

Aus dem Fachbereich Medizin  
der Johann Wolfgang Goethe-Universität  
Frankfurt am Main

Klinik für Anästhesie, Intensivmedizin und Schmerztherapie  
Direktor: Prof. Dr. Dr. Kai Zacharowski, FRCA

**Real time 3D - Ultraschallsimulation in der Akutmedizin**  
**Entwicklung einer neuen Technologie**

Dissertation  
zur Erlangung des Doktorgrades der Medizin  
des Fachbereichs Medizin  
der Johann Wolfgang Goethe-Universität  
Frankfurt am Main

vorgelegt von  
Sebastian Schellhaas  
Darmstadt

Frankfurt am Main 2011

Dekan:	Prof. J. Pfeilschifter
Referent:	PD. R. Breitzkreutz
Korreferent:	Prof. I. Marzi
Tag der mündlichen Prüfung:	21.12.2011

Meiner Familie gewidmet

1	Einleitung	3
1.1	Lernen am Ultraschallsimulator	3
1.2	Fokussierte Ultraschalluntersuchung bei Trauma	6
1.3	Ultraschall peripherer Nerven und Gefäße	7
1.4	Fokussierte Echokardiographie in der Peri-Reanimation	8
2	Methodik	12
2.1	Ultraschallsimulation	12
2.2	Aufbau und Entwicklung des Moduls „FAST“	14
2.2.1	Herstellung von virtuellen Fällen	14
2.2.2	Studiendesign	17
2.3	Aufbau und Entwicklung des Moduls „periphere Nerven und Gefäße“	19
2.3.1	Aufnahme von peripheren Nerven und Gefäßen	19
2.3.2	Evaluation der Aufnahmen	19
2.4	Modul „FEEL“	20
2.4.1	Integration des Ultraschallsimulators in einen ALS Simulator	20
2.4.2	Evaluation des kombinierten Ultraschall - ALS - Simulators	22
2.4.3	Überprüfung der Hands-off Zeiten für die Defibrillation und Echokardiographie während der Reanimation	22
2.4.4	Eingliederung von FEEL in den ALS Algorithmus	23
2.4.5	Auswirkungen auf die Qualität der Reanimation bei Durchführung des FEEL Algorithmus	23
2.5	Auswertung und Statistik	27
2.6	Genehmigung der Studie	27
3	Ergebnisse	28
3.1	Modul „FAST“	28
3.1.1	Herstellen von virtuellen Fällen	28
3.1.2	Anwendbarkeit des Ultraschallsimulators	28
3.2	Modul „Simulation periphere Nerven und Gefäße“	30
3.3	Modul „FEEL“	34



3.3.1 <i>Integration des Ultraschallsimulators in einen ALS Simulator</i>	34
3.3.2 <i>Evaluation des kombinierten ALS-Ultraschallsimulators</i>	34
3.3.3 <i>Hands-off Zeiten</i>	35
3.3.4 <i>Der Einfluss eines multimodalen Lernens auf die korrekte Durchführung des FEEL Ablaufes</i>	37
3.3.5 <i>Auswirkungen des Einsatzes von FEEL auf Variablen, die die Qualität der Reanimation zeigen</i>	38
4 Diskussion	42
4.1 <i>Bewertung des 3D - Echtzeitvolumenmoduls „FAST“</i>	42
4.2 <i>Ultraschallsimulation peripherer Nerven</i>	44
4.3 <i>Der Ultraschallsimulator im Reanimationstraining</i>	45
Zusammenfassung	49
Abstract	51
Abkürzungsverzeichnis	53
Abbildungsverzeichnis	54
Tabellenverzeichnis	55
Literaturverzeichnis	56
Anhang	62
Lebenslauf	85
Danksagung	88
Ehrenwörtliche Erklärung	89

# 1 Einleitung

## 1.1 Lernen am Ultraschallsimulator

Die Sonographie ist ein bedeutendes bildgebendes Echtzeit - Verfahren, welches seit über 30 Jahren als Diagnoseinstrument eingesetzt wird.

Aus dem Einsatz der Ultraschalltechnik ergeben sich viele Vorteile. Im Gegensatz zu anderen bildgebenden Verfahren können mithilfe des Ultraschalls nicht nur statische Informationen der untersuchten Strukturen wiedergegeben werden, sondern auch eine dynamische Darstellung der Organfunktion. Die Möglichkeit des direkten Einsatzes am Patientenbett und der Informationsgewinnung innerhalb von Minuten oder sogar Sekunden ist ein weiterer Vorteil des Ultraschalls. Positiv ist zudem das Fehlen von schädigenden Röntgenstrahlen.

Durch diese Eigenschaften sowie die schnelle und einfache Handhabung in verschiedenen medizinischen Bereichen konnte sich die Sonographie im klinischen Alltag stark verbreiten.

In der Regel wird Ultraschall im klinischen Alltag von einem Spezialisten unter geordneten Verhältnissen ohne Zeitdruck in einem Ultraschall- oder Echokardiographielabor durchgeführt. Hier kann durch eine komplette Organdiagnostik innerhalb von mehreren Minuten eine Vielzahl von Differentialdiagnosen abgearbeitet werden. Allerdings ist dies bei instabilen, kritischen Patienten nicht immer möglich und nötig. Hier sollte eine limitierte, fokussierte Untersuchung zum Einsatz kommen. Das bedeutet zeitkritisch, anhand ausgewählter Ultraschall-differentialdiagnosen (z.B. Nachweis abnormaler Flüssigkeitsansammlungen in Abdomen, Pleura und Perikard) den Grund des kritischen Zustandes herauszufinden.

Die zunehmende Bedeutung der Sonographie führt zu einem steigenden Bedarf an Ausbildungsmöglichkeiten und Trainingsgeräten. Um die nötigen Kenntnisse, Fähigkeiten und Fertigkeiten, auch als Skills bezeichnet, zu erlangen, sollte der Anwender idealerweise einen Kreislauf des Lernens durchlaufen (Abb. 1) [1].

