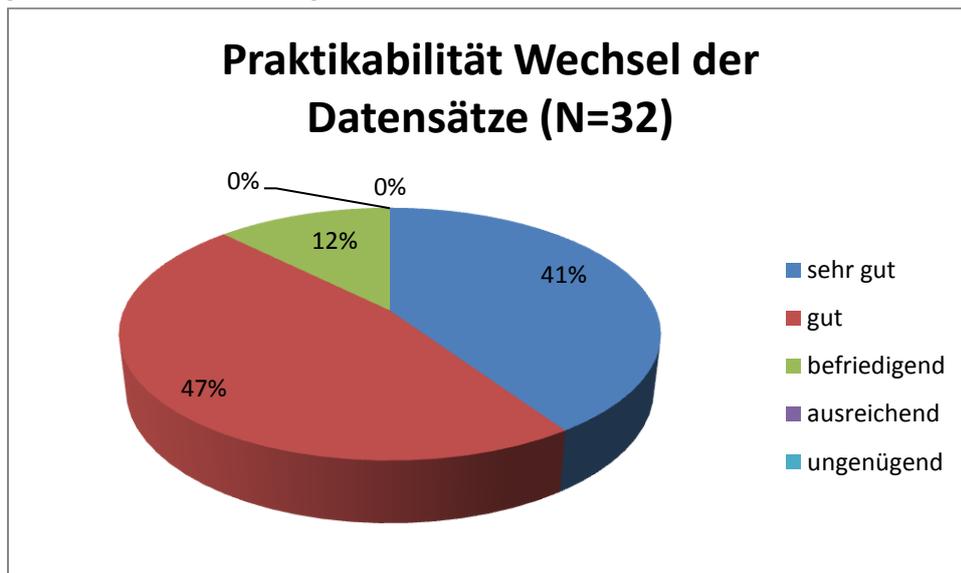


Diagramm 11

Die Praktikabilität beim Wechsel zwischen den Datensätzen bewerteten 41 % mit sehr gut, 47 % mit gut und 12 % mit befriedigend.

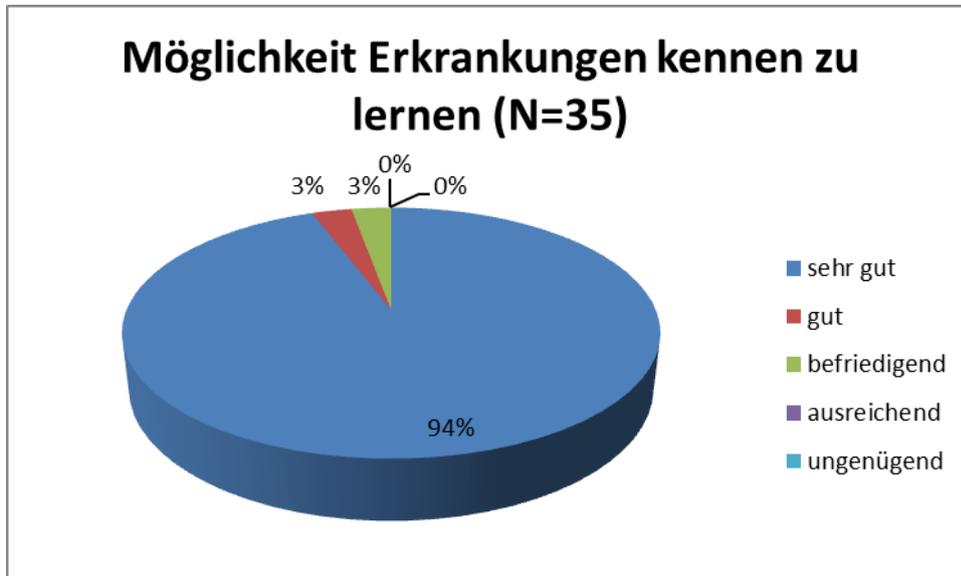


## Ergebnisse

Eine bedeutende Fragestellung war auch, wie die Studenten die Möglichkeit bewerten, dass auch Datensätze von kranken felines Herzen im Simulator zur Verfügung stehen.

Diagramm 12

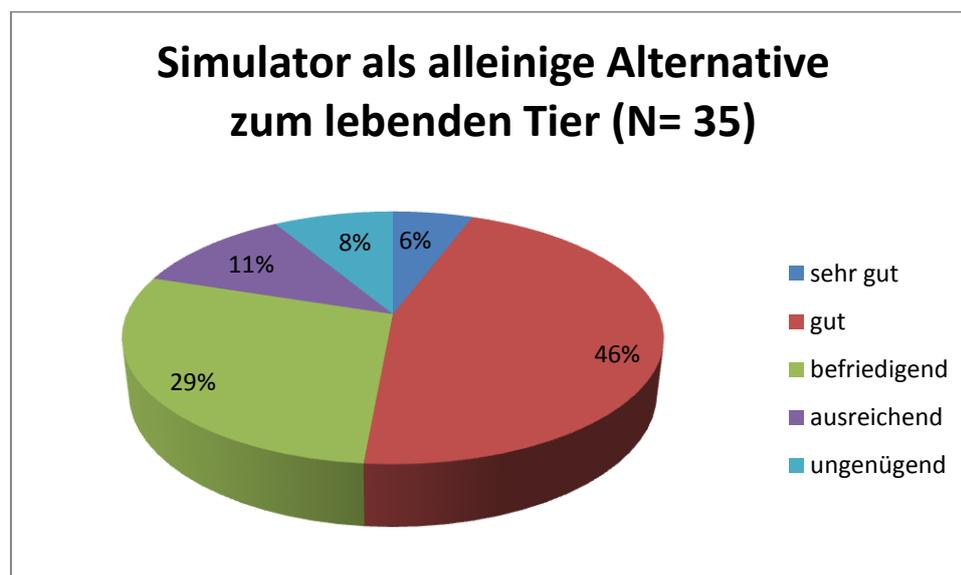
Die Teilnehmer bewerteten mit 94 % die Möglichkeit mit sehr gut, 3 % mit gut und 3 % mit befriedigend.



Im Anschluss daran wurden die Studierenden befragt, wie sie den Simulator als alleinige Alternative zum lebenden Tier einstufen um die Echokardiographie zu erlernen.

Diagramm 13

6 % der Studierenden bewerteten mit sehr gut, 46 % mit gut, 29 % mit befriedigend, 11 % mit ausreichend und 8 % mit ungenügend.

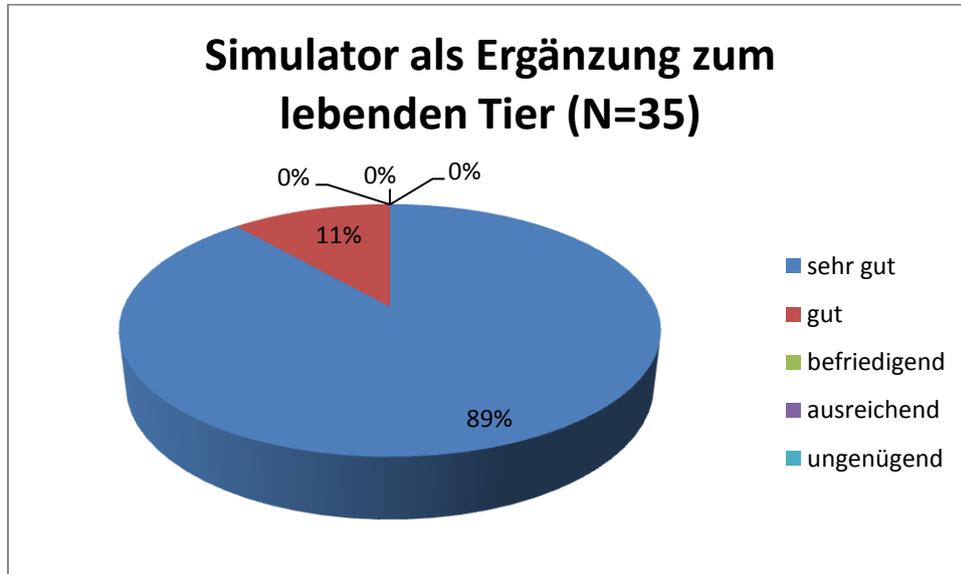


## Ergebnisse

Das führte zur folgenden Frage, wie das Simulatortraining als Ergänzung zum Echokardiographietraining am lebenden Tier eingeschätzt wird.

Diagramm 14

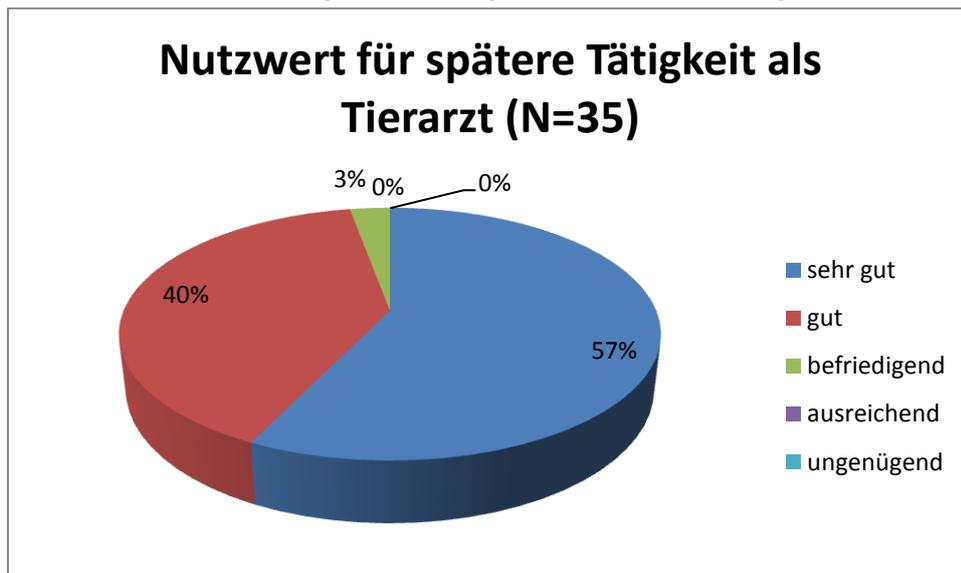
Hier bewerteten 89 % der Teilnehmer mit sehr gut und 11 % mit gut.



Auch die Frage, wie hoch der Nutzwert des Simulators bzw. des Simulatortrainings für die spätere Tätigkeit als Tierarzt eingeschätzt wird, wurde den Studierenden gestellt.

Diagramm 15

57 % bewerteten mit sehr gut, 40 % mit gut und 3 % mit befriedigend

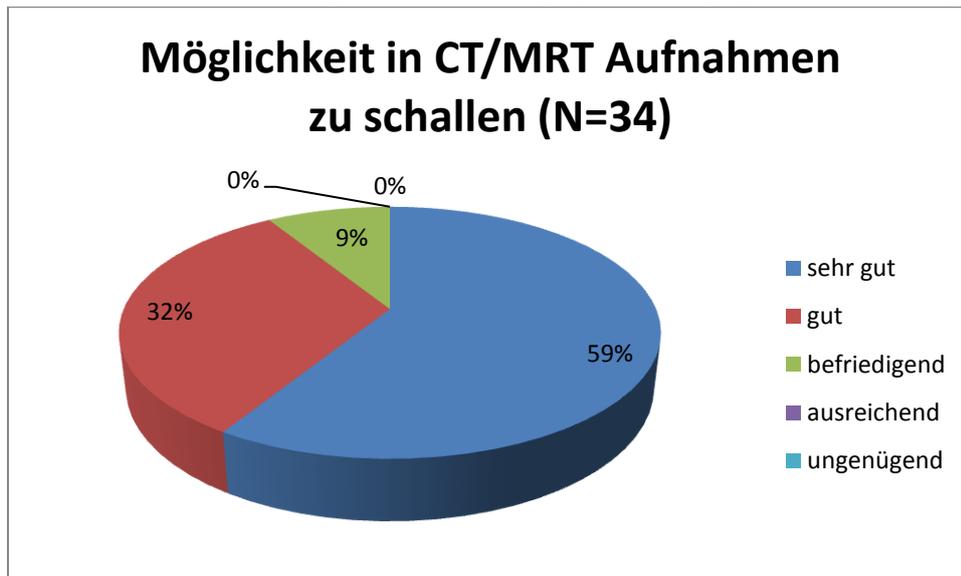


## Ergebnisse

Als Besonderheit des SonoSim III des Herstellers Sonofit GmbH, Darmstadt gilt die Möglichkeit in verschiedenen bildgebenden Verfahren parallel zu schallen bzw. mehrere Volumendatensätze verschiedener bildgebender Verfahren parallel darzustellen, daher wurden die Studierenden ebenfalls befragt, wie ihre Einschätzung bezüglich dieser Variante ist. Diese Datensätze stammen aus der Arbeit von Decker (2014).

Diagramm 16

59 % bewerteten diese Möglichkeit mit sehr gut, 32 % mit gut, 9 % mit befriedigend.



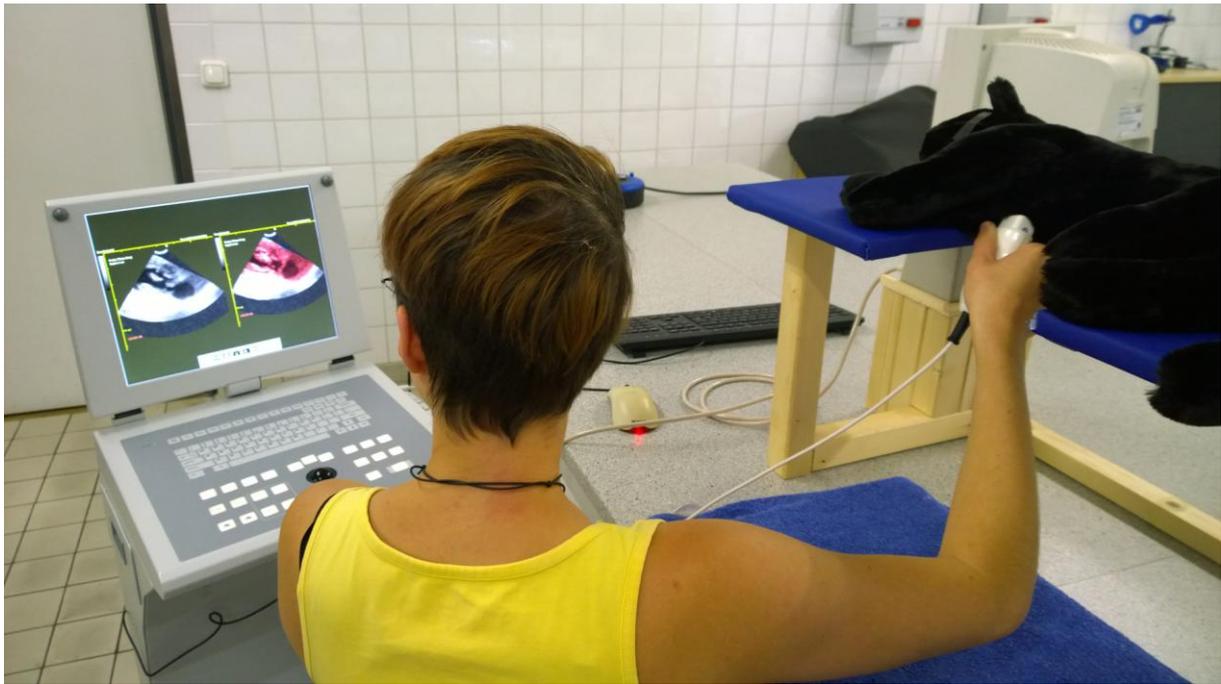


Abbildung 80: Simulator in der Testphase zur Evaluierung durch Studierende im Ultraschalllabor der Veterinärmedizinischen Fakultät der LMU mit einem der käuflich erworbenen Unterlegkissen.