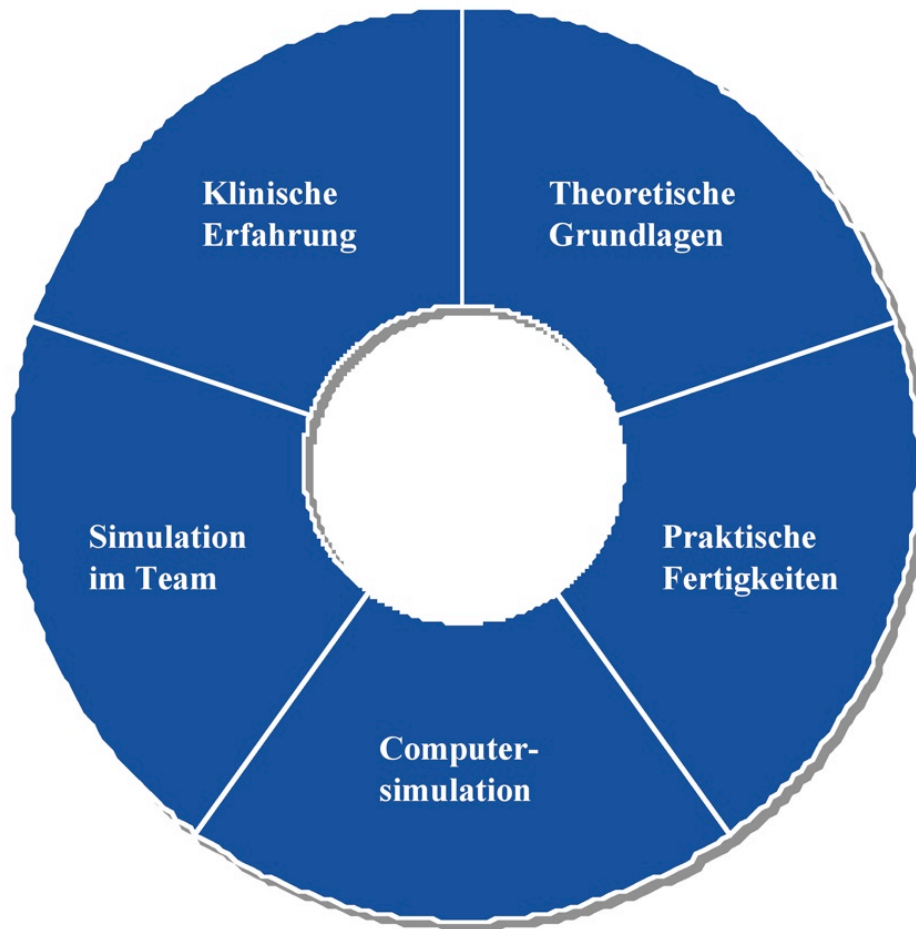
Zu Beginn steht das Schaffen theoretischer Grundlagen durch das Studium von wissenschaftlicher Literatur und Lehrbüchern. In der nächsten Phase folgt das Erlangen praktischer Fähigkeiten. Es werden anhand von Modellen psychomotorische Grundlagen geschaffen, um praktische Abläufe sicher

durchführen zu können. Im nächsten Schritt wird durch die Simulation von Patienteninformationen innerhalb von Computerprogrammen die Entscheidungsfindung des Lernenden gestärkt. Das Training im Team sollte bei der Anwendung realistischer Szenarien an Patienten- oder vollständigen Makrosimulatoren das Übernehmen von Verantwortung, die Teamfähigkeit des Einzelnen und die Kommunikation im Team fördern. Durch die Computersimulation und die Simulation im Team können kritische Situationen trainiert werden, um sie in der Realität abzuwenden [2]. Das Prinzip der Simulatorschulung ist aus der Pilotenausbildung bekannt. Hier trainieren Piloten den Umgang mit seltenen und schwierigen Situationen. So lernen sie diese Probleme frühzeitig zu erkennen, abzuwenden oder zu beheben, um in der Realität Unfälle vermeiden zu können[3]. Auch im medizinischen Bereich erfolgt der Einsatz von Simulationen und Simulatoren, um das medizinische Personal während kritischer Situationen mit Handlungsabläufen vertraut zu machen, bevor diese im klinischen Alltag auf sie zukommen [4]. Simulatoren werden bereits in der Anästhesie- [5], Gastroskopie-, ERCP [6], Koloskopie- [7], Bronchoskopie-, Zystoskopie- und die Koronarangiographieausbildung [8] eingesetzt. Besonders in der Notfallmedizin eignet sich das Training des nötigen Handwerkszeugs innerhalb von Simulationen [9].

Beim Arbeiten am realen Patienten und über den Austausch mit erfahrenen Kollegen kann man im letzten Schritt der Ausbildung zu der nötigen klinischen Erfahrung kommen.

Die Ultraschallsimulation bietet nun die Möglichkeit das Erlangen von praktischen Fertigkeiten, die Computersimulation und die Simulation im Team kombiniert innerhalb eines Szenarios zu trainieren [10]. Mit ihr konnten Normalbefunde und pathologische Befunde mit hoher Zuverlässigkeit und Reproduzierbarkeit für die Ausbildung nachgeahmt werden [11].

Mit einem Ultraschallsimulator kann die korrekte Anlotung, die Interpretation sowie die notfallsonographische Untersuchung patientenunabhängig durchgeführt werden. Außerdem kann die Ad-hoc-Interpretation der generierten Bilder in Notfallsituationen unter Zeitdruck geübt und simultan systematisch ausgewertet werden, um so dem Lernenden unmittelbar die Möglichkeit eines Feedbacks zu geben [12].



**Abb. 1 Kreislauf des Lernens.** Das Erwerben von Skills in der Notfallmedizin ist das Erlangen von Kenntnissen, Fähigkeiten und Fertigkeiten. Dem Schaffen theoretischer Grundlagen, sowie praktischer Fertigkeiten folgt die Simulation im Team und am Computer. Der nächste Schritt des Kreislaufs des Lernens ist die klinische Erfahrung. Die Ultraschallsimulation bietet nun die Möglichkeit das Erlangen von praktischen Fertigkeiten, die Computersimulation und die Simulation im Team zu kombinieren.

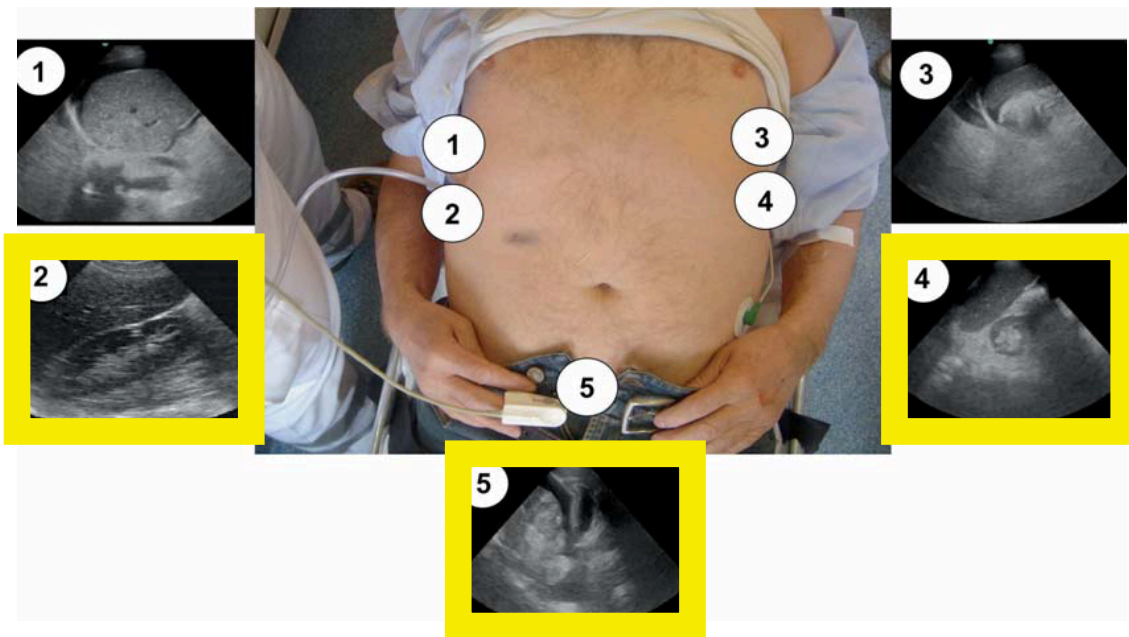
Durch den Einsatz von Multivolumen am Ultraschallsimulator, also der Kombination von Ultraschallvolumen mit unterschiedlichen Befunden aus verschiedenen Körperregionen innerhalb eines Falls, kann unabhängig von Probanden und Patienten eine Vielzahl von Fällen mit variablen Normalbefunden und Pathologien trainiert werden.

## **1.2 Fokussierte Ultraschalluntersuchung bei Trauma**

Die Notfallsonographie gilt als integraler Bestandteil einer Akutdiagnostik [13]. Findet man durch die Ultraschalluntersuchung freie abdominelle Flüssigkeit in Verbindung mit einer hämodynamischen Instabilität des Patienten nach einem Trauma, ist die Indikation für eine umgehende Laparotomie gestellt [14]. Deshalb ist ein fokussiertes Assessment mit Sonographie bei Trauma (FAST) in den Schockraumalgorithmus beim stumpfen Abdominaltrauma integriert worden [15]. Auch das Konzept des p-FAST, also des Einsatzes von Ultraschall in der präklinischen Phase bei Traumapatienten am Notfalleinsatzort, wird zunehmend etabliert [16,17]. Dadurch leitet sich ein stetiger Bedarf für die Ausbildung in der FAST Untersuchung ab. Es werden bei FAST fünf Anlotungspunkte unterschieden (Abb. 2) [18].

Zum Training von pathologischen Befunden in der Notfallsonographie nach dem FAST-Algorithmus können entweder Patienten mit akuter Erkrankung (z. B. stumpfes Bauchtrauma) im Schockraum oder Patienten mit kontinuierlicher ambulanter Peritonealdialyse (CAPD) oder Aszites genutzt werden. Aufgrund der akuten, oft lebensbedrohlichen Erkrankung beziehungsweise des kleinen Patientengutes steht ein derartiges Training nur einer geringen Anzahl von Lernenden zur Verfügung.

Im Gegensatz dazu bietet sich ein Ultraschallsimulator als neue, patientenunabhängige Lehrmethode für die Notfallsonographie an.



**Abb. 2 Anlotungspunkte FAST.** 1) lateral-diaphragmaler Längsschnitt rechts, 2) lateral-caudaler Längsschnitt rechts, 3) lateral-diaphragmaler Längsschnitt links, 4) lateral-caudaler Längsschnitt links, 5) medianer Unterbauchschnitt quer/längs [18].

### 1.3 Ultraschall peripherer Nerven und Gefäße

Die ultraschallgeführte Regionalanästhesie (UGRA) ist in der Anästhesie und Notfallmedizin eine aufkommende Methode. Um diese Technik verstehen zu können, ist das Wissen der Anatomie, Topologie und mehr noch der Sonoanatomie eine grundlegende Voraussetzung. Als die ersten drei der zehn wichtigsten Punkte in der aktuellen Leitlinie über die Ausbildung und das Training für UGRA werden die Identifikation von Schlüssellandmarken, inklusive Blutgefäßen, Muskeln, Faszien und Knochen, Nerven und Plexus in der kurzen Achse (SAX), die Kenntnisse der Anatomie und anatomischer Varianten aufgeführt [19].

Bedauerlicherweise gibt es derzeit nur eine geringe Anzahl von Möglichkeiten sich die nötigen Fertigkeiten anzueignen. Normalerweise ist eine große Anzahl von Beobachtungen und Patientenuntersuchungen in den Operationssälen nötig, um die Sonoanatomie und die Abläufe zu verstehen. Um Erfahrungen mit

anatomischen Varianten und pathologischen Befunden zu erlangen, ist eine hohe Durchlaufzahl von Patienten notwendig. Literatur und Videofilme können diese Lücke nur teilweise schließen, da sie lediglich eine zweidimensionale Darstellung von Sequenzen typischer Befunde darstellen können und eine Untersuchung in Echtzeit nicht möglich ist. Zum Training der bei Punktionen nötigen Auge-Handkoordination gibt es nur eine geringe Anzahl von Methoden, wie zum Beispiel selbst gebaute organisch, physikalische Trainingsmodelle [20]. Allerdings gibt es nach unserem Wissenschaftsstand bisher keine Methode als Goldstandard zur dreidimensionalen Ultraschallausbildung.

Die unter 1.1 dargestellten Vorteile der Ultraschallsimulation lassen vermuten, dass diese Technologie auch für die Darstellung hochauflösender Ultraschallaufnahmen von peripheren Nerven und Gefäßen geeignet ist.

#### **1.4 Fokussierte Echokardiographie in der Peri-Reanimation**

Bei der Reanimation oder Schockzuständen unklarer Genese wird entsprechend den aktuellen Leitlinien [21] nach Basic Live Support (BLS) und Advanced Live Support (ALS) vorgegangen. Die kardiale Aktivität wird derzeit durch die nicht invasiven Maßnahmen Pulstasten, Blutdruckmessung nach Riva Rocci, Ableitung eines Elektrokardiogramms (EKG) und Pulsoxymetrie (SpO<sub>2</sub>) bewertet.

In den aktuellen Leitlinien wird eine Identifikation oder Therapie potentiell behandelbarer Ursachen eines plötzlichen Herzstillstandes gefordert. Hierzu zählen zum Beispiel die Perikardtamponade, der kardiogene Schock, myokardiale Insuffizienz (resultierend aus einer Koronar- oder Lungenarterien Thrombose) oder die Hypovolämie.

Es wird dort allerdings nicht vorgeschrieben, wie dies geschehen soll [21]. Der Einsatz der Echokardiographie in den no-flow-Intervallen ist nicht vorgesehen. Über die Herzfunktion kann so während der cardio-pulmonalen Reanimation (CPR) keine genaue Aussage getroffen werden. Liegt zum Beispiel ein Perikarderguss einer Asystolie oder einer pulslosen elektrischen Aktivität (PEA) zugrunde, ist dies durch eine Perikardpunktion zu therapieren.

Allerdings wird dem behandelnden Arzt durch die Leitlinien keine Möglichkeit an die Hand gegeben, diese Ursache nachzuweisen. So werden

Perikardpunktionen oft erst sehr spät als ultima ratio bei erfolgloser CPR durchgeführt.

Die Differenzialdiagnosen der PEA ist ein weiteres Beispiel für den möglicherweise nützlichen Einsatz der Echokardiographie. Bei der Verdachtsdiagnose PEA ist der Blutdruck weder messbar noch tastbar und es wird angenommen, dass das Herz nicht schlägt. Sollten dennoch Wandbewegungen vorliegen und der Patient damit unerkannte Lebenszeichen haben, kann dies nur mithilfe der Echokardiographie eindeutig nachweisbar sein. Der Befund der regelmäßigen elektrischen Aktivität mit Wandbewegungen entspricht einer „Pseudo-PEA“ und hat eine erheblich bessere Prognose für den Patienten. [22, 23].

In den Leitlinien der European Society of Cardiology (ESC) [24] und den amerikanischen Gesellschaften American College of Cardiologists (ACC), AHA und American Society of Echocardiography (ASE) ist die Echokardiographie bereits als Schlüsseldiagnostik zum Erkennen einer akuten Lungenembolie aufgeführt [25]. Untersucht wurden Intensivpatienten, Patienten mit Hypotension [26,27] oder schwerer Dyspnoe sowie der Einsatz während der CPR [28,29].

Zur ALS-konformen Integration der Echokardiographie wurde der Algorithmus der „Focused echocardiography evaluation in life support, FEEL“ entwickelt [30,31]. Durch FEEL sollen schnell und strukturiert einige wenige Fragen beantwortet werden, um behandelbare Ursachen des Herzstillstandes aufzudecken (Abb. 3):

1. Gibt es Wandbewegungen im linken Ventrikel (LV)?
2. Liegt ein Perikarderguss (PE) vor?
3. Liegen Zeichen einer akuten Rechtsherzbelastung vor?
4. Gibt es Hinweise für eine Hypovolämie?