Abbildung 81: eingerichteter Katzen-Echokardiographiesimulator-Arbeitsplatz im Ultraschalllabor der LMU München am Institut für Anatomie, Histologie und Embryologie

## V Diskussion

### 1 Einsatz des Katzen-Echokardiographiesimulators im Sinne des Tierschutzes

Bei der Verwendung von Tieren in der Aus-, Fort- und Weiterbildung muss das Tierschutzgesetz berücksichtigt werden. Darin ist festgelegt, dass auch für die Aus-, Fort- und Weiterbildung eingesetzte Tiere Teil eines Tierversuchs und somit speziellen Regeln unterworfen sind. Es wird explizit darauf hingewiesen, dass stets zu prüfen ist, ob das gewünschte Ergebnis auch ohne den Einsatz von Tieren bzw. mit verringerten Tierzahlen zu erreichen ist (BUNDESMINISTERIUM DER JUSTIZ UND FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ, 1972, 2006, 2013). Wird bei der Aus-, Fort- und Weiterbildung im Bereich Ultraschall und Echokardiographie ein großer Teil der Tiere durch Simulatoren wie den vorliegenden Katzen-Echokardiographiesimulator ersetzt oder ergänzt, so kann die Zahl der Tiere die in diesem Gebiet zum Einsatz kommen deutlich reduziert werden. Die Ausbildung von Tierärzten an Modellen und Simulatoren verringert somit die Anzahl der Tiere mit denen ein Tierversuch im Sinne von Aus-, Fort- und Weiterbildung durchgeführt werden muss. Daher stellt auch die Ultraschallausbildung ohne lebende Tiere eine Alternative, zumindest aber eine wichtige Ergänzung in der Ausbildung dar, was ein bedeutender Grund ist, die Entwicklung von geeigneten, realitätsnahen Simulatoren voranzutreiben. Die Ultraschall- und Echokardiographieausbildung am Simulator gehört damit wie alle anderen Varianten der tierärztlichen Ausbildung an Simulatoren und Modellen zu den Möglichkeiten, die in der Lehre eingesetzten Tierzahlen im Sinne des Tierschutzes zu verringern, wie auch schon Scalese und Issenberg im Jahr 2005 in ihrer Veröffentlichung über die Ausbildung an Simulatoren in der Tiermedizin beschreiben (SCALESE & ISSENBERG, 2005).

Auch in der Evaluierung durch die Studierenden zeigte sich, dass 100 % der Teilnehmer das Training mit Simulator als Ergänzung zum Unterricht am lebenden Tier mit gut oder sehr gut bewerteten. Diese Tatsache spricht für den Einsatz des Katzen-Echokardiographiesimulators in der Echokardiographieausbildung. Sogar 81 % der Befragten beurteilten den Simulator als alleinige, ausschließliche Alternative in der Ausbildung noch mit sehr gut, gut oder befriedigend und nur lediglich 8 % als ungenügend. Die Studierenden hatten alle vorher mindestens einmal lebende Hunde und einige auch lebende Katzen selbst echokardiographisch untersucht, das heißt die Untersuchung am lebenden Tier geübt. Das letzte Ergebnis, das den Simulator als ausschließliche Alternative sieht, ist kritisch zu beurteilen. Auch wenn mithilfe eines Simulators Grundlagen, wie zum Beispiel das Auffinden von korrekten Schnittebenen gut erlernt werden kann, so entspricht das Training am Simulator nicht einer echokardiographischen Untersuchung einer lebenden Katze unter Praxisbedingungen. Die Katzenattrappen atmen nicht, das führt dazu, dass keinerlei Artefakte durch die Atmung entstehen. Weiterhin sind im simulierten 2D-Bild keinerlei Artefakte als Schallauslöschungen durch die Rippen erkennbar, was oft ein Problem bei der realen Untersuchung darstellen kann (POULSEN NAUTRUP, 2007). Die verwendeten 3D-Datensätze sind korrekt zwischen den Rippen hindurch geschallt worden, dadurch entstehen diese Artefakte nicht und sind somit auch nicht im simulierten Bild zu produzieren. Die Untersuchung ist also in dieser Hinsicht idealisiert. Ein weiterer Faktor ist sicherlich, dass Katzen in der Regel bei einer echokardiographischen Untersuchung wesentlich gestresster und somit unkooperativer sind, als eine fixierte Katzenattrappe.

Gleichzeitig ist dies aber auch ein Argument für den Einsatz eines Simulators im Sinne des Tierschutzgesetzes, denn durch den Einsatz eines Echokardiographiesimulators werden weniger Katzen zu Übungszwecken einer Stresssituation ausgesetzt werden müssen. Da die Mehrheit der Teilnehmer der Evaluierung jedoch noch nicht unter Praxisbedingungen Katzen echokardiographisch untersucht hat, ist fraglich, ob sie diese Fragestellung repräsentativ bewerten können.

Insgesamt ist daher sicherlich die Verwendung des Katzen-Echokardiographiesimulators als Ergänzung zum Training am lebenden Tier sehr positiv zu beurteilen und voranzutreiben, als alleinige Alternative jedoch nicht zu empfehlen.

Eine weiterer wichtiger Aspekt, die der Echokardiographiesimulator in erster Linie für etwas erfahrenere Untersucher bietet, besteht darin, herzkrankte Patienten mit zum Teil fortgeschrittener Herzinsuffizienz in Ruhe ohne Zeitdruck untersuchen zu können. Besonders dieser letzte Punkt ist tierschutzrelevant, da Tiere nicht unnötig Schmerzen, Leiden oder Schäden ausgesetzt werden dürfen (BUNDESMINISTERIUM DER JUSTIZ UND FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ, 1972, 2006, 2013), so dass die praktische Ausbildung an kranken Tieren nur sehr eingeschränkt oder gar nicht möglich ist. Da auf Fortbildungen und zum Beispiel auch im Ultraschalllabor der LMU München in erster Linie gesunde Tiere geschallt werden, haben nur wenige Untersucher die Möglichkeit Tiere mit Erkrankungen zu untersuchen, was folglich dazu führen kann, dass Untersucher, die eine bestimmte Erkrankung im Ultraschall noch nie gesehen haben, sie auch bei einem realen erkrankten Patienten nicht erkennen, folglich nicht behandeln und somit massive Nachteile für die Patienten bis hin zum Tod entstehen können. Erwartungsgemäß wurde daher im Rahmen der Evaluierung die Möglichkeit am Katzen-Echokardiographiesimulator auch Erkrankungen untersuchen zu können von 94% der Teilnehmer mit sehr gut bewertet. Das zeigt auch, dass der Bedarf vorhanden ist, zusätzlich zum theoretischen Erlernen von Erkrankungen auch die praktische Echokardiographieausbildung vor allem im Bereich der Erkrankungen auszubauen, bestenfalls unter Berücksichtigung des Tierschutzes.

Wie auch der Einsatz in der Humanmedizin seit vielen Jahren zeigt, gewinnt die praktische Ausbildung an Simulatoren immer mehr an Bedeutung, vor allem da durch ihren Einsatz das „Üben“ am realen menschlichen Patienten vor allem bei kritischen Untersuchungen verringert wird (SCALESE & ISSENBERG, 2005). In der Tiermedizin wird ebenfalls durch Verschärfung des Tierschutzgesetzes, der Einsatz von lebenden tierischen Patienten im Rahmen der Aus-, Fort- und Weiterbildung von Tierärzten und Studierenden der Tiermedizin in Zukunft stark eingeschränkt werden, was zumindest die partielle Ausbildung an Simulatoren noch weiter notwendig machen wird.

## **2 Katzenmodelle und Ultraschalltisch**

Da eigens für die Tiermedizin derzeit keine Ultraschall- bzw. Echokardiographiesimulatoren existieren (DECKER, 2014), mussten vorab einige Überlegungen bezüglich der praktischen Umsetzung für die feline Patientenattrappen angestellt werden.

Ein Echokardiographiesimulator für die Katze muss sowohl einerseits eine echokardiographische Untersuchung in allen Standardschnittebenen nach Thomas et al. (THOMAS et al., 1993) ermöglichen, als auch andererseits eine möglichst realitätsnahe Umsetzung von Patientenattrappe, Ultraschallgerät und Ultraschalltisch aufweisen. Die Realitätsnähe der Patientenattrappe spielt eine große Rolle, da Studierende der Veterinärmedizin, die an einer humanmedizinischen Patientenattrappe das Vorgehen bei Anästhesienotfällen trainieren sollten, bemängelten, dass der

menschliche Modelltorso für einen angehenden Tierarzt als „Patient“ doch eher „ungewohnt“ sei (MODELL et al., 2002). Da die technischen Grundlagen mit minimalen Modifikationen, Ausstattung und das Design der Ultraschallsimulatorgeräte vom Ultraschallsimulator SonoSim III der Firma Sonofit GmbH, Darmstadt aus der Humanmedizin übernommen werden können, liegt der Fokus für die Tiermedizin in erster Linie auf der Umsetzung von Patientenattrappe, Ultraschalltisch und Datensätzen für alle gängigen Schnittebenen. Es muss also die Möglichkeit gegeben sein, an einer möglichst realitätsnahen Katzenattrappe, die sowohl auf der linken als auch auf der rechten Seite auf einem echokardiographischen Untersuchungstisch liegt, eine echokardiographische Untersuchung durchzuführen. Eine realitätsnahe Katzenattrappe, sollte die Größe und Proportionen einer durchschnittlichen Katze haben, über Fell verfügen, Katzenaugen und Tasthaare besitzen und für die Orientierung hinsichtlich der Schallkopfposition Rippen, Ellbogenfalte und Sternum. Durch den mit Rippen und Sternum modellierten Schaumstoffrumpf der Firma Polyform, Rinteln, sind diese Merkmale gegeben. Komplettiert wird das Bild einer realitätsnahen Katzenattrappe durch die Maßanfertigung eines Kunstplüschfells aus schwarzem, in der Struktur katzenfellähnlichem Kunstpelz, schlitzförmigen, hintermalten bzw. reflektierenden Glasaugen und schwarzen Tasthaaren. Auch hinsichtlich des Füllmaterials der Beine, Kopf und Schwanz wurde berücksichtigt, dass sie sich einer realen Katze im Hinblick auf die taktilen Eigenschaften annähern sollten. Daher wurde ein Granulat gewählt, das einerseits dem Gewicht eines realen Katzenbeins entspricht und sich annähernd wie ein reales Katzenbein anfühlt.

Der limitierende Faktor hinsichtlich der Proportionen eines Plüschtiers aus Kunstfell mit einer gewissen Florhöhe ist jedoch oft die fehlende Möglichkeit Nähte korrekt anzubringen und Konturen darzustellen, sobald die Größe der Einzelteile des Schnittmusters zu gering wird (persönliche Mitteilung: Heidi Loibl, Inhaberin Puppenwerkstatt Heidi Loibl, Gespräch am 12.2.2014). Daher entsprechen sowohl die Proportionen von Kopf, Beine als auch Schwanz der Katzen nicht 100%ig den Proportionen einer echten Katze, was negativ auffallen könnte. Jedoch wurde das Design der Katzenattrappe im Rahmen der Evaluierung von über 85 % der Teilnehmer mit sehr gut und gut bewertet.

Die Überlegung ein echtes, gegerbtes, präpariertes Katzenfell einer aus anderen Gründen euthanasierten Katze als Ummantelung für den Schaumstoffrumpf zu verwenden musste verworfen werden, da die Verwendung von echten Katzenfellen in Deutschland aus Gründen des Tierschutzes eigentlich nicht zulässig ist. In der Europäischen Union ist die Einfuhr, Ausfuhr und das Inverkehrbringen von Katzenfellen verboten (EUROPÄISCHE UNION, 2007). Laut EG Verordnung 1523/2007 Artikel 4 bestehen jedoch Ausnahmen, die von der Kommission genehmigt werden können, so zum Beispiel wenn die Katzenfelle für Unterrichtszwecke oder Tierpräparationen genutzt werden. Da der Katzen-Echokardiographiesimulator für Unterrichtszwecke eingesetzt wird, könnte über die Verwendung eines echten Katzenfells anstelle des Kunstfells nachgedacht werden. Die Evaluierung des Designs der Katzenattrappe jedoch ergab, dass 89 % der Teilnehmer es mit gut und sehr gut bewerteten, daher besteht keine Veranlassung daran Grundlegendes zu verändern. Auch unter ethischen Gesichtspunkten ist die Verwendung eines echten Katzenfells fraglich, da es nicht zwingend notwendig ist an einem echten Katzenfell eine echokardiographische Untersuchung zu simulieren, um die Grundlagen einer echokardiographischen Untersuchung zu erlernen.

Während der Testphase im Ultraschalllabor und der Evaluierung war sogar zu beobachten, dass die Studierenden die Katzenattrappen „streichelten“, da sich das Kunstfell nach ihren Aussagen so weich und angenehm anfühlte.

## Diskussion

Der etwas katzenuntypische Eindruck beim Betrachten des Modells entsteht dadurch, dass der Rücken ganz gestreckt ist, was allerdings bei gut fixierten Katzen während der Ultraschalluntersuchung auch häufig vorkommt.