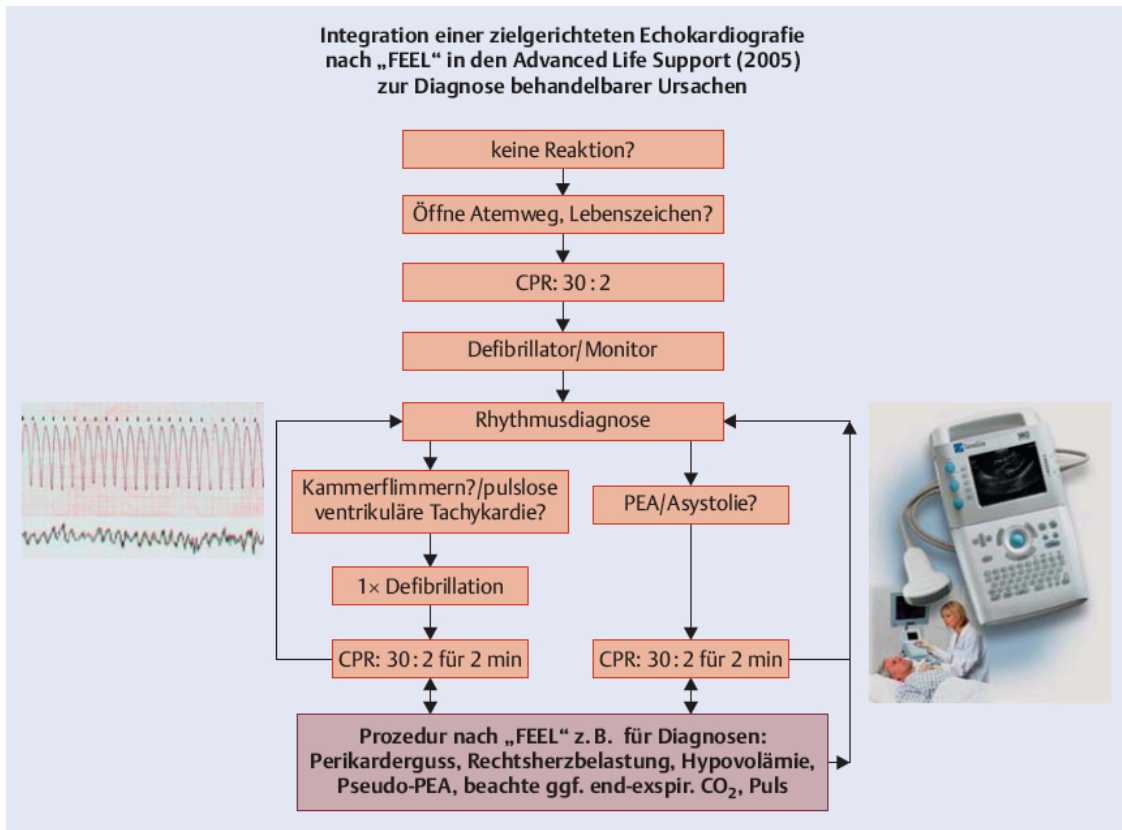


Da die Reanimation in der Regel eine „chaotische Ausnahmesituation“ darstellt, ist der FEEL Algorithmus in 10 Arbeitsschritte gegliedert (Tabelle 4). Die Durchführung von FEEL darf weder den BLS oder den ALS Algorithmus einschränken, noch darf die Unterbrechung länger als 10 Sekunden andauern [32,33].

Bisher ist es unklar, ob der Einsatz der Echokardiographie während der Reanimation Auswirkungen auf die Durchführung der Thoraxkompressionen bzw. der Beatmungen hat.

In dieser Arbeit sollte überprüft werden, ob sich die fokussierte Echokardiographie auf die Dauer der no-flow-Intervalle und die Qualität der Reanimation im Hinblick auf die Tiefe und Frequenz der Thoraxkompressionen sowie das Volumen der einzelnen Beatmungen auswirkt.

Da es zum Training des FEEL Algorithmus innerhalb realitätsnaher Szenarien kein geeignetes Lernmedium gab, war ein weiterer Teil dieses Projektes die Entwicklung und Evaluation eines Instrumentes, welches das Üben der fokussierten Echokardiographie in der Peri-Reanimation ermöglicht.

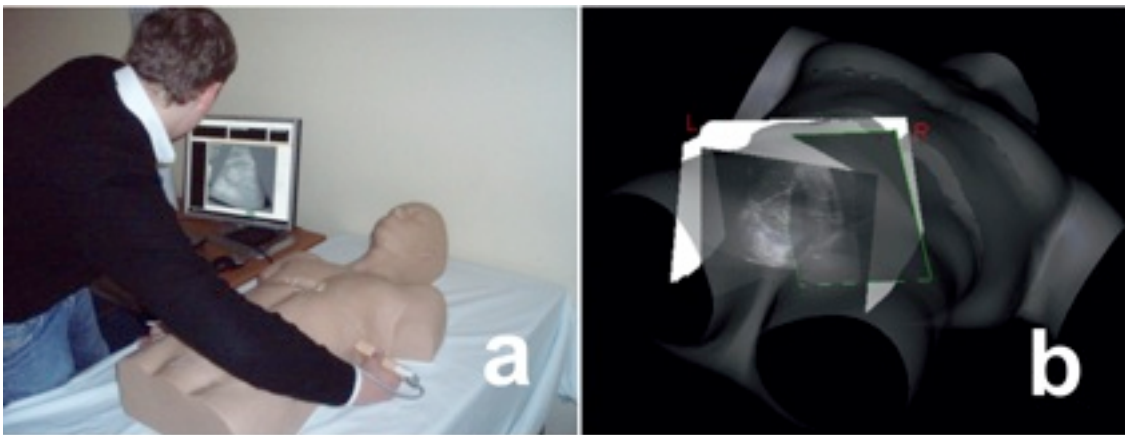


**Abb. 3 Konzeptioneller Vorschlag für eine ALS-konforme Integration von FEEL in den Ablauf der Reanimation.** Zeigt sich in der Rhythmusanalyse nach BLS und Einleitung des ALS ein nicht defibrillierbarer Herzrhythmus kann eine Untersuchung nach FEEL zum Ausschluss einer behandelbaren Ursache wie z.B. Perikarderguss, Rechtsherzbelastung, Hypovolämie oder Pseudo-PEA durchgeführt werden [18].