Aufgrund der Tatsache, dass das verwendete Magnet-Trackingsystems das Modell driveBAY der Firma Ascension Technology Corporation, Milton, USA, durch magnetische Metalle gestört werden kann (ASCENSION TECHNOLOGY CORPORATION, 2012a), sollten Katzenatrappe, Tischplatte und -gestell ohne Metallteile konstruiert sein. Das Modell driveBAY ist laut Datenblatt und Website des Herstellers Ascension Technology Corporations gegenüber den meisten nicht-magnetischen Metallen relativ unempfindlich (ASCENSION TECHNOLOGY CORPORATION, 2012b), auf dem Gerät selbst befindet sich aber der Hinweis, es vermutlich aufgrund des entstehenden pulsierenden Magnetfelds nicht in der Nähe von Herzschrittmachern einzusetzen. Da jedoch bei der Verwendung des SonoSim III in der Humanmedizin Veränderungen der festgelegten Bildposition auftraten, sobald größere Metallteile sich in der Nähe des Trackingsystems befanden bzw. der SonoSim III auf einem Tisch mit einer Metallrahmenkonstruktion verwendet wurde (persönliche Mitteilung: Dipl.-Ing. Marcus Grimm, Geschäftsführer und Entwicklungsleiter Sonofit GmbH, Darmstadt, Gespräch am 11.9.2013) sollte sicherheitshalber auf jegliches Metall in der Konstruktion von Katzenatrappe und Untersuchungstisch verzichtet werden. Auch ein Schlüsselbund in der Nähe des Sensors, der die Form eines Schallkopfes besitzt, führte dazu, dass die Position des Ultraschallbildes nicht mehr exakt gegeben war und das Bild um 5 bis 10 mm in seiner Position verschoben wurde -getestet im Ultraschalllabor der LMU München am SonoSim III mit eingeladenem Datensatz.

Da das Katzenherz der Hauskatze über durchschnittliche Maße von sagittal von 25,5 - 33,0 mm und transversal von 19,3 mm bei weiblichen bis 24,3 mm bei männlichen Tieren verfügt, was einem Gewicht zwischen 12,7 g bei weiblichen und 18,4 g bei männlichen Tieren entspricht (SICHERT, 1935) und somit eine sehr geringe Größe hat, sind Verschiebungen des Ultraschallbildes im Verhältnis zur Patientenatrappe bzw. Sondenposition um 5 mm und mehr nicht akzeptierbar. Aus diesem Grund wurde der Fokus bei der Materialauswahl für Katzenatrappe und Untersuchungstisch darauf gelegt, beides vollkommen ohne Metall zu konstruieren, um jegliche Beeinträchtigung des Trackingsystems zu vermeiden. Im Hinblick auf die Katzenatrappe ist die metallfreie Konstruktion durch die verwendeten Materialien eindeutig erfüllt. Diese Katzenatrappe sollte wiederum auf einem realitätsnahen Ultraschalltisch mit Ausschnitt liegen.

Auch der Untersuchungstisch ist aus eben diesen Gründen vollständig metallfrei konstruiert und gebaut worden. Er verfügt wie in der gängigen Literatur beschrieben (FOX & MOISE, 1999) (LANG, 2006) (POULSEN NAUTRUP, 2007a) (BOON, 2011b), über einen Ausschnitt, der es ermöglicht die Ultraschallmodellsonde von unten an den Thorax anzusetzen. Um der Tatsache gerecht zu werden, dass die räumliche Position von zu untersuchendem Bereich und Trackingsystem unveränderbar sein muss (persönliche Mitteilung: Dipl.-Ing. Marcus Grimm, Geschäftsführer und Entwicklungsleiter Sonofit GmbH, Darmstadt, Gespräch am 11.9.2013), die Katze also absolut unbeweglich fixiert sein muss, sind die auswechselbaren Tischplatten und Katzen unveränderbar miteinander verbunden. Somit wird es nötig zwei gleichwertige Katzenatrappen herzustellen, eine in Linksseitenlage und eine in Rechtsseitenlage jeweils auf einer auswechselbaren Tischplatte fest fixiert, um die gängigen Standardschnittebenen nach Thomas et al. (THOMAS et al., 1993) darstellen zu können. Die Herstellung von zwei Katzenatrappen, stellt zwar einen größeren zeitlichen wie materiellen Aufwand dar, ist aber aufgrund der Vorgaben hinsichtlich des Trackingsystems nicht anders lösbar gewesen.

## Diskussion

In den gängigen Lehrbüchern, wird die echokardiographische Untersuchung mit den Beinen des Patienten zum Untersucher zeigend dargestellt (FOX & MOISE, 1999) (KIENLE & THOMAS, 2002) (POULSEN NAUTRUP, 2007a) (CÔTÉ et al., 2011a), daher ist auch der im Rahmen dieser Arbeit entwickelte Echokardiographieuntersuchungstisch in erster Linie darauf ausgelegt, dass die Katzenattrappe mit den Beinen in Richtung Untersucher zeigend über einem Ausschnitt auf dem Tisch liegt. Da jedoch im Rahmen des Studiums zum Beispiel in der Abteilung für Kardiologie der Medizinischen Kleintierklinik der Ludwig Maximilians Universität auch die Echokardiographie am Kleintier auch mit den Beinen vom Untersucher wegzeigend gelehrt wird, ist der Echokardiographieuntersuchungstisch so konstruiert, dass der Untersucher bei Bedarf eine komfortable Schallposition auch von der entsprechend anderen Seite, hinter dem Rücken der Katze, einnehmen kann.

Im Rahmen der Evaluierung der Funktionalität des Untersuchungstisches wurde diese von 97 % der Studierenden mit gut oder sehr gut bewertet. An dieser Stelle ist auch zu erwähnen, dass alle Befragten schon mindestens einmal ein lebendes Tier echokardiographisch untersucht oder die Untersuchung am lebenden Tier geübt und somit auch die Untersuchung auf einem realen Untersuchungstisch durchgeführt hatten. Bei der Konstruktion des Untersuchungstisches mussten vor allem die Eigenschaften des Magnet-Trackingsystems berücksichtigt werden, gleichzeitig sollte aber die Funktionalität gewährleistet sein. Die Bewertung durch die Studierenden zeigt aber, dass das gelungen ist.

Aufgrund der notwendigen Modifikationen muss die Katzenattrappe inklusive Tischplatte gewechselt werden, sobald von der anderen Seite untersucht werden soll. Da dies nicht realen Praxisbedingungen entspricht, wurde im Rahmen der Evaluierung auch die Praktikabilität des Wechsels der Katzen bewertet. Die Teilnehmer bewerteten diesen Punkt jedoch zu 88 % mit gut oder sehr gut, was darauf schließen lässt, dass auch hier –trotz der Einschränkung hinsichtlich der Realitätsnähe – eine praktikable Lösung gefunden worden ist.

Zusätzlich wurde das Design des Untersuchungstisches von 88 % der Befragten mit gut oder sehr gut bewertet. Untersuchungstische für die Echokardiographie haben, abgesehen vom Ausschnitt in der Tischplatte, über dem die Katze zu liegen kommt, oft Tischbeine aus Metall, wie auf den Bildern in der gängigen Fachliteratur (BOON, 2011b) zu erkennen und auch in der Praxis oft zu sehen ist. Da die Verwendung von Metall aber aufgrund der Eigenschaften des Magnet-Trackingsystems nicht in Frage kam und der gesamte Tisch aus Holz konstruiert wurde, ist das Design in dieser Hinsicht verglichen mit einem realen Untersuchungstisch verändert. Auch dadurch dass die Tischplatten auswechselbar sind, musste die Stabilität des Gestells gewährleistet sein, wenn die Tischplatte nicht fest am Gestell fixiert ist, was bei einem normalen Standardtisch nicht gegeben ist. Daher gleicht die Konstruktion des Gestells nicht einem gewöhnlichen Echokardiographie-Untersuchungstisch mit vier oftmals höhenverstellbaren Tischbeinen, sondern besteht aus einer anders gestalteten Rahmenkonstruktion (vgl. Skizze des Untersuchungstisches). Diese Art der Rahmenkonstruktion war einerseits aus Stabilitätsgründen notwendig, andererseits verfügt der Tisch über keinerlei bei der Untersuchung störenden Stabilisierungsleisten.

### **3 Kissen**

Bei Echokardiographieuntersuchungen bei Hund und Katze setzt der Untersucher gewöhnlich seinen Arm auf einen sogenannten Untertisch auf, auf dem der eigentliche Untersuchungstisch steht, und führt die Ultraschallsonde von unten an den Patienten heran, vgl. Abbildung 8-6 auf Seite 140 in „Textbook of canine and feline Cardiology“ von Fox, Sisson und Moise (FOX & MOISE, 1999). Dadurch kann der Schallkopf mit ausreichendem Druck in den Zwischenrippenräumen angesetzt werden. Wird ein Untersuchungstisch von mehreren Untersuchern genutzt, ist es für den Untersucher wichtig, dass er seinen Arm in einer angenehmen Position halten kann. Die Armlängen der verschiedenen Untersucher können stark variieren. Daher gibt es viele Echokardiographie-Tische, die höhenverstellbar sind, um an die verschiedenen Armlängen der Untersuchern angepasst werden zu können. Bei der im Rahmen dieser Dissertation erstellten Tischkonstruktion, lag jedoch das Hauptaugenmerk auf der Verwendung von metallfreien Werkstoffen sowie dem einfachen Wechsel der Tischplatten bei immer gleicher Position von Tischplatte mit Katze, so dass auf die Höhenverstellbarkeit des Tischgestells verzichtet werden musste. Um für verschiedene Untersucher mit verschiedenen Armlängen, ein angenehmes, benutzerfreundliches Schallen auch über einen längeren Zeitraum zu ermöglichen, wurde ein Unterlegkissen passgenau für den Tisch angefertigt und zudem drei weitere Kissen mit verschiedenen Höhen und Festigkeiten als Unterlegmöglichkeit zur Verfügung gestellt.

### **4 Datensätze**

Des Weiteren mussten Datensätze erstellt werden, die es ermöglichen an dieser Katzenattrappe auf dem Untersuchungstisch die gängigen Schnittebenen darzustellen.

#### **4.1 Bildqualität der 3D-Datensätze**

Bei der Katze wird die echokardiographische 2D-Untersuchung in der Regel mit 7,5 MHz Schallköpfen durchgeführt (CÔTÉ et al., 2011a). Auch das Philips Ultraschallsystem iE33 verfügt für die 3D-Echokardiographie über einen Matrix-Schallkopf, der eine maximale Sendefrequenz von 7 MHz besitzt (PHILIPS HEALTHCARE, 2014b) und erfüllt somit die Vorgaben für die Sendefrequenz. Allerdings beeinflusst die niedrige Volumenrate bei der Aufnahme der Frusta die Qualität der B-Bilder im Simulator negativ. Die Datensätze besitzen Bildraten von 19 bis 25 Hz. Eine Framerate von 15 Bildern ist nötig, um weiche, ruckelfreie Übergänge und den Eindruck einer Echtzeituntersuchung zu schaffen (BOON, 2011c). Als Voraussetzung für qualitativ hochwertige Echokardiographien eignen sich jedoch nur Bildraten über 30 Hz (WEIHS, 2014). Bei Katzen, die Herzfrequenzen von bis zu 240 Schlägen pro Minute erreichen können (WARE, 2014), werden bei den relativ niedrigen Bildraten von etwa 20 Hz nicht alle Herzphasen erfasst (vgl. auch 4.5 Derzeit verfügbare Erkrankungen und Patientenfälle). Ein weiterer Nachteil der 2D-Datensätze im Simulator besteht darin, dass nicht jede Ebene tatsächlich geschallt wird wie normalerweise, sondern die meisten vollständig oder zumindest teilweise errechnet werden. Das Resultat ist wiederum eine Qualitätsminderung. Die Schwierigkeit bestand nun darin, die Güte der im Simulator errechneten 2D-Bilder annähernd an die heute üblichen echten 2D-Bilder anzugleichen und so eine realitätsnahe Untersuchung ausreichender Qualität simulieren zu können. Durch das Schwärzen der Binnenräume des Herzens auf allen Einzelbildern, konnte die Qualität der Bilder des Frustums soweit verbessert werden, dass annähernd realistische 2D-Bilder simuliert werden können. Es ist also wahrscheinlich nicht möglich, auf das

Schwärzen zu verzichten, bis durch die technische Weiterentwicklung der 3D-Echokardiographie noch bessere Vorlagen auch von 3D-Untersuchungen von Katzenherzen für den Simulator geliefert werden können.

### 4.2 Einfärben der Lumina und des Myokards

Vorwegnehmend ist zu betonen, dass das Sichten und Auswählen der Datensätze und das Speichern und Einfärben der Einzelbilder von Hand einen immensen zeitlichen Aufwand darstellt. Insgesamt entsprach der Zeitaufwand für die drei Datensätze zirka 550 Stunden. In der Humanmedizin können im SonoSim fast unbearbeitete Datensätze verwendet werden. Für die Zukunft sollte diese zeitsparende Variante auch in der Tiermedizin ins Auge gefasst werden. Da die Ultraschalltechnik wie jede Computertechnik dem Wandel und ständigen Verbesserungen unterliegt ist anzunehmen, dass zukünftig bessere 3D-Datensätze mit höherer Volumenrate erstellt werden können, die direkt und ohne Nachbearbeitung in den Simulator übernommen werden können (persönliche Mitteilung: Prof. Dr. Cordula Poulsen Nautrup, Gespräch am 11.9.2014).

Der immense Zeitaufwand war im Übrigen ein Kriterium, warum die Wahl auf den SonoSim fiel, in dem reale Datensätze verwendet werden. Einige Echokardiographiesimulatoren aus der Humanmedizin arbeiten vollständig mit virtuell erzeugten Bildern, so zum Beispiel der U/S Mentor™, des Herstellers Symbionix™ USA Cooperation. Die Verwendung von virtuellen Datensätzen bedeutet jedoch einen weiteren zeitlichen Aufwand bei deren Erstellung. Daher und weil für die Tiermedizin bei der Erweiterung des Simulators auf andere Tierarten jeweils komplett neue virtuelle Datensätze erstellt werden müssten, schieden Echokardiographiesimulatoren aus, deren Grundlage virtuelle Datensätze sind.