## 2 Methodik

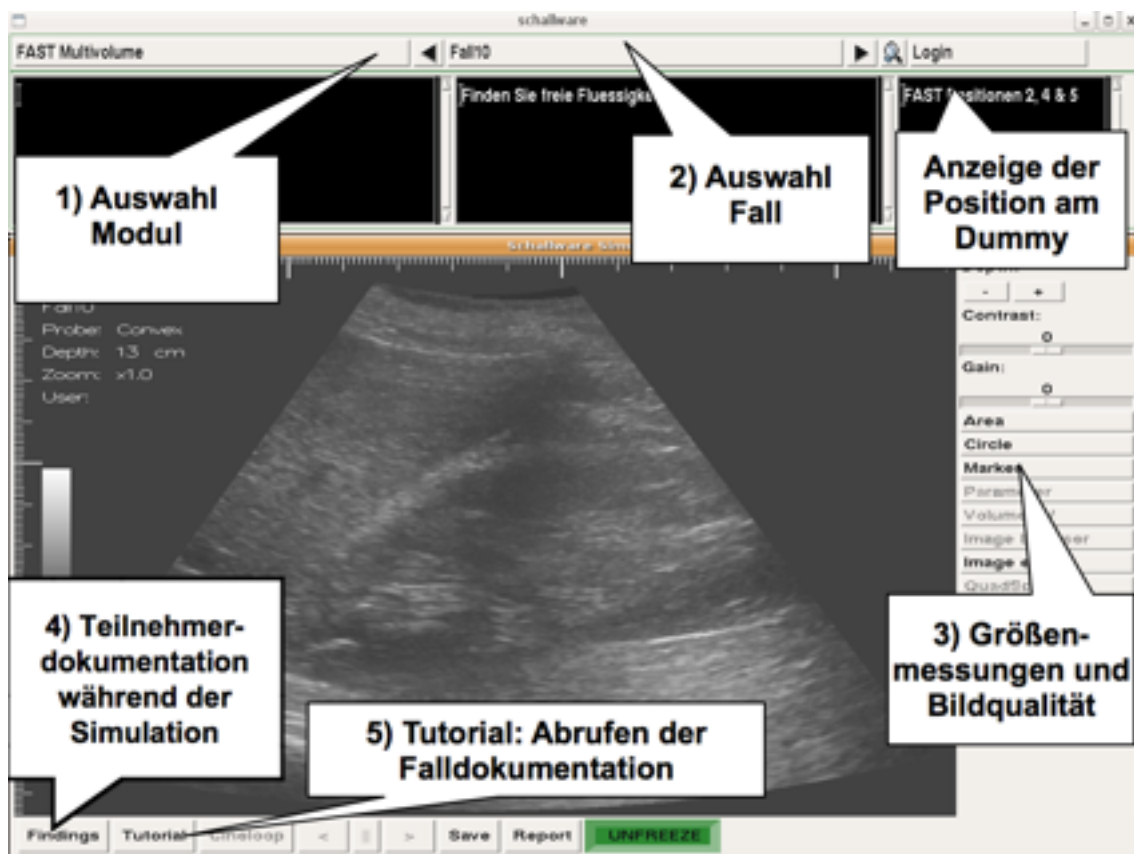
### 2.1 Ultraschallsimulation

Für dieses Projekt wurde der Ultraschallsimulator Reslice™ (Fa. Schallware GmbH, Berlin) verwendet. Er besteht aus einem leistungsstarken PC mit der Softwareplattform Ubuntu (Linux-basierte und gemeinschaftlich hergestellte, nicht-kommerzielle Software, Version 7.10, [34]), einer elektromagnetischen Lokalisationseinheit (Tracker) (Patriot Polhemus, Colchester, Vermont, USA), einem Schaumstofftorso sowie einer Sondenattrappe mit Lokalisationssender (Abb. 4).



**Abb. 4 Ultraschallsimulation.** **a** Anordnung des Ultraschallsimulators (Reslice, Fa. Schallware GmbH, Berlin) während des Studentenseminars, **b** Projektion eines 3D-Ultraschallvolumens in einen virtuellen Torso zur Illustration der Ultraschallsimulatortechnik.

Durch die Entwicklersoftware wurden die Einzelbilder derart zusammengefügt, dass Ultraschallvolumina bei beliebiger Anlotung nahezu originalgetreu untersucht werden können. Eine Bewegung des Schallkopf-Imitats erzeugt eine logisch veränderte Bilddarstellung des Organs am Monitor. Innerhalb des Programms kann der Anwender die Eindringtiefe, den Kontrast und die Helligkeit ändern. Zur Dokumentation können Standbilder angefertigt und z.B. durch einen Trainer bewertet werden (Abb. 5, 6).



**Abb. 5** „Screenshot“ der Menüführung am Ultraschallsimulator. Ähnlich wie bei einem herkömmlichen Ultraschallgerät können erzeugte B-Bilder nach dem Speichern weiter analysiert werden. Tutorials bieten die Möglichkeit eines interaktiven Lernprozesses.

**Tabelle 1: Bestandteile des Ultraschallsimulators, Aufnahmesystems und verwendete Geräte**

<b>Bauteil</b>	<b>Hersteller</b>
Ultraschallsimulator Reslice	Fa. Schallware GmbH, Berlin
PC bzw. Laptop	Hewlett-Packard, Palo Alto, Kalifornien, USA
Softwareplattform	Ubuntu, Linux-basierte und gemeinschaftlich hergestellte, nicht-kommerzielle Software, Version 7.10
Tracking System	Patriot Polhemus, Colchester, Vermont, USA
VGA2USB-LR Converter	Fa. Epiphan, Springfield, NJ, USA
Aufnahmesoftware	Schallware Acquisition 2007, Fa. Schallware, Berlin
Ultraschallgerät	Vivid-i, Fa. GE Healthcare Ultraschall GmbH, Solingen
Reanimationstrainingspuppe	„Little Anne“, „Resusci Anne“, Fa. Laerdal, Stavanger, Norwegen

## **2.2 Aufbau und Entwicklung des Moduls „FAST“**

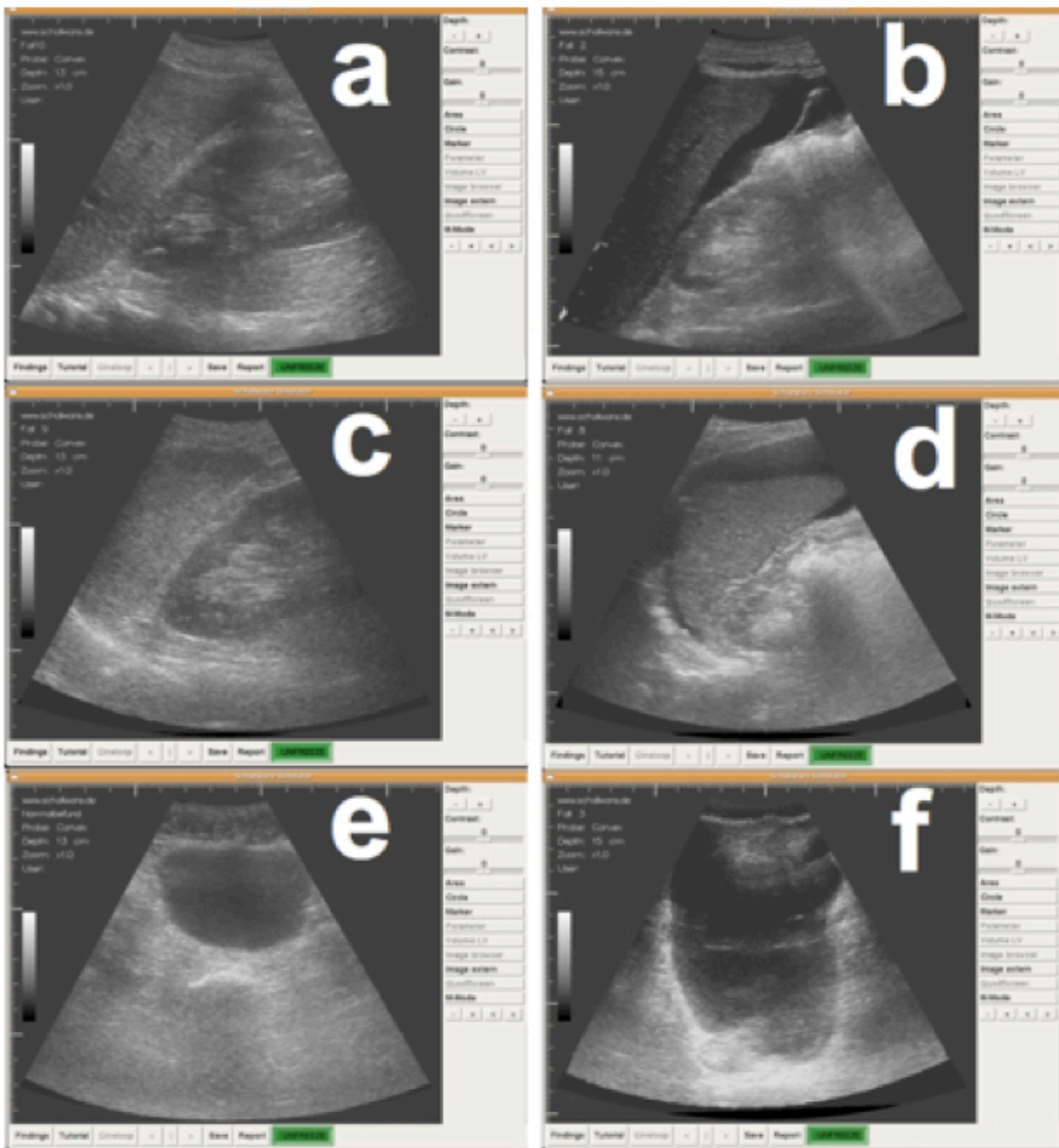
### **2.2.1 Herstellung von virtuellen Fällen**