#### 4.2.1 Einfärben des Myokards

Weidenbach et al. beschreiben, dass es bei der Echokardiographie Schwierigkeiten bereitet, sich im 2D-Bild zu orientieren und die Strukturen zuzuordnen (WEIDENBACH et al., 2005). Um die Orientierung zu verbessern wurden bei der Bearbeitung der 3D-Datensätze für den Katzen-Echokardiographiesimulator die linke und rechte Herzhälfte rot bzw. blau eingefärbt. Die Problematik des Einfärbens besteht jedoch darin, dass nur die Bildreihe in einer der drei orthogonalen Ebenen des ungetrimmten Frustums als Einzelbilder abgespeichert wird. In diesem Fall handelte es sich um die tatsächlich geschaltete Ebene I, eine rechts parasternale Längsachse. Somit erfolgt die Kolorierung auch nur in dieser einen Ebene. Das bedeutet, dass alle anderen Ebenen von dem Simulator berechnet werden. Etwaige Ungenauigkeiten bei der Einfärbung der Längsachsenansicht, machen sich in den anderen Ebenen erst sehr viel später nach der Integrierung des Datensatzes in den Simulator bemerkbar. Eine Korrektur gelingt nur mit immensem Zeitaufwand. Da bei der Kolorierung zudem genaue und weiche Übergänge bei den Herzbewegungen zu beachten sind, ist eine exakte anatomische Einfärbung nicht in jedem Fall vollkommen korrekt möglich.

Eine weitere Schwierigkeit besteht darin, dass **alle** Einzelbilder auf denen Anteile des Herzens zu erkennen sind, eingefärbt werden müssen. Bei den meisten von ihnen handelt es sich jedoch um Ansichten, die nicht standardisiert sind. Dadurch ist die genaue Zuordnung aller sichtbaren Herzstrukturen in diesen Bereichen abseits der Standardschnittebenen nach Thomas et al. (THOMAS et al., 1993) auch für Untersucher schwierig, die über eine großen Erfahrung auf dem Gebiet der

Echokardiographie verfügen (vgl. auch (DECKER, 2014)). Bei der Evaluation durch die Studierenden wurde die Verbesserung der Orientierung durch das Kolorieren von 86 % der Befragten als gut oder sehr gut bewertet und von 14 % der Studierenden als befriedigend oder ausreichend. Es ist sicherlich zu berücksichtigen, dass gilt, je erfahrener ein Untersucher ist, desto weniger profitiert er von der Kolorierung der Anteile des Herzens. Bei einer realen Untersuchung werden nur schwarz-weiße Bilder beurteilt und mit steigender Anzahl der Untersuchungen verbessert sich in der Regel die Orientierung im Schwarz-Weiß-Bild stetig. Da der Kenntnisstand der Studierenden verschiedenen Levels entsprach, ist der Nutzwert der Kolorierung für jeden Untersucher variabel. Trotz der Tatsache, dass 86 % der Befragten die Verbesserung der Orientierung mit sehr gut oder gut bewerteten, ist zu überlegen, ob der immense Zeitaufwand gerechtfertigt ist.

### **4.2.2 Schwärzen der Lumina**

Auch beim Verdeutlichen der Endokardgrenzen, das heißt dem Schwärzen der Lumina von Ventrikeln und Vorhöfen, entstanden ähnliche Probleme wie beim Einfärben des Myokards. Einerseits mussten auch hier Herzbereiche geschwärzt werden, die normalerweise nicht beurteilt werden. Die Standardschnittebenen (THOMAS, 1984) finden sich in der Regel bei allen drei Patienten im Bereich der Einzelbilder 0045 bis 0058. Die außerhalb dieses Bereichs liegenden Einzelbilder zeigen lediglich Teilanschnitte des Herzens. Das Schwärzen der Lumina war jedoch bei den erstellten 3D-Datensätzen zwingend notwendig und von großer Bedeutung, da deren Qualität, insbesondere der errechneten Ebenen deutlich geringer ist als die mit modernen Ultraschallgeräten und –sonden tatsächlich geschallten Ebenen im 2D-Bild. Dieses Problem entstand im Besonderen auch bei den veränderten feline Herzen, deren Form und Aussehen teilweise so verändert waren, dass ohne Schwärzung keine aussagekräftigen Bilder für den Simulator zu erhalten waren. Diese Problematik entsteht in erster Linie dadurch, dass bei der 3D-Echokardiographie errechnete Ebenen, im Verhältnis zur 2D-Echokardiographie eine größere Unschärfe (DECKER, 2014) bzw. geringere Detaillierbarkeit (POULSEN NAUTRUP, 2008) aufweisen.

### **4.2.3 Bearbeiten der einzelnen Datensätze**

Bei der Bearbeitung der 3D-Datensätze entstanden noch weitere Schwierigkeiten. Es musste darauf geachtet werden, dass einerseits die Originaldatensätze soweit bearbeitet wurden, dass die Qualität sehr gut ist und alle relevanten Strukturen auch für nicht erfahrene Untersucher erkennbar sind. Gleichzeitig sollte aber nicht zuviel verändert werden. So sollten spezifische Artefakte erkennbar bleiben, aber den Trainingseffekt nicht beeinträchtigen. Bei Patient A zeigte sich zum Beispiel ein deutliches Schichtdicken- und Bogenartefakt im linken Vorhof. Für ungeübte Untersucher war nicht in jedem Bild eindeutig zu erkennen, welche Ausdehnung der linke Vorhof hatte. Beim Schwärzen der Lumina musste daher berücksichtigt werden, dass das Artefakt zwar erkennbar, aber nicht beeinträchtigend dargestellt wurde. Eine weitere Schwierigkeit bestand darin, dass bei Patient B das Herz in seiner Form verändert ist. Dadurch bestand die Möglichkeit, dass der unerfahrene Untersucher einen Anteil der Sehnenfäden mit der geschlossenen Aortenklappe verwechseln könnte. Daher wurde auch hierbei darauf geachtet, diesen Anteil des Sehnenfadens so darzustellen, dass er nicht mehr mit der Aortenklappe verwechselt werden konnte. Es ist sicherlich kontrovers zu diskutieren, inwieweit eine derartige Nachbearbeitung sinnvoll ist. Für Anfänger ist es sicherlich

erstrebenswert, so klare und eindeutige Bilder wie möglich zu erzeugen, während Fortgeschrittene eher darauf verzichten können und wollen.

### **4.3 Parallele Abbildung von zwei Multivolumendatensätzen**

Da der SonoSim III über die Möglichkeit verfügt zwei Multivolumendatensätze aus verschiedenen bildgebenden Verfahren parallel darzustellen (SONOFIT GMBH, 2013), wurde auch diese Funktion genutzt.

Im Rahmen der Dissertation von Decker (2014) wurde ein MRT-Datensatz so ausgewählt und bearbeitet, um ihn parallel zur Echokardiographie zeigen zu können. Dieser Datensatz wurde ebenfalls in den Simulator integriert und von den Studierenden wurde die Möglichkeit bewertet, parallel Echokardiographien und MRTs beim „Schallen“ zu erstellen.

Die bildgebende Diagnostik wurde in der Bewertung der praktischen und klinischen Fähigkeiten von Anfangsassistenten von Hällfritzsch, als ausreichend bis ungenügend (HÄLLFRITZSCH et al., 2005a) eingestuft. Ein Grund hierfür könnten die fehlenden Übungsmöglichkeiten sein. Die Interpretation von Schnittbildern legt ein anderes anatomisches Verständnis zugrunde als die Interpretation von Summationsbildern wie Röntgenbildern. Daher wurde erwartet, dass die Teilnehmer diese Option des Simulators größtenteils mit sehr gut bis gut bewerten. Vor allem da der SonoSim der weltweit erste Ultraschallsimulator ist, bei dem parallel mehrere Volumendatensätze von bildgebende Verfahren betrachtet werden können (SONOFIT GMBH, 2013).

Letztendlich bewerteten über 90 % der Befragten die Möglichkeit in MRT Aufnahmen zu schallen als gut oder sehr gut. Diese Möglichkeit ist sicherlich keine Variante, die von einem Echokardiographiesimulator erwartet wird und wahrscheinlich auch nicht notwendig ist, aber es zeigt dass der Bedarf des Übens an Schnittbildern anderer bildgebender Verfahren gegeben ist. Außerdem eröffnet es neue Wege des fachübergreifenden Lernens.

### **4.4 Probleme mit der Technik des SonoSim III in der Tiermedizin**

Der SonoSim III ist ein Gerät, das für die Humanmedizin entwickelt wurde. Folglich sind die meisten Systemeinstellungen ebenfalls auf humanmedizinische Simulationen und Parameter ausgelegt. Die Empfindlichkeit hinsichtlich einstellbarer Herzfrequenz und Präzision bei der Bewegung des Modellschallkopfes entspricht den Maßstäben des Menschen. So musste insbesondere der Bildaufbau im Simulator auf die höchstmögliche Systemeinstellung beschleunigt werden, um die katzentypischen, relativ hohen Herzfrequenzen anzeigen zu können. Die menschlichen Herzfrequenzen (SCHRADER et al., 2010) sind deutlich niedriger als die von Katzen (WARE, 2014). Bei den vorliegenden Patienten mit moderaten Herzfrequenzen reichten die bisherigen Einstellungen aus. Zukünftig sind hier allerdings Modifikationen nötig, um auch Herzfrequenzen bis zu 240 Schläge pro Minute darstellen zu können. Insgesamt gelang es nicht die kolorierten Echokardiographien in Originalgeschwindigkeit, d. h. mit normaler Herzfrequenz darzustellen. Da aber beschlossen wurde, zur besseren Identifizierung der Herzbewegungen die kolorierten Sonographien mit niedriger Herzfrequenz darzustellen, war das Problem bedeutungslos. Dadurch, dass in der Humanmedizin eine Eindringtiefe von minimal fünf Zentimetern ausreichend ist, basiert auch der SonoSim III auf diesem Wert. Für die vorliegenden Patientenfälle konnten die Einstellungen so modifiziert werden, dass die Messergebnisse im Simulator mit den Messergebnissen der realen Datensätze korrelierten.

Bei kleineren Katzen, Katzenwelpen oder gar kleineren Tierarten müssen diese Wert modifiziert werden, da sonst kein schallkegelfüllendes Bild simuliert werden kann und damit der Wert der simulierten Untersuchung sinken würde. Das korrekte Durchführen von Messungen ist jedoch von herausragender Bedeutung, da vergrößerte Vorhöfe und verdicktes Myokard ohne korrekte Messungen nicht beurteilt werden können. Allein der visuelle Eindruck, der Vorhof sei groß oder das Myokard verdickt reicht für den Nachweis einer Erkrankung nicht aus. Die Messskala der simulierten Untersuchung muss somit mit der Messskala der echten Untersuchung im 3D-Scan übereinstimmen.

### **4.5 Derzeit verfügbare Erkrankungen bzw. Patientenfälle**

Im Rahmen dieser Arbeit wurden Patientenfälle aus drei 3D-Datensätzen erstellt. Eine herzgesunde Katze, eine an einem VSD erkrankte Katze und eine Katze mit HCM und Aorteninsuffizienz. Alle drei Patienten können von rechts parasternal untersucht werden. Im Rahmen der Evaluierung durch die Studierenden wurde auch die Realitätsnähe der jeweils verfügbaren Schnittebenen bewertet. Über 95 % der Befragten beurteilten die Realitätsnähe der Längsachsenansicht von rechts parasternal mit gut oder sehr gut, die Kurzachsenansicht von rechts parasternal wurde von über 90 % mit gut oder sehr gut bewertet. Da die simulierten 2D-Aufnahmen auf echten 3D-Aufnahmen basieren, sollte die Realitätsnähe gegeben sein. Der Unterschied besteht nur darin, dass die Bildqualität geringer ist, da bei 3D-Aufnahmen die Detailerkennbarkeit eingeschränkt ist (POULSEN NAUTRUP, 2008). Auch die Realitätsnähe des Wechsels zwischen den Schnittebenen, also das Drehen und Kippen des Schallkopfes, wurde im Rahmen der Evaluierung durch die Studierenden bewertet. 85 % bewerteten die Realitätsnähe mit sehr gut und gut, 15 % mit ausreichend oder befriedigend. Insgesamt sollte natürlich auch der Wechsel zwischen den Standardschnittebenen so realitätsnah wie möglich simuliert werden. Dadurch dass bei einer simulierten echokardiographischen Untersuchung keinerlei Ultraschallgel verwendet werden muss, da die Ankopplung nicht gegeben sein muss, könnte für den Untersucher, das Drehen des Schallkopfes auf dem Katzenplüschfell eventuell nicht ganz so leicht von der Hand gehen. Trotzdem ist das Training der Hand-Augenkoordination wie von Weidenbach et al (2005) beschrieben, bei einem Simulator gegeben, es kann also der Wechsel von Längsachse zu Kurzachse, von Kurzachsenansicht auf Höhe der Papillarmuskeln zu Kurzachsenansicht auf Höhe der Ventilebene und der Mitralklappe geübt werden.

Bei den beiden Patienten, die eine Herzerkrankung aufweisen, ist eine weitere Funktion des Simulators maßgeblich. Zur Bestätigung einer Verdachtsdiagnose ist das Vermessen des Herzens unabdingbar (siehe oben). Auch die Realitätsnähe dieser Funktion des Katzen-Echokardiographiesimulators wurde evaluiert und von über 90 % der Studierenden mit gut oder sehr gut bewertet. Dies beruht sicherlich auch darauf, dass der SonoSim III einem echten Ultraschallgerät nachempfunden ist und die Ultraschallkonsole über realitätsnahe Bedienelemente verfügt (SONOFIT GMBH, 2014b), so wird das Messen und die Handhabung im Allgemeinen als sehr realitätsnah empfunden.

Zwar können bei jedem Patienten, nicht jedoch in jeder Ansichtsvariante, Messungen durchgeführt werden. Sämtliche Strecken- und bedarfsweise die meisten Flächenmessungen können im 2D-Bild in der Kurz- oder Längsachse realisiert werden. Die Messungen nach Teichholz sind problemlos durchführbar, ebenso wie verschiedenen Vorhofmessungen in den rechts parasternalen Kurz- und Längsachsenansichten. Volumenbestimmungen müssen noch entwickelt werden. Es zeigte sich, dass die EPSS bei Patient A und C am simulierten Bild nicht messbar ist. Die Bildrate der 3D-Datensätze,

die die Grundlage für die simulierten 2D-Bilder im Simulator darstellen, ist mit 19 - 25 Volumina pro Sekunde relativ gering. Da die Bildrate im Simulator natürlich der des jeweiligen aufgenommenen Volumens entspricht gelang es nicht die kurze Phase der maximalen frühdiastolischen Öffnung der Mitralklappe zu treffen. Lediglich die enddiastolische Öffnung der Mitralklappe wurde erfasst. Diese ist aber erheblich geringer als die Frühdiastolische. Bei Patient B ist hingegen (zufällig) die frühdiastolische Mitralklappenöffnung im Volumenscan erfasst worden, und somit ist die EPSS messbar. Es ist bei einer Bildrate von 25 Hz bei der Katze nicht gewährleistet, dass alle Herzphasen registriert werden. Daher sollte zukünftig versucht werden, die Bildrate, das heißt Volumenrate, bei der Aufnahme der Frusta zu erhöhen. Um für Patient A und C Abhilfe zu schaffen, kann die entsprechende M-Mode-Darstellung im Tutorialmodus ergänzt werden.

Derzeit kann kein M-Mode simuliert werden. Auch PW-, CW- und Farbdoppler sind mit dem Katzen-Echokardiographiesimulator derzeit nicht durchführbar. Allerdings sind diese Ultraschalltechniken für eine vollständige echokardiographische Untersuchung notwendig (TOBIAS, 2008). Erst im Rahmen des Tutorialmodus können Videosequenzen von M-Mode- und Doppleruntersuchungen den entsprechenden B-Bild-Ansichten zugeordnet werden.

Da eine vollständige echokardiographische Untersuchung jedoch auch Standardschnittebenen von links beinhaltet (THOMAS, 1984), (THOMAS et al., 1993), (BOON, 2011a), wurde der Katzen-Echokardiographiesimulator zusätzlich noch mit dem im Rahmen der Dissertation von Decker (DECKER, 2014) erstellten und ebenfalls kolorierten Datensatz einer herzgesunden Katze in der Ansicht eines Vierkammerblickes von links apikal bestückt. Auch dieser Datensatz wurde hinsichtlich seiner Realitätsnähe evaluiert und von 100 % der Befragten mit gut oder sehr gut bewertet. Da auch dieser Datensatz aus einem 3D-Datensatz generiert wurde, treffen auf ihn die gleichen Punkte zu, wie auf die anderen, vorher genannten Schnittebenen.

Derzeit existieren keinerlei Datensätze von links apikal von einer herzkranken Katze. Die Datensätze der erkrankten Patienten können im Simulator zum jetzigen Zeitpunkt lediglich in den rechts parasternalen Längs- und Kurzsachsenansichten geschallt werden. Da der Simulator jedoch mit vielen weiteren Erkrankungen bestückt werden soll, werden die bereits vorhandenen und die noch ausstehenden Erkrankungen ebenfalls in der Ansicht Vierkammerblick von links apikal ergänzt und dargestellt werden. Allerdings stellte für 97 % der befragten Studierenden allein die Tatsache, dass auch „kranke Katzen“, also Patienten mit Herzerkrankungen, untersucht werden können und somit Herzerkrankungen kennenzulernen, eine sehr gute bis gute Möglichkeit dar. Bei dem Patient mit hypertropher Kardiomyopathie unter anderem mit vergrößertem linkem Vorhof tritt hinsichtlich des EKGs eine Besonderheit auf. Durch das hohe und breite P-kardiale wurde beim Erstellen des 3D-Volumenscans auf der P-Welle getriggert. Die Katze verfügt im Vergleich zum Hund über eine physiologische Hypovoltage (WARE, 2014), was oft dazu führt, dass bei der 3D-Echokardiographie auf die P-Welle getriggert wird, wenn das EKG der Katze krankheitsbedingt eine veränderte P-Welle zeigt. Penzl (PENZL, 2009) stellte in ihrer Arbeit fest, dass bei einigen Hunden mit normalem Sinusrhythmus trotz mehrfacher Versuche wechselweise auf P-Welle und R-Zacke getriggert wurde, und die erstellten Volumenscans dadurch unbrauchbar für die Auswertung waren. Die Ursache konnte jedoch nicht gefunden werden. Beim vorliegenden EKG von Patient A wird jedoch durchgehend auf die P-Welle getriggert und es zeigt einen regelmäßigen Sinusrhythmus, daher ist der 3D-Datensatz problemlos zu verwenden.

#### **4.6 Bestückung des Simulators mit anatomischen Schnitten**

Als weitere Ergänzung wurden die anatomischen Schnitte die ebenfalls in Rahmen der Arbeit von Decker (DECKER, 2014) angefertigt wurden in den Simulator geladen, die es ermöglichen den vollständigen Katzenrumpf mit der Schallkopffatrappe abzutasten und die anatomisch korrekten Schnitte am Bildschirm zu betrachten. Dies ist als sinnvolle Ergänzung zu den MRT Schnittbildern, die ebenfalls im Rahmen der Dissertation von Decker (2014) erstellt und bearbeitet wurden, zu sehen, da auch mit dieser Bildserie die anatomische Orientierung im Bereich des Herzens und im gesamten Thorax und Abdomen verbessert wird.

#### **4.7 Bedeutung dieses Simulators für Studierende und Tierärzte**

Nachdem die Fähigkeiten von Anfangsassistenten vor allem im Bereich bildgebende Verfahren als nicht ausreichend beurteilt wurden (HÄLLFRITZSCH et al., 2005a), sollte einerseits den Studierenden ausreichende Möglichkeiten geboten werden, ihre Kompetenz in Bereich bildgebende Verfahren zu verbessern. Andererseits sollten auch approbierte Tierärztinnen und Tierärzte ihr Wissen erweitern können und müssen es sogar, da gemäß der Berufsordnung für Tierärztinnen und Tierärzte eine Fortbildungspflicht besteht (BAYERISCHE LANDESTIERÄRZTEKAMMER). Dies ist durch den Einsatz von Simulatoren in der Ausbildung gewährleistet, da durch einen Simulator jedem Untersucher, unabhängig davon über welchen Kenntnisstand er verfügt, identische Patientenfälle präsentiert werden. Die Ausbildung wird somit standardisiert. Auch wenn aus mehreren Gründen das Training am Echokardiographiesimulator das Üben am lebenden Tier nicht vollständig ersetzt, so stellt es doch die Basis für folgende Trainingseinheiten oder auch Untersuchungen in der Praxis am lebenden Tier dar. Den Nutzwert des Trainings am Katzen-Echokardiographiesimulator für die spätere Tätigkeit als Tierarzt oder Tierärztin bewerteten die Studierenden mit über 95 % als gut oder sehr gut. Das zeigt einerseits, dass den Studierenden durchaus bewusst ist, dass die Echokardiographie ein wichtiges diagnostischer Mittel in der Tierarztpraxis darstellt. Andererseits muss berücksichtigt werden, dass Studierende in der Regel noch nicht über Erfahrungen im Praxisalltag verfügen, weshalb diese Bewertung durch Studierende bei dieser Fragestellung nicht in vollem Maße repräsentativ ist. Um hierfür repräsentative Umfrageergebnisse zu erhalten, müsste die Evaluierung auch durch bereits praktizierende Tierärzte und Tierärztinnen erfolgen. Trotzdem ist zu bedenken, dass der Nutzwert des Trainings am Katzen-Echokardiographiesimulator, in hohem Maße von der Art der späteren praktischen Tätigkeit abhängt. Nicht jeder Studierende sieht seine berufliche Zukunft in der Kleintierpraxis oder Kardiologie. Die Tatsache dass eine große Zahl der Teilnehmer jedoch das Wahlpflichtfach „Echokardiographie“ belegt hatte, spricht für ihr Interesse an diesem Gebiet, und folglich beurteilen sie den Nutzwert höher, als Studierende, die sich später in Richtung Großtierpraxis orientieren wollen. Dadurch stellen sie eine repräsentativere Zielgruppe dar, als Studierende die ihre Zukunft im Großtierbereich sehen.

Für Studierende jedoch, die sich in Richtung Innere Medizin oder Kardiologie für Kleintiere orientieren, ist der Katzen-Echokardiographiesimulator von größerer Bedeutung. Auch dadurch, dass der SonoSim III über eine einer realen Ultraschallkonsole nachempfundenen Computereinheit mit realitätsnahe Bedienung verfügt, erleichtert er das Wechseln auf ein reales Ultraschallgerät (SONOFIT GMBH, 2014b). Die Tatsache, dass das Gerät daher größer ist als die Geräte anderer Hersteller, die teilweise über einen Laptop bedient werden können und somit handlicher und leichter zu transportieren sind, ist in diesem Fall zu vernachlässigen. Beim Transport oder Aufstellen des SonoSim Katzen-Echokardiographiesimulators muss auch immer der Platz für Katzenatrappe und

Ultraschalltischgestell mit berücksichtigt werden, um eine Untersuchung simulieren zu können, daher ist der Platzbedarf in jeden Fall größer als bei einem in einem Laptop integrierten Ultraschallsimulator, unabhängig davon wie groß die Computereinheit ist.

#### **4.8 Zusammenfassung der Vorteile des Katzen-Echokardiographiesimulators**

Zusammenfassend lassen sich auch basierend auf der vorliegenden Arbeit folgende Vorteile eines Katzen- Echokardiographiesimulators aufzählen:

- Die Zahl der zur Aus-, Fort- und Weiterbildung benötigten Tiere wird verringert, erkrankte Tiere müssen nicht zu Fortbildungszwecken eingesetzt werden und trotzdem kann die Diagnostik von Erkrankungen erlernt werden, das Tierschutzgesetz wird somit berücksichtigt
- Die Katzenattrappen sind kooperativ und nicht gestresst, somit ist auch das Handling für den Untersucher angenehmer und stressloser
- Ein Simulator kann zeitlich unbegrenzt genutzt werden und ist unabhängig davon, ob aktuell reale Patienten mit und ohne Herzerkrankungen vorhanden sind
- Studierenden und jede/jeder Tierärztin/Tierarzt der eine Aus-, Fort- oder Weiterbildung am Simulator macht, stehen exakt die gleichen Patientenfälle zur Verfügung, die Ausbildung wird somit vereinheitlicht und vervollständigt
- Mit dem vorliegenden Simulator, können sowohl unter Anleitung von Fachpersonal, als auch autodidaktisch aufgrund der entwickelten Tutorials jederzeit die Grundlagen der Echokardiographie erlernt und geübt werden
- Der Simulator ist um beliebig viele Patientenfälle, Tutorials und Tierarten erweiterbar. Somit ist es möglich eine umfangreiche Datenbank für alle existierenden und noch in Zukunft zu erforschenden Krankheiten anzulegen
- Die Hand-Augen-Koordination (WEIDENBACH et al., 2005) wird am Simulator in hohem Maße unter ruhigen Bedingungen trainiert und da sie mit die größte Schwierigkeit für Anfänger beim Erlernen der Echokardiographie darstellt (WEIDENBACH et al., 2005), verfügt der Simulator vor allem für Anfänger über ein hohes Maß an didaktischen Möglichkeiten. Vor allem das sichere Auffinden der Standardschnittebenen kann mit sehr gutem Erfolg erlernt werden

#### **4.9 Zusammenfassung der Nachteile des Katzen-Echokardiographiesimulators**

Auch die Nachteile oder Einschränkungen eines Simulators sollen berücksichtigt werden:

- Trotzdem, dass der Fokus während der Entwicklung des vorliegenden Simulators auf der möglichst realitätsnahen Umsetzung sowohl von Patientenattrappen, Ultraschalltisch und Datensätzen lag, so ist ein Simulator doch kein vollständiger Ersatz für den Einsatz lebender Tiere. Die Möglichkeiten bei der Umsetzung der Patientenattrappe bleiben eingeschränkt. Beispielsweise kann die Attrappe nicht

atmen und bewegt sich nicht, was dazu führt, dass bei der Untersuchung des simulierten Patienten, keinerlei Atmungs- oder Bewegungsartefakte (BOON, 2011c) auftreten können. Dadurch wird zwar die Qualität der Untersuchung verbessert, aber diese bei realen echokardiographischen Untersuchungen häufig auftretenden Schwierigkeiten umgangen

- Eine weitere Problematik bei der echokardiographischen Untersuchung von realen Patienten besteht darin, dass sobald die Ultraschallsonde auf eine Rippe aufgesetzt wird, das Bild durch die Totalreflexion der Ultraschallwellen mit anschließendem Schallschatten hinter Knochengewebe (POULSEN NAUTRUP, 2007 ) zu einer Verschlechterung der Qualität der Aufnahme führt. Da die vorliegenden 3D-Sequenzen jedoch in korrekter Schallposition zwischen den Rippen hindurch geschallt worden sind, können diese Artefakte nicht auftreten, die Simulation ist also im Hinblick darauf nicht realitätsnah
- Außerdem ist anzumerken, dass obwohl bei der Anfertigung der Modellkatten darauf geachtet wurde, Rippen, Ellbogenfalte und Sternum zur Orientierung für das Aufsetzen des Ultraschallkopfes anzubringen, dass eine wichtige Orientierungshilfe nämlich der Herzspitzenstoß fehlt, an dem sich viele Untersucher orientieren, weil es im Rahmen des Studiums und auf Fortbildungen gelehrt wird
- Was für das Erlernen und Üben der Echokardiographie ein Vorteil ist, dass die Katzenattrappen sich nicht bewegen, ist jedoch insofern auch ein Nachteil, da mit einer Attrappe nicht die reale Situation in der Praxis mit einem Notfallherzpatienten, der an Herzversagen und Dyspnoe leidet, simuliert werden kann
- In Hinblick auf die technischen Möglichkeiten muss berücksichtigt werden, dass zum aktuellen Zeitpunkt, lediglich die 2D-Echokardiographie in den Standardschnittebenen links und rechts simuliert werden kann. Zu einer vollständigen echokardiographischen Untersuchung, gehört jedoch auch die M-Mode und Doppleruntersuchung (TOBIAS, 2008), was derzeit mit dem Simulator noch nicht möglich ist

Insgesamt bleibt zusammenfassend zu sagen, dass der Katzen–Echokardiographiesimulator sicherlich kein vollständiger Ersatz für das Erlernen und Trainieren der Untersuchung am lebenden Tier darstellt, jedoch für Anfänger zum Erlernen der Grundlagen sehr sinnvoll ist und auch im Sinne des Tierschutzes eine wichtige Errungenschaft darstellt.