Zur Erstellung eigener 3D-Ultraschallvolumen für den Ultraschallsimulator wurde ein Freihandaufnahmesystem mit einem mobilen high-end Ultraschallgerät (Vivid-i, Fa. GE Healthcare Ultraschall GmbH, Solingen) gekoppelt. Das Freihandaufnahmesystem bestand aus einem PC mit einer Aufnahmesoftware (Schallware Acquisition 2007, Fa. Schallware, Berlin) und einer elektromagnetischen Lokalisationseinheit. Das elektromagnetische Ortungssystem besteht aus einem Würfel, das in Form einer Hemisphäre ein Magnetfeld erzeugt. Die Ortung erfolgt über einen kleinen Sensor, der in den Raumkoordinaten  $x$ ,  $y$ ,  $z$  und den Winkeln  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  ausgelesen werden soll. Der Würfel liest dazu mit 6 oder mehr Magnetfeldsensoren seine Position und Winkel bei bekanntem Magnetfeld aus.

Für Aufnahmen wurde das Ultraschallgerät zur Bildübertragung mit hoher Bildwiederholrate von bis zu 80 „frames per second“ (fps) über einen VGA2USB-LR Converter (Fa. Epiphan, Springfield, NJ, USA) zur verlustfreien Video-Echtzeit-Komprimierung mit einem PC gekoppelt. Als Empfänger dient ein System von Patriot.

Um die Aufnahmen später originalgetreu positionieren zu können, musste die Position am unteren Ende der Ultraschallsonde in der Mitte der Kristallebene genau festgelegt sein, der Sensor befindet sich aber am oberen Ende. Durch eine Kalibrierung wurde nun der Shiftvektor von der tatsächlichen Lage des Sensors zu der gewünschten Position auf unserem rigiden Objekt (Transducer) berechnet. Hierfür wurde ein Gefäß mit Wasser aufgefüllt und ein Zielobjekt (Gummiring mit Stecknadel) auf den Grund geklebt. Die Ultraschallsonde mit dem applizierten Sensor wurde nun in das Wasser getaucht (die Sonde wurde mit einem Kondom vor Wassereintritt geschützt), um das Zielobjekt über ein B-Bild des Ultraschallgeräts mit Positionsdaten des Sensors aufzuzeichnen. Mit der Aufnahmesoftware wurde auf den erzeugten B-Bildern der Kopf der Stecknadel als immer gleicher (fixer) Messpunkt im Raum markiert. Die mathematische Formel zur Bestimmung des Shiftvektors verlangt dabei so viele verschiedene Aufnahmen des Zielobjekts wie möglich. Wichtig dabei war, dass das Zielobjekt in verschiedenen Winkeln fokussiert wurde (von oben, schräg rechts und links etc.). Das Ergebnis war der Verschiebungsvektor (Sensor zur Mitte der Kristallebene). Jetzt konnten mit der Sonde 3D Volumen aus Einzelbildern und die Ortskoordinaten des Sensors richtig zugeordnet werden.

Die Ultraschallvolumen mit Normalbefunden wurden an  $n=2$  gesunden Probanden, die pathologischen Befunde bei  $n=2$  Patienten mit kontinuierlicher ambulanter Peritonealdialyse (CAPD) (je  $n=1$  männlich,  $n=1$  weiblich) aufgenommen. Es wurde eine Abdomensonde (3C-RS curved array, 2-6 MHz) benutzt und am Ultraschallgerät zwei Bildfokuspunkte verwendet. Für die Aufnahmen wurde die elektromagnetische Lokalisationseinheit als Empfänger dicht über dem Probanden angebracht. Die Aufnahmen waren jeweils kontinuierliche Transversalanlotungen entlang der Körperachse („sweep“) an den FAST-Positionen 2, 4 und 5, d.h. an der rechten und linken Flanke und in der suprapubischen Region (Abb. 2, 6). Die Bildwiederholraten bei den Aufnahmen betragen regelmäßig mehr als 25 fps.



**Abb. 6 Aufnahmebeispiele des Ultraschallsimulatormoduls der fokussierten Sonographie bei Trauma (FAST). „Screenshots“ von typischen B-Bildern der rekonstruierten Ebenen des Ultraschallsimulators. Es handelt sich um Aufnahmen eines Ultraschallgerätes, die über den Ultraschallsimulator wiedergegeben werden können. a) Normalbefund des Morison-Pouch, b) Morison Pouch mit freier Flüssigkeit, c) Normalbefund des Koller-Pouch, d) Koller-Pouch mit freier Flüssigkeit, e) Normalbefund suprapubischer Raum (Douglas), f) suprapubischer Raum mit freier Flüssigkeit.**

Aus den Aufnahmen wurden virtuelle Fälle konstruiert und dabei Volumina des Morison- und Koller-Pouch sowie des suprapubischen bzw. Douglas-Raums zusammengefasst und virtuell in den Schaumstofftorso positioniert. Dadurch entstanden sogenannte Multivolumen, sodass innerhalb eines Falls mehrere Körperpositionen kombiniert untersucht werden können.

### 2.2.2 Studiendesign

Um die Anwendbarkeit des Ultraschallsimulators in der Ausbildung zu untersuchen, wurde ein 4-stündiges Ultraschallseminar für Studenten (Seminar A) durchgeführt. Der Ultraschallsimulator wurde zudem in ein 8-stündiges Kursprogramm über FAST für Postgraduierte (Seminar B) [35] integriert.

**Tabelle 2: Teilnehmerdaten der Seminare zur fokussierten abdominellen Sonographie für Trauma (FAST).**

	Teilnehmer	Alter (Jahren)	männlich / weiblich	Semester Median (Range)	Anästhesisten / Chirurgen
Studenten	10	22,8±1,3	6 / 4	7 (5)	-
Postgraduierte	21	37,8±7,7	17 / 4	-	17 / 4

An Seminar A nahmen n=10 Studenten der klinischen Semester ohne vorherige Ultraschallkenntnisse teil (Tabelle 2). Zu Beginn dieses Seminartyps erhielten die Teilnehmer als Lehreinheiten eine Einführung in die Grundlagen der Sonographie und in die Untersuchung nach FAST in Form von Frontalpräsentationen. Anschließend wurde in einem einstündigen Hands-on Training die FAST Prozedur an gesunden Probanden trainiert und durch einen Instruktor kontinuierlich unterstützt. Weiterhin wurde der Ultraschallsimulator und dessen Handhabung erklärt und die Benutzung anhand eines Normalbefundes trainiert. Zum Abschluss des Seminars erfolgte ein Test am Ultraschallsimulator. Jedem Studenten wurden randomisiert aus einer Auswahl von 10 Fällen n=5 Fälle zugeteilt. Es wurde eine Grenze von 60 Sekunden festgelegt, in denen die Anlotungen an den FAST Positionen 2, 4 und 5 untersucht wurden (Abb. 2, 6). Anschließend wurde auf einem



Datenerhebungsbogen der Befund angegeben und entschieden, ob freie Flüssigkeit vorlag. Insgesamt untersuchte jeder Student n=15 Anlotungen (Tabelle 3).

Ziel des Seminartyps A war eine Überprüfung der Machbarkeit für den Studentenunterricht. Mit diesen Informationen wurde ein realitätsnahes Szenario für das Seminar B entwickelt.

**Tabelle 3: Inhalt des Studentenseminars zur fokussierten abdominellen Ultraschalluntersuchung für Trauma (FAST).**

Thema	Inhalt	Dauer
Frontalvortrag	Grundlagen der Sonographie und Einführung in die FAST Untersuchung	60 Minuten
Hands-on Training	Gegenseitiges Untersuchen der Teilnehmer nach dem FAST Schema	120 Minuten
Test und Abschlussbesprechung	Untersuchen von je 3 Anlotungen in 5 Fällen	60 Minuten

Während des Seminars B durchliefen n=21 Kursteilnehmer (Tabelle 2) innerhalb eines Lernsystems mit regelmäßig wechselnden Lehrstationen ein standardisiertes FAST - Kursprogramm inklusive drei Hands-on Trainingseinheiten [35]. Die Kursteilnehmer teilten sich in n=17 Anästhesisten und n=4 Chirurgen auf. An einer der Stationen wurde Ultraschallsimulation angeboten und die Teilnehmer hatten während der ersten beiden Hands-on Trainingseinheiten die Möglichkeit sich mit der Bedienung des Ultraschallsimulators sowie sich mit je einem Fall mit normalem und pathologischem Befund vertraut zu machen. In der dritten Hands-on Trainingseinheit wurde der Ultraschallsimulator in ein Szenario integriert, indem eine Triage für den Massenansturm von Verletzten simuliert wurde. Die

Kursteilnehmer wurden angewiesen nacheinander drei gesunde Probanden mit Normalbefunden sowie zusätzlich den Torso des Ultraschallsimulators zu untersuchen. Jedem Teilnehmer wurde für das Szenario je ein Fall aus der Datenbank von 10 virtuellen Fällen des Ultraschallsimulators randomisiert zugeteilt. Für die Durchführung einer vollständigen FAST Untersuchung von allen 4 Fällen (3 Probanden, 1 Fall am Ultraschallsimulator) hatten die Teilnehmer genau 4 Minuten Zeit. Am Ende des Szenarios wurden auf einem Datenerhebungsbogen die Befundergebnisse vermerkt und ausgewertet.

## **2.3 Aufbau und Entwicklung des Moduls „periphere Nerven und Gefäße“**

### **2.3.1 Aufnahme von peripheren Nerven und Gefäßen**

Für die Aufnahmen von peripheren Nerven wurde dieselbe technische Grundausstattung wie für das Modul „FAST“ genutzt (2.2). Es wurde allerdings eine 12 MHz Linearsonde (12L) verwendet. Die Ultraschallvolumen wurden an 4 gesunden Probanden (n=2 weiblich im Alter von 26 und 24 Jahren und n=2 männlich im Alter von 17 und 24 Jahren, BMI < 30, normale Sonoanatomie, keine Komorbiditäten) aufgenommen.

Bei jedem Probanden wurden folgende Regionen der rechten Körperhälfte aufgezeichnet: das Trigonum caroticum für Vena jugularis, Arteria carotis, Weichteile und Knochen, die Interskalenregion zum Aufnehmen des Plexus brachialis und peripherer Nerven distal der Axilla (Medianus, Radialis, Ulnaris, Musculocutaneus), die Regio inguinalis für Femoralnerven und -gefäße sowie die Kniekehle mit distalem Ischiadicus und seinen Abzweigungen.

### **2.3.2 Evaluation der Aufnahmen**

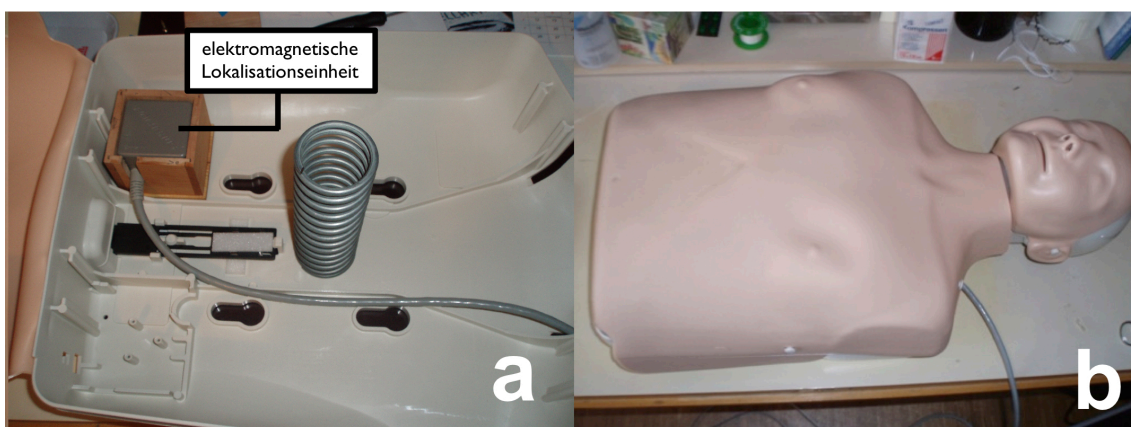
Die Qualität der rekonstruierten Bilder (=reslices) wurde mit den Original B - Mode Aufnahmen der kurzen Achse (SAX) sowie der langen Achse (LAX) verglichen. Bei jeder Positionierung der Aufnahmen wurde die Bildqualität eingehend geprüft. Die rekonstruierten Bilder wurden mit Original - 2D Videos oder 2D Bildern des Ultraschallgerätes verglichen. Durch Drehen einer 3D-UV Zielstruktur in der kurzen Achse um 90° entstand ein rekonstruiertes Bild der Struktur in der langen Achse. Auch dieses Bild wurde anschließend mit einer Originalaufnahme der langen Achse verglichen. Der Vergleich führte zu einem Einschluss oder Ausschluss der Aufnahme. Ein weiterer Test zur visuellen

Bewertung der Aufnahmequalität war nicht vorgesehen. Die Reproduzierbarkeit wurde durch das wiederholte Aufnehmen (bis zu zehn Mal) der anatomischen Strukturen kontrolliert.