## 5 Ausblick

Der vorliegende Katzen-Echokardiographiesimulator ist gemäß den Recherchen der Autorin und der Dissertation von Decker (DECKER, 2014) der weltweit einzige und erste Echokardiographiesimulator für Katzen, der mit auf der Grundlage von realen, an echten Katzenherzen erstellten 3D-Datensätzen und einer speziell für die Tiermedizin entwickelten Patientenattrappe mit Untersuchungstisch arbeitet und somit eine sehr realitätsnahe echokardiographische Untersuchung der Katzenattrappe ermöglicht.

Abgesehen von den bis heute vorliegenden Patientenfällen, ist er beliebig um weitere Patientenfälle und Tutorials erweiterbar und wird zeitnah mit allen vorkommenden feline kardiologischen Erkrankungen in allen gängigen Schnittebenen bestückt werden.

Da die Echokardiographie nicht nur am liegenden Tier durchgeführt werden kann, wird bereits in der Arbeitsgruppe der Autorin daran gearbeitet, stehende und sitzende Katzenmodelle zu entwickeln, was jedoch Schwierigkeiten bereitet, da auch stehende Modelle in einer fest fixierten Position zur Verfügung stehen müssen und kein Metall enthalten sollen, um mit dem Magnet-Trackingsystem kompatibel zu sein.

Da bei der Diagnostik von Herzerkrankungen auch die Auskultation eine herausragende Rolle spielt, wird in der Arbeitsgruppe der Autorin außerdem daran gearbeitet, den Katzen-Echokardiographiesimulator zu einem feline Auskultationssimulator zu erweitern.

Der Einsatz des Echokardiographiesimulators sollte jedoch nicht nur den kardiologischen Erkrankungen der Katze vorbehalten bleiben. Bereits in Arbeit ist die Erweiterung auf kardiologische Erkrankungen des Hundes - zahlenmäßig der wichtigste Patient in der Kleintierpraxis - und der Maus, was vor allem für die Versuchstierhaltung von großer Bedeutung sein wird. Bei der Anwendung für den Hundepatienten, muss jedoch eine Lösung hinsichtlich der 3D-Datensätze gefunden werden, da das Herz eines großen Hundes größer ist, als das einer Katze und somit nicht vollständig in das Frustum passt, was aber ein wichtiges Kriterium bei der Auswahl geeigneter Datensätze ist.

Auch eine Erweiterung in andere Bereiche des Ultraschalls in der Tiermedizin ist realistisch. Für die Anwendung in der abdominalen Sonographie in der Tiermedizin wurde von Radtke im Rahmen der Dissertation „3D-Visualisierung anatomischer und sonografischer Schnittbildserien bei der Katze“ im Jahr 2014 (RADTKE, 2014) bereits Vorarbeit hinsichtlich der Datensätze geleistet. Diese Datensätze sind voraussichtlich jedoch nur mit gewissen Modifikationen im Simulator nutzbar. Die noch gänzlich fehlende Komponente stellt die Patientenattrappe dar, da die Patientenattrappe des Echokardiographiesimulators nicht ohne Modifikation für die Simulation der abdominalen Sonographie eingesetzt werden kann. Der Grund hierfür ist, dass Patienten während der abdominalen Sonographie anders gelagert werden als in der Echokardiographie.

Grundsätzlich bietet der Katzen-Echokardiographiesimulator jedoch unzählige Möglichkeiten, sein Spektrum hinsichtlich Tierarten, Erkrankungen und Einsatzmöglichkeiten zu erweitern.

## VI Zusammenfassung

In der Tiermedizin gehört die echokardiographische Untersuchung vor allem im Kleintierbereich zu den Standarduntersuchungen auf dem Gebiet der Kardiologie. Das Erlernen der Echokardiographie setzt jedoch voraus, dass Studierende der Tiermedizin und/ oder Tierärztinnen und Tierärzte die Möglichkeit haben die Echokardiographie praktisch selbst zu üben, um das korrekte Einstellen der gebräuchlichen Standardschnittebenen in der zweidimensionalen Echokardiographie zu erlernen.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde eigens für die Tiermedizin ein Echokardiographiesimulator für die Katze entwickelt. Da die elektronisch-technischen Grundlagen mit geringfügigen Modifikationen von einem humanmedizinischen Ultraschall- und Echokardiographiesimulator, dem SonoSim III der Firma Sonofit GmbH, Darmstadt, übernommen werden konnten, lag der Fokus dieser Arbeit auf der Bestückung des Simulators mit geeigneten Echokardiographiedatensätzen von herzgesunden und herzkranken Katzen, sowie dem Entwurf und der Konstruktion von realitätsnahen Katzenattrappen einerseits und Untersuchungstischen andererseits. Die Datensätze, die in den Simulator integriert wurden stammen von dreidimensionalen Echokardiographiedatensätzen verschiedener feliner Patienten. Es wurde in Abhängigkeit ihrer zugrundeliegenden Erkrankung und ihrer Relevanz sowie der Qualität des Datenmaterials die Datensätze einer gesunden und zwei herzkranker Katzen ausgewählt. Eine Jungkatze wies einen deutlichen perimembranösen Ventrikelseptumdefekt (VSD) auf, der auch ohne Doppler im B-Bild zu erkennen war. Die zweite herzkranke Katze zeigte eine asymmetrische Hypertrophie des Kammerseptums und der Papillarmuskeln (HCM), sowie eine mittelgradige Aortenklappeninsuffizienz. Der VSD und die HCM sind laut Literatur die häufigste angeborene bzw. erworbene Herzerkrankung der Katze.

Die 3D-Datensätze wurden in ihre kleinsten Einheiten, die Einzelbilder, zerlegt, manuell bearbeitet, wieder zusammengefügt und der daraus entstandene Datensatz anschließend in den Simulator geladen. Die Bearbeitung diente einerseits der Verbesserung der Qualität durch Minimierung von Artefakten und andererseits der Verdeutlichung der kardialen Morphologie durch unterschiedliches Einfärben der rechten und linken Herzhälfte. Dadurch wird garantiert dass die simulierten 2D-Echokardiogramme annähernd dem Standard heutiger realer 2D-Ultraschallbilder des Herzens entsprechen. Durch die farblich unterschiedliche Markierung der Herzhälften wird die Orientierung auch für ungeübte Untersucher erleichtert.

Im Rahmen der anschließenden Umfrage, wurde die Realitätsnähe der Schnittebenen von über 90% der befragten echokardiographisch vorgebildeten Studierenden als sehr gut und gut beurteilt. Auch der Wert der Kolorierung erhielt von 86 % der Studierenden sehr gute und gute Noten. Ein Untersuchungstisch wurde auf eine Art und Weise entworfen und konstruiert, dass eine praxisnahe Handhabung möglich war und gleichzeitig auf jegliches Metall als Werkstoff verzichtet werden konnte, um die Technik des Simulators nicht zu stören. Dieser Tisch wurde mit zwei austauschbaren Tischplatten, auf denen jeweils eine Katzenattrappe in linker und rechter Seitenlage fixiert war, bestückt. Das Innere der Katzenattrappen besteht aus einem Schaumstoffkern, in den Merkmale einer echten Katze, zum Beispiel Rippen zur Orientierung eingearbeitet wurden. Bezogen wurde der Schaumstoffkern mit einem maßgefertigten Kunstfell, das ebenfalls über spezifische Orientierungsmarken wie zum Beispiel die Ellbogenhautfalte verfügt. Die befragten Studierenden äußerten sich zu Design der Katzen sowie zu Funktionalität und Design des Tisches mehrheitlich überaus positiv (88 % gut oder sehr gut).

## Zusammenfassung

Anhand der bearbeiteten Datensätze wurden drei Patientenfälle im Simulator erstellt und dazu passende Tutorials entwickelt, um auch autodidaktisches Lernen zu ermöglichen. Bei der anschließenden Evaluierung gaben 100 % der Befragten an, dass der Simulator eine sehr gute (89%) und gute (11%) Ergänzung zur echokardiographischen Untersuchung am lebenden Tier ist. Sogar 52 % der Studierenden betrachten den Simulator als sehr gute (6%) oder gute (46%) **vollständige** Alternative zum lebenden Tier in der Echokardiographieausbildung.

## VII Summary

In veterinary medicine the echocardiographic examination belongs to the standard examinations in the field of cardiology, especially with small animals. Veterinarians and students of veterinary medicine, who want to learn echocardiography properly, need to have the possibility of training echocardiography practically, in order to learn the correct way of finding the standard views of two-dimensional echocardiography.

Within this thesis an echocardiographic simulator for cats has been developed for the field of veterinary medicine. As the electronic and technical basics of SonoSim III, a sonography and echocardiography simulator with human medicine background, produced and developed by Sonofit GmbH Darmstadt, Germany could be used for the simulator for veterinary medicine, the focus of this thesis was put on creating suitable echocardiographic datasets of two cats suffering from heart diseases and one cat which had no cardiac disease and including them into the simulator. Furthermore the focus was put on designing and constructing realistic cat mannequins on the one hand and a realistic examination table on the other hand. The datasets which were included into the simulator, originally were three dimensional datasets of different feline patients. Depending on what heart disease they were suffering from and the quality of the datasets, two cats with heart diseases and one cat without any cardiac diagnosis were chosen. One cat suffered from a perimembranous ventricular septal defect (VSD), which could be seen even without Dopplerimaging in B-Mode, the other one from asymmetrical hypertrophy of the ventricular septum and papillary muscles and moderate insufficiency of the aortic valve. In accordance with literature VSD and Hypertrophic Cardiomyopathy (HCM) are the most common congenital and acquired heart diseases of cats.

The 3D datasets were cut into their smallest possible units, single images, were edited image by image and afterwards assembled again. The results were three datasets, which afterwards were included in the simulator. Editing the single images was on the one hand necessary to improve the quality of the images by minimizing artifacts, on the other hand necessary to highlight basic structures of the heart by colouring the left and the right part of the heart with different colours. In this way it is guaranteed that the quality of the 2D echocardiographic images that are simulated with this simulator almost equals the quality of contemporary real 2D echocardiographic images. By means of colouring the right and the left heart with different colours, orientation in the image especially for beginners is improved. A survey was carried out in which senior students of veterinary medicine, who had all performed echocardiographic examinations before, evaluated how realistic the different echocardiographic views were: more than 90 % evaluated with realistic or very realistic. The students were as well asked about the value of colouring and 86 % of them evaluated with good and very good.

A special examination table was designed and constructed in a way that a realistic utilization is possible and that no metal material was used for building it, in order not to interfere with the technical components of the simulator. This examination table was equipped with two exchangeable tabletops. On each of these tabletops a cat mannequin was attached: one of them positioned in right lateral recumbency and on the other one in left lateral recumbency. The inner core of the dummy cats consists of a special foam material which was equipped with characteristics of a real cat, for example ribs and the costal arch, which are supposed to improve orientation for the echocardiographer. The inner part of the dummy cat is covered with fake fur, custom-made and equipped with specific characteristics of a real cat as well, for example the

## Summary

elbow skin fold. The majority of students evaluated the design of the dummy cats and the design and the functionality of the table extremely positive, 88 % of them with good or very good. Three different patient cases were created for the simulator on the basis of the three edited datasets. In order to provide the possibility of autodidactic learning, tutorials were created additionally. During the evaluation whether the training with the echocardiographic simulator for cats can be regarded as a suitable supplement to the training the examination of real cats, 100% of the students answered that it is a very good (89%) or good (11%) supplement. Even 52 % of the students regarded the echocardiographic simulator for cats as a very good (6%) or a good (46%) alternative to the training of the examination with real cats.

## VIII Literaturverzeichnis

- Albert I-C (2010) Dissertation - Der Pferdekopf - ein interaktives Lernprogramm. In: Institut für Anatomie, Histologie und Embryologie. LMU München. 269
- Ascension Technology Corporation. 3D driveBAY spec sheet. 2012a: [www.ascension-tech.com/medical/driveBAY.php](http://www.ascension-tech.com/medical/driveBAY.php). 28.07.2014.
- Ascension Technology Corporation. driveBAY. 2012b: [www.ascension-tech.com/medical/driveBAY.php](http://www.ascension-tech.com/medical/driveBAY.php). 15.08.2014.
- ATF. ATF Fortbildungsangebote. 2014; 01.05.2014: [http://www.bundestieraerztekammer.de/index\\_atf\\_termine.php?Year=2014&Month=8&Sel=x](http://www.bundestieraerztekammer.de/index_atf_termine.php?Year=2014&Month=8&Sel=x). 06.08.2014.
- Bänsch C (2014) "Die Schultergliedmaße des Hundes": ein interaktives Lernprogramm zur Anatomie. In: Veterinärwissenschaftliches Department. LMU München. 162
- Bayerische Landestierärztekammer. Allgemeine Fortbildungspflicht. [www.bltk.de/index.php?option=com\\_content&view=article&id=119:allgemeine-pflichten&catid=44&Itemid=219](http://www.bltk.de/index.php?option=com_content&view=article&id=119:allgemeine-pflichten&catid=44&Itemid=219). 29.09.2014.
- Bayerische Landestierärztekammer. Leistungskatalog Teilgebiet Innere Medizin. 2003a: <http://www.bltk.de/images/stories/weiterbildung/wb-2003/leistungskataloge/fta-klt-tg-innere.pdf>. 29.09.2014.
- Bayerische Landestierärztekammer. Weiterbildungsordnung für Tierärzte 2003, Anlage II Zusatzbezeichnungen, Zusatzbezeichnung Kardiologie (Kleintiere). 2003b: <http://www.bltk.de/images/stories/weiterbildung/wb-2003/anlagel/10-zb-kardiologie-kl.pdf>. 20.07.2014.
- Bayerische Landestierärztekammer. Leistungskatalog Bereich und Zusatzbezeichnung Kardiologie (Kleintier). 2003c: <http://www.bltk.de/images/stories/weiterbildung/wb-2003/leistungskataloge/zb-kardiologie-kl.pdf>. 29.09.2014.
- Bayerische Landestierärztekammer. Weiterbildungsordnung 2003 Anlage I (Gebiete und Teilgebiete) Teilgebiet Innere Medizin. 2003d: <http://www.bltk.de/images/stories/weiterbildung/wb-2003/anlagel/15-3-tg-innere-kl.pdf>. 29.09.2014.
- Bayerische Landestierärztekammer. Weiterbildungsordnung 2003, Anlage I (Gebiete und Teilgebiete), FTA für Innere Medizin der Kleintiere. 2003e; 18.12.2013: <http://www.bltk.de/images/stories/weiterbildung/wb-2003/anlagel/11-fta-innere-kl.pdf>. 20.07.2014.
- Bayerische Landestierärztekammer. Weiterbildungsordnung 2003 Anlage I (Gebiete und Teilgebiete) Fachtierarzt für Kleintiere. 2003f: <http://www.bltk.de/images/stories/weiterbildung/wb-2003/anlagel/15-0-fta-kl.pdf>. 29.09.2014.
- Bayerische Landestierärztekammer. Leistungskatalog zur Weiterbildung zum Fachtierarzt für Kleintiere. 2003g: <http://www.bltk.de/images/stories/weiterbildung/wb-2003/leistungskataloge/fta-klt.pdf>. 29.09.2014.
- Bayerische Landestierärztekammer. Leistungskatalog Fachtierarzt für Innere Medizin der Kleintiere. 2003 <http://www.bltk.de/images/stories/weiterbildung/wb-2003/leistungskataloge/fta-innere-klt.pdf>. 29.09.2014.
- Boon JA. The two-dimensional echocardiographic exam. In: Veterinary Echocardiography, 2 edn. Boon JA, ed.: Wiley-Blackwell 2011a: 44-100.
- Boon JA. The two-dimensional echocardiographic exam. In: Veterinary Echocardiography, 2 edn. Boon JA, ed.: Wiley Blackwell 2011b: 37-9.
- Boon JA. The Physics of Ultrasound. In: Veterinary Echocardiography, 2 edn. Boon JA, ed.: 2011c: 1-36.
- Brown DG, Hugues. Heart. In: Atlas of small animal ultrasonography. Penninck DdA, Marc-André, ed. Iowa: Blackwell Publishing Professional 2008: 151 - 216.

- Bruder A (2005) Multimediales Lernprogramm über die Sonographie der unveränderten weiblichen Geschlechtsorgane von nicht graviden Hunden und Katzen. In: Lehrstuhl für Tieranatomie I. LMU München. 149
- Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz. Tierschutzgesetz. 1972, 2006, 2013; 22.09.2014: <http://www.gesetze-im-internet.de/tierschg/BJNR012770972.html>. 17.06.2014.
- Côté E, MacDonald KA, Montgomery Meurs K, Sleeper MM. Echocardiography. In: Feline Cardiology. Côté E, MacDonald KA, Montgomery Meurs K, Sleeper MM, eds.: Wiley-Blackwell 2011a: 51-67.
- Côté E, MacDonald KA, Montgomery Meurs K, Sleeper MM. Congenital Heart Malformations. In: Feline Cardiology. Côté E, MacDonald KA, Montgomery Meurs K, Sleeper MM, eds.: Wiley-Blackwell 2011b: 85 - 100.
- Crowther E, Booth N, Coombes N, Baillie S. Veterinary Clinical Skills Labs: Online Collaboration and Moving Forward. Health and Social Care Education 2013; 2: 39-43.
- Decker J (2014) Echokardiographische, computertomographische, magnetresonanztomographische und präparatorisch anatomische Rekonstruktion des Katzenherzens für die mögliche Nutzung in einem Simulator. In: Institut für Anatomie, Histologie und Embryologie. LMU München. 111
- DEGUM. Über die DEGUM. 2014a: <http://www.degum.de/degum/ueber-die-degum.html>. 27.09.2014.
- DEGUM. DEGUM-Richtlinien für Aus- und Weiterbildungin der Ultraschalldiagnostik. 2014b: [http://www.degum.de/fileadmin/dokumente/arbeitskreise/echokardiographie/formulare/DEGUM-Richtlinien\\_Aus-und\\_Weiterbildung\\_Echokardiographie.pdf](http://www.degum.de/fileadmin/dokumente/arbeitskreise/echokardiographie/formulare/DEGUM-Richtlinien_Aus-und_Weiterbildung_Echokardiographie.pdf). 27.09.2014.
- Dilly MT, Andrea; Schaper, Elisabeth; Ehlers, Jan P. (2013) Erstes veterinärmedizinisches Skills Lab in Deutschland vermittelt klinische Fertigkeiten. In: Deutsches Tierärzteblatt. Schlütersche VerlagsgesellschaftmbH & Co. KG, Hannover. 945-8
- Ehler D, Carney DK, Dempsey AL, Rigling R, Kraft C, Witt SA, Kimball TR, Sisk EJ, Geiser EA, Gresser CD, Waggoner A. Guidelines for cardiac sonographer education: Recommendations of the american society of echocardiography sonographer training and education committee. Journal of the American Society of Echocardiography 2001; 14: 77-84.
- Europäische Union. Verordnung (EG) Nr. 1523/2007. 2007: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32007R1523&from=DE>. 22.09.2014.
- Ferasin L, Sturgess CP, Cannon MJ, Caney SMA, Gruffydd-Jones TJ, Wotton PR. Feline idiopathic cardiomyopathy: a retrospective study of 106 cats (1994–2001). Journal of Feline Medicine & Surgery 2003; 5: 151-9.
- Fichtner A. Lernen für die Praxis - Das Skills Lab. In: Simulation in der Medizin. St. Pierre M, Breuer G, eds.: Springer Verlag Berlin Heidelberg 2013: 106 - 14.
- Fox PR, Moise NS. Echocardiography and Doppler Imaging. In: Textbook of Canine and Feline Cardiology, 2nd edn. Fox PR, Sisson D, Moise NS, eds.: W.B. Saunders Company 1999: 130-71.
- Grimm M (2014) Einsatz des SonoSim in der Nähe von Metallteilen. Ed Zandt E. 1
- Hällfritzsch F, Stadler O, Hartman K. Beurteilung der Qualität der tierärztlichen Ausbildung und der Kompetenz von Anfangsassistenten &#8211; eine Umfrage unter Tierärzten. Tierärztliche Praxis Kleintiere 2005a; 33: 258-63.
- Hällfritzsch FW, Stadler O, Hartmann K. Tierärztliche Hochschulen in Deutschland - Beurteilung der Kompetenz von Absolventen unterschiedlicher tierärztlicher Ausbildungsstätten durch praktizierende Tierärzte. Der praktische Tierarzt 2005b: 30.
- Hocke V (2005) Multimediales Lernprogramm zur Sonografie von Milz, Leber und Pankreas bei gesunden Hunden und Katzen. In: Institut für Tieranatomie I. LMU München, München. 160
- Hoffmann R. Positionspapier zu Qualitätsstandards in der Echokardiographie. Z Kardiol 2004; 93: 975 - 86.
- K. Werdan FAF, R. Griebenow et al. Curriculum Kardiologie. Der Kardiologe 2013; 7: 435–56.
- Kassenärztliche Bundesvereinigung. Ultraschallvereinbarung. 2008, 2012: [https://www.kvwl.de/arzt/recht/kbv/qualitaets/qualit\\_ultraschall.pdf](https://www.kvwl.de/arzt/recht/kbv/qualitaets/qualit_ultraschall.pdf). 27.09.2014.

- Kempny A, Piorkowski A. CT2TEE - a novel, internet-based simulator of transoesophageal echocardiography in congenital heart disease. *Kardiol Pol* 2010; 68: 374-9.
- Kienle RD, Thomas WP. Echocardiography. In: Small animal diagnostic Ultrasound, 2nd edn. Nyland TG, Mattoon JS, eds. Philadelphia: Saunders 2002: 354-423.
- Lang J. Imaging the heart. In: Diagnostic Ultrasound in small animal practice. Mannion P, ed. Oxford, UK: Blackwell Science 2006: 190.
- LMU München Tiermedizinische Fakultät. Festakt zur 100-Jahr-Feier der Tierärztlichen Fakultät. 2014: [www.vetmed.uni-muenchen.de/aktuelles/termine/festakt/index.html](http://www.vetmed.uni-muenchen.de/aktuelles/termine/festakt/index.html). 28.07.2014.
- LMU München Tiermedizinische Fakultät Klinik für Pferde. Neues Palpationsmodell der Klinik für Pferde verbessert die praktische Ausbildung der Studierenden. 2014; 25.07.2014: [www.vetmed.uni-muenchen.de/aktuelles/news/vaccinola/index.html](http://www.vetmed.uni-muenchen.de/aktuelles/news/vaccinola/index.html). 28.07.2014.
- LMU München Tiermedizinische Fakultät LfA, Histologie und Embryologie,. Ultraschalllabor 2007: [www.anat.vetmed.uni-muenchen.de/studium\\_lehre/ultraschalllabor/index.html](http://www.anat.vetmed.uni-muenchen.de/studium_lehre/ultraschalllabor/index.html). 28.07.2014.
- Löhr BA (2012) Erstellung eines multimedialen Lernprogramms zur Auskultation von Hund und Katze. In: Veterinärwissenschaftliches Department. LMU München. 98
- Modell JH, Cantwell S, Hardcastle J, Robertson S, Pablo L. Using the human patient simulator to educate students of veterinary medicine. *J Vet Med Educ* 2002; 29: 111-6.
- Nikendei C, Schilling T, Nawroth P, Hensel M, Ho AD, Schwenger V, Zeier M, Herzog W, Schellberg D, Katus HA, Dengler T, Stremmel W, Müller M, Jünger J. Integriertes Skills-Lab-Konzept für die studentische Ausbildung in der Inneren Medizin. *Dtsch med Wochenschr* 2005; 130: 1133-8.
- Penzl S (2009) Evaluierung der kardialen Volumenbestimmung bei herzgesunden Beagles und Dachshunden. In: Institut für Tieranatomie I. LMU München. 159
- Pfaffendorf K (2014) Der Rücken des Hundes - ein interaktives Lernprogramm zur Anatomie. In: Veterinärwissenschaftliches Department. Ludwig-Maximilians-Universität München. 177
- Philips Healthcare. X5-1 xMATRIX Array. 2014a: [http://www.healthcare.philips.com/main/products/ultrasound/Transducers/X5\\_1.wpd](http://www.healthcare.philips.com/main/products/ultrasound/Transducers/X5_1.wpd). 03.10.2014.
- Philips Healthcare. Philips Ultrasound X7-2 Transducer. 2014b: [http://www.healthcare.philips.com/de\\_de/products/ultrasound/transducers/x7\\_2.wpd](http://www.healthcare.philips.com/de_de/products/ultrasound/transducers/x7_2.wpd). 27.09.2014.
- Poulsen Nautrup C. Untersuchungstechniken. In: Atlas und Lehrbuch der Ultraschalldiagnostik bei Hund und Katze, 4 edn. Poulsen Nautrup C, Tobias R, eds. Hannover: Schlütersche Verlagsgesellschaft mbH & Co KG 2007a: 78-9.
- Poulsen Nautrup C, Tobias R. Herz. In: Atlas und Lehrbuch der Ultraschalldiagnostik bei Hund und Katze, 4 edn. Poulsen Nautrup C, Tobias R, eds. Hannover: Schlütersche Verlagsgesellschaft mbH & Co KG 2007: 127.
- Poulsen Nautrup C. Technische Grundlagen. In: Atlas und Lehrbuch der Ultraschalluntersuchung von Hunden und Katzen, 4 edn. Poulsen Nautrup CT, Ralf, ed. Hannover: Schlütersche Verlagsgesellschaft mbH & Co KG 2007b: 31-59.
- Poulsen Nautrup C. Sonographische Phänomene und Artefakte. In: Atlas und Lehrbuch der Ultraschalldiagnostik bei Hund und Katze, 4 edn. Poulsen Nautrup CT, Ralf, ed. Hannover: Schlütersche Verlagsgesellschaft mbH & Co KG 2007 60 -75.
- Poulsen Nautrup C. Dreidimensionale Echokardiographie. In: Kleintierkardiologie kompakt. Tobias R, Skrodzki M, Schneider M, eds. Hannover: Schlütersche Verlagsgesellschaft mbH & Co KG 2008: 105-11.
- Quiñones MA, Douglas PS, Foster E, Gorcsan J, III, Lewis JF, Pearlman AS, Rychik J, Salcedo EE, Seward JB, Stevenson JG, Thys DM, Weitz HH, Zoghbi WA, Creager MA, Winters WL, Jr., Elnicki M, Hirshfeld JW, Jr., Lorell BH, Rodgers GP, Tracy CM. ACC/AHA clinical competence statement on echocardiography. *Journal of the American Society of Echocardiography* 2003; 16: 379-402.

- Radtke J (2014) 3D Visualisierung anatomischer und sonografischer Schnittbildserien der Katze. In: Veterinärwissenschaftliches Department. Ludwig-Maximilians-Universität München
- Read EK, Hecker KG. The Development and Delivery of a Systematic Veterinary Clinical Skills Education Program at the University of Calgary. *Journal of Veterinary Science and Technology* 2013; 4
- Riesen, Dr. med. vet SCR, Kovacevic, Kovacevic A, Lombard, Lombard CW, Amberger, Amberger C. Prevalence of heart disease in symptomatic cats: an overview from 1998 to 2005. *Schweiz Arch Tierheilkd* 2007a; 149: 65-71.
- Riesen SC, Kovacevic A, Lombard CW, Amberger C. Prevalence of heart disease in symptomatic cats: an overview from 1998 to 2005. *Schweiz Arch Tierheilkd* 2007b; 149: 65-71.
- Ross University School of Veterinary Medicine. Clinical Skills Lab. <http://www.rossu.edu/veterinary-school/academics/Clinical-Skills-Lab.cfm>. 22.09.2014.
- Sajid A, Lipson LF, Telder V. A simulation laboratory for medical education. *Academic Medicine* 1975; 50: 970-5.
- Scalese RJ, Issenberg SB. Effective use of simulations for the teaching and acquisition of veterinary professional and clinical skills. *J Vet Med Educ* 2005; 32: 461-7.
- Schrader J, Gödecke A, Kelm M. Das Herz. In: Physiologie, 6 edn. Klinker R, Pape H-C, Kurtz A, Silbernagl S, eds. Stuttgart: Georg Thieme Verlag KG 2010: 134-73.
- Schultheis SK (2011) Evaluation der dreidimensionalen Echokardiografie (3DE) im Rahmen der Größenbestimmung vom Atrium sinistrum und der Einschätzung hämodynamisch unbedeutender transmitraler Regurgitationen bei klinisch herzgesunden Beagles und Dachshunden. In: Veterinärwissenschaftliches Department. LMU München. 145
- Shakil O, Mahmood F, Matyal R. Simulation in echocardiography: an ever-expanding frontier. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 2012; 26: 476-85.
- Sichert E (1935) Zur vergleichenden Anatomie des Herzens der Katze (*Felis domestica* Briss.). Veterinärmedizinische Universität Budapest, Budapest
- Smith HPR (1979) A simulator study of the interaction of pilot workload with errors, vigilance, and decisions. NASA, Washington, DC
- Song H, Peng YG, Liu J. Innovative transesophageal echocardiography training and competency assessment for Chinese anesthesiologists: role of transesophageal echocardiography simulation training. *Curr Opin Anaesthesiol* 2012; 25: 686-91.
- Sonofit GmbH (2013) Pressemitteilung: Erstmals Ultraschallsimulator mit paralleler Darstellung bildgebender Systeme, Darmstadt. 2
- Sonofit GmbH. Sonofit - Produkte. 2014a; 26.05.2014: <http://www.sonofit.de/produkte.html>. 20.07.2014.
- Sonofit GmbH. Sonofit - Ausstattung. 2014b; 26.05.2014: <http://www.sonofit.de/ausstattung.htm>. 20.07.2014.
- Streck NS (2004) Computerbasiertes Lernprogramm über die physikalisch-technischen Grundlagen der Sonografie beim Kleintier. In: Institut für Tieranatomie I. LMU München. 95
- Thomas WP. TWO-DIMENSIONAL, REAL-TIME ECHOCARDIOGRAPHY IN THE DOG Technique and Anatomic Validation. *Veterinary Radiology* 1984; 25: 50-64.
- Thomas WP, Gaber CE, Jacobs GJ, Kaplan PM, Lombard CW, Vet M, Moise NS, Moses BL. Recommendations for Standards in Transthoracic Two-Dimensional Echocardiography in the Dog and Cat. *Journal of Veterinary Internal Medicine* 1993; 7: 247-52.
- Tierärztliche Hochschule Hannover. Lernstationen - Ultraschalluntersuchung. 2014: [www.tiho-hannover.de/de/studium-lehre/clinical-skills-lab/lernstationen](http://www.tiho-hannover.de/de/studium-lehre/clinical-skills-lab/lernstationen). 17.06.2014.
- Tobias R. Echokardiographie - Das Herz in Aktion. In: Kleintierkardiologie kompakt. Tobias R, Skrodzki M, Schneider M, eds. Hannover: Schlütersche 2008: 83 - 111.
- UCD School of Veterinary Medicine. New Clinical Skills Lab - Fundraising appeal. 2013; 03.07.2013: <http://www.ucd.ie/vetmed/newsevents/title,80540,en.html>. 22.09.2014.
- Universitätsklinikum Heidelberg. Pressemitteilung: Training für eine präzise Pränataldiagnostik. 2010; 01.09.2010: <http://www.klinikum.uni->

- [heidelberg.de/ShowSingleNews.176.0.html?&no\\_cache=1&tx\\_ttnews\[tt\\_news\]=5182](http://heidelberg.de/ShowSingleNews.176.0.html?&no_cache=1&tx_ttnews[tt_news]=5182).  
20.07.2014.
- University of Illinois at Urbana-Champaign. Clinical Skills Learning Center Hours. 2009a; 03.08.2012:  
<http://vetmed.illinois.edu/asa/cslc/hours.html>. 22.09.2014.
- University of Illinois at Urbana-Champaign. Clinical Skills Learning Center. 2009b; 07.06.2012:  
<http://vetmed.illinois.edu/asa/cslc/>. 22.09.2014.
- University of Surrey - School of Veterinary Medicine. Clinical Skills Center.  
<http://www.surrey.ac.uk/vet/facilities/clinical-skills-centre>. 22.09.2014.
- Vegas A, Meineri M, Jerath A, Corrin M, Silversides C, Tait G. Impact of Online Transesophageal Echocardiographic Simulation on Learning to Navigate the 20 Standard Views. Journal of cardiothoracic and vascular anesthesia 2013; 27: 531-5.
- Veterinary Simulator Industries. Equine Palpation/ Colic Simulator. 2014:  
[www.vetsimulators.net/products/equine-colic-simulator/](http://www.vetsimulators.net/products/equine-colic-simulator/). 28.07.2014.
- Veterinary Skills Lab UCD. Veterinary Skills Lab UCD. 2014:  
<http://www.youtube.com/channel/UCsdAnGawAM3r1KDTnmgnl4w>. 22.09.2014.
- Ware WA. Diagnostic Tests for the Cardiovascular System. In: Small Animal Internal Medicine, 5 edn. Nelson RW, Couto CG, eds.: Elsevier Mosby 2014: 13-52.
- Washington State University - College of Veterinary Medicine. The WSU Clinical Simulation Center. 2014; 09.04.2014: <http://www.vetmed.wsu.edu/EducationInnovation/Sxskills/index.aspx>.  
22.09.2014.
- Weidenbach M, Wild F, Scheer K, Muth G, Kreutter S, Grunst G, Berlage T, Schneider P. Computer-based training in two-dimensional echocardiography using an echocardiography simulator. Journal of the American Society of Echocardiography : official publication of the American Society of Echocardiography 2005; 18: 362-6.
- Weihls W. Die standardisierte Echokardiographie: Durchführung, Archivierung und Befunderstellung inkl. Evaluierung der systolischen Linksventrikelfunktion. Journal für Kardiologie - Austrian Journal of Cardiology 2014; 21: 8-13.
- Weissflog N (2005) Multimediales Lernprogramm über die Sonografie von Harnblase, Nieren und Nebennieren bei gesunden Hunden und Katzen. In: Institut für Tieranatomie. LMU München. 105
- Wess GD. Die Hypertrophe Kardiomyopathie (HCM) von Katzen.  
<http://www.tierkardiologie.lmu.de/pta/hypertrophe-kardiomyopathie.html>. 29.07.2014.

**IX Anhang**

Tabelle 10: Untersuchte Katzen (vgl. Decker, 2014), **hellblau hinterlegt**: verwendeter gesunder Patient, **dunkelgrün hinterlegt**: verwendete herzkrankte Patienten, **schwarze Schrift**: gesunde Patienten, **graue Schrift**: herzkrankte Patienten

	Rasse	Alter	Geschlecht	Gewicht in kg	Kardiologische Erkrankung	Zusätzliche Erstellung von dreidimensionalen Datensätzen
1	OKH	4 Jahre	WK	3,0	-	+
2	NWK	5 Jahre	MK	4,6	-	+
3	OKH	2 Jahre	WK	3,0	-	-
4	OLH	3 Jahre	WK	3,0	-	+
5	BKH	2 Jahre	WK	3,2	-	+
6	MC	10 Monate	M	4,4	-	+
7	MC-Mix	5 Jahre	WK	3,5	+	+
8	MC-Mix	6 Jahre	MK	5,0	-	-
9	MC	8 Jahre	MK	8,4	+	-
10	MC	4 Jahre	MK	8,5	+	+
11	MC	2 Jahre	W	4,0	-	+
12	MC	5 Jahre	MK	5,0	-	-
13	MC	5 Jahre	MK	7,0	-	-
14	MC	5 Jahre	W	5,5	-	+
15	MC	3 Jahre	W	5,5	-	-
16	BKH	10 Jahre	MK	4,5	+	+
17	EKH	12 Jahre	W	3,0	-	+
18	BKH	8 Monate	M	2,8	-	+
19	EKH	4 Monate	W	0,6	-	+
20	MC	7 Jahre	WK	9,0	-	+
21	MC-Mix	5 Jahre	MK	5,0	-	-
22	EKH	7 Jahre	W	3,0	+	+
23	EKH	11 Jahre	MK	6,7	+	+
24	BKH	1 Jahr	WK	3,1	+	-
25	Kartäuser	13 Jahre	MK	8,0	+	+
26	Kartäuser	14 Jahre	MK	8,0	-	+
27	Thaikatze	3 Jahre	WK	3,0	-	+
28	EKH	6 Jahre	MK	3,0	-	-
29	EKH	5 Jahre	MK	7,6	-	+
30	EKH	7 Jahre	MK	7,8	-	+
31	BKH	12 Jahre	WK	6,4	-	+
32	Kartäuser	12 Jahre	WK	5,4	-	-
33	BKH	16 Jahre	MK	4,8	+	+
34	MC-Mix	5 Jahre	MK	4,0	-	+
35	BKH	1 Jahr	M	5,4	-	+
36	BKH	1 Jahr	MK	7,1	-	+
37	MC	7 Jahre	MK	7,2	+	+
38	MC	6 Jahre	W	7,5	-	-
39	MC	1 Jahr	W	5,9	-	+
40	MC	1 Jahr	W	5,2	-	-
41	MC	6 Jahre	WK	5,5	+	+
42	MC	3 Jahre	W	8,0	-	+
43	MC	1 Jahr	W	5,0	-	+

Anhang

	Rasse	Alter	Geschlecht	Gewicht in kg	Kardiologische Erkrankung	Zusätzliche Erstellung von dreidimensionalen Datensätzen
44	MC	1 Jahr	W	5,0	-	+
45	EKH	7 Monate	MK	2,0	-	+
46	MC	2 Jahre	WK	4,0	-	+
47	MC	10 Monate	WK	2,5	-	+
48	MC	4 Jahre	W	4,5	+	+
49	MC	8 Jahre	WK	6,5	+	+
50	MC-Mix	2 Jahre	WK	4,0	-	-
51	MC	2 Jahre	M	7,2	-	+
52	MC	2 Jahre	M	6,8	-	+
53	MC	3 Jahre	W	5,2	-	+
54	MC	6 Monate	M	2,5	-	+
55	Heilige Birma	11 Jahre	MK	4,8	-	+
56	MC	8 Jahre	WK	6,0	+	-
57	MC	8 Jahre	MK	9,5	-	+
58	MC	2 Jahre	W	6,2	-	+
59	EKH	16 Jahre	WK	4,0	+	+
60	MC	9 Monate	WK	4,3	-	+
61	MC	8 Monate	MK	4,6	-	+
62	MC	8 Monate	M	4,5	+	+
63	NWK	6 Monate	M	4,5	+	+
64	Ragdoll	6 Monate	W	1,6	-	+
65	EKH	16 Jahre	W	3,0	+	+
66	Ragdoll	7 Monate	M	1,8	-	+
67	Ragdoll	7 Monate	M	2,0	-	-
68	NWK	6 Monate	M	1,8	+	+
69	EKH	6 Jahre	MK	3,3	-	+
70	Bengale	5 Jahre	MK	5,0	+	+
71	MC	1 Jahr	M	6,8	-	+

Anhang

Tabelle 11: Mittelwerte der Messergebnisse Patient A, B und C im 2D-Bild am Patienten, beispielhafte Messungen im Simulator

Angaben in mm		Patient A Gisi		Patient B Vivaldi		Patient C Hugo	
Längsachse	IVSd	6,8	6,3	3,0	3,1	4,3	
	LVDd	9,2	9,9	10,4	9,9	14,8	
	LVWd	6,2	5,7	1,5	1,6	4,4	
	IVSs	6,9	6,8	4,4	4,3	5,7	
	LVDs	8,0	7,7	8,7	7,2	9,3	
	LVWs	6,7	6,0	2,4	2,5	6,6	
Kurzachse	IVSd	5,9		3,8		4,0	3,9
	LVDd	9,7		11		13,4	13
	LVWd	5,8		2,2		4,0	3,4
	IVSs	6,6		5,1		5,5	5,2
	LVDs	8,6		5,7		9,7	9,7
	LVWs	6,5		3,5		6,4	5,6
	LA/Ao	14,5/8,3		11,8/6,0		9,5/7,5	
	Vorhof abs	1,75		13,3		12	
	EPSS	1,5	- <sup>1</sup>	0	0	1,7	- <sup>1</sup>

<sup>1</sup> bei Patient A und C ist die EPSS aufgrund der niedrigen Bildrate im simulierten 2D-Bild im Simulator nicht messbar, da die frühdiastolische maximale Öffnung der Mitralklappe nicht im Datensatz enthalten ist

## X Danksagung

Besonders bedanken möchte ich mich bei:

Frau Prof. Dr. Cordula Poulsen Nautrup für die Überlassung des Themas, ihren steten Rat und Bemühungen, die fachlichen wie persönlichen Gespräche, die Erreichbarkeit nachts, am Wochenende und am Feiertag und die Bereitschaft noch bis zur letzten Minute die beste Variante zu finden und jegliche Fragen zu beantworten, aber vor allem für die Möglichkeit den Simulator weiter auszubauen

Herrn Dipl.-Ing. Marcus Grimm von MedCom/ Sonofit für die Beantwortung technischer Fragen, die stete Unterstützung bei der technischen Umsetzung der Patientenfälle und der guten Zusammenarbeit und Flexibilität in der Entwicklungs- und Testphase der Katzenmodelle und des Tischgestells

Herrn Thorsten Brakhage für die freundliche und kompetente Zusammenarbeit bei der Erstellung der Katzenattrappen

Frau Heidi Loibl und Familie für die Anfertigung des Katzenplüschfells und den Fahr- und Transportservice

Herrn Dipl.-Ing. Martin Barnreiter für die Anfertigung der technischen Zeichnung des Tisches

Meinen Kolleginnen Inga, Steffi und Kaline für Anregungen und Diskussionen über Plüschfell, Lederfarben etc. und jegliche anderweitige Unterstützung

Julia Decker für die tolle Vorarbeit und kompetente Unterstützung

Meiner Chefin Dr. Ulrike Neff für die Rücksichtnahme hinsichtlich der Arbeitszeiten

Frau Prof. Dr. Meyer-Lindenberg und Herrn Dr. Andreas Brühshwein für das zur Verfügung stellen des CTs zur Erstellung der digitalen Datensätze für den Katzenkörper

Dr. Emma K. Read for answering every single of my questions about Skills Labs unbelievably fast and friendly

Meinen Eltern, Großeltern, meinem Bruder und meinem Onkel für ihre ständige Unterstützung – seelisch, moralisch, finanziell, medizinisch und in jeder anderen denkbaren Art und Weise

Jamie und Bartok, sowie Cindy und Eli fürs Dasein und meine seelische Ausgeglichenheit

Allen meinen Freunden (Sandy und Manfred fürs sehr kurzfristige Korrekturlesen), Verwandten, Bekannten, Patientenbesitzern und wen ich sonst noch vergessen habe, die mich ermutigt, aufgebaut und mit Schokolade (v.a. Frau Labusch-Nocker), Kuchen oder anderen Aufmerksamkeiten versorgt haben und Verständnis zeigten, wenn ich keine Zeit für sie hatte

Leo für die unterhaltsame Ablenkung, wann immer es nötig war