## 2.4 Modul „FEEL“

### 2.4.1 Integration des Ultraschallsimulators in einen ALS Simulator

Um die fokussierte Echokardiographie während der Reanimation zu etablieren, benötigt man neben intensiven Trainingskursen auch ein geeignetes Trainingsgerät. Da es dieses Gerät zurzeit noch nicht gibt, sollte durch die Kombination aus Ultraschallsimulator und ALS Simulator ein Gerät zum kombinierten Reanimations- und Echokardiographietraining in der Peri-Reanimation entwickelt werden. Im ersten Entwicklungsschritt wurde die Reanimationspuppe „Little Anne“ (Fa. Laerdal, Stavanger, Norwegen) als Simulationspuppe genutzt. Die elektromagnetische Lokalisationseinheit des Ultraschallsimulators musste hierfür in den Torso der Simulationspuppe eingebaut werden. Zum Schutz der Lokalisationseinheit vor mechanischer Beschädigung durch die Herzdruckmassage wurde ein passendes Holzkästchen angefertigt. Das Kästchen mit der elektromagnetischen Lokalisationseinheit wurde nun an einer geeigneten Stelle im Torso der Simulationspuppe angebracht (Abb. 7).

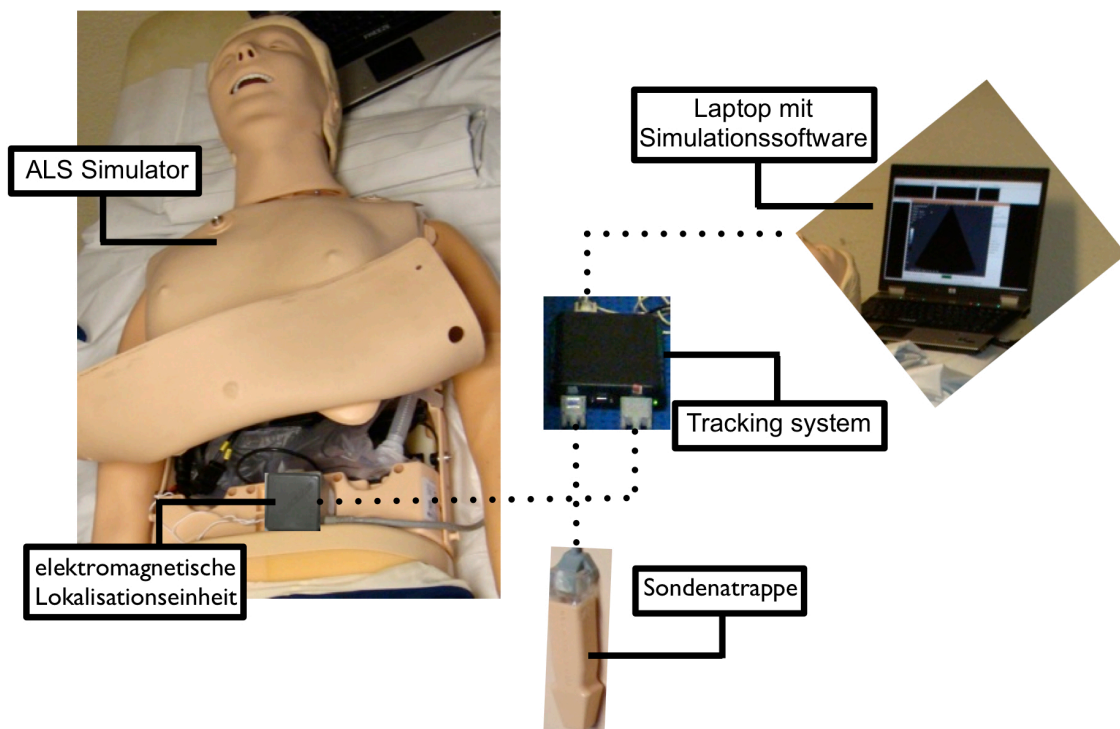


**Abb. 7 Integration der Technik des Ultraschallsimulators in einen Reanimationstrainer. a** Einbau der elektromagnetischen Lokalisationseinheit des Ultraschallsimulators in die Reanimationstrainingpuppe Little Anne (Fa. Laerdal, Stavanger, Norwegen) **b** geschlossene Ansicht.

Es wurde darauf geachtet, dass der Einbau die Durchführung der Thoraxkompressionen nicht einschränkt und auch bei Erschütterungen fest an seinem Platz verbleibt. Die einzelnen 3D - Ultraschallvolumen (Module FAST und FEEL) des Ultraschallsimulators wurden nun elektronisch an den entsprechenden Stellen der Simulationspuppe genauestens positioniert.

Als während anschließender Tests die Nutzung des Ultraschallsimulators und der Simulationspuppe ohne Funktionseinschränkungen möglich war, wurde in einem zweiten Entwicklungsschritt die elektromagnetische Lokalisationseinheit in den Torso des ALS Skilltrainers Resusci Anne (Fa. Laerdal, Stavanger, Norwegen) eingebaut. Aufgrund der beengten Platzverhältnisse wurde hier auf die Holzkästchenvariante verzichtet und die Lokalisationseinheit oberhalb der Batterie der Simulationspuppe mit doppelseitigem Klebeband fixiert. Später wurde eine Position in der Nähe des Magens der Simulationspuppe gewählt, um auch einen Batteriebetrieb des ALS-Simulators zu ermöglichen (Abb. 8). Auch hier wurde sichergestellt, dass die Funktionsfähigkeit des Skilltrainers bei nötiger Stabilität der Lokalisationseinheit nicht eingeschränkt wird.

Die Positionierung der 3D - Ultraschallvolumen wurde elektronisch auf die veränderten Gegebenheiten des Resusci Anne Advanced Skilltrainers angepasst.



**Abb. 8 Aufbau des ALS Simulators mit integriertem Ultraschallsimulator.**

## **2.4.2 Evaluation des kombinierten Ultraschall - ALS - Simulators**

Zur Evaluation des kombinierten Ultraschall - ALS - Simulators beantworteten n=29 Teilnehmer eines interdisziplinären DEGUM - Anwenderseminars „Fokussierte Echokardiographie und Sonographie in der Intensiv- und Notfallmedizin“ folgende vier Fragen nach der Methode des linear-analogen self-assessments (0% sehr schlecht, 100% sehr gut):

1. Wie realistisch war die Simulation im Hinblick auf die CPR?
2. Wie realistisch finden Sie die Ultraschallsimulation?
3. Wie bewerten Sie den kombinierten Ultraschallsimulator zum Training einer ALS-konformen Echokardiographie während der CPR?
4. Wie ist ihr Gesamteindruck von dem Szenario?

## **2.4.3 Überprüfung der Hands-off Zeiten für die Defibrillation und Echokardiographie während der Reanimation**

N=86 Teilnehmer mehrerer Kurse zur fokussierten Echokardiographie (FEEL Kurs in Siegen, FEEL-UK® Kurs in Liverpool und SMART Kurs in Mailand) nahmen 2009 im Rahmen der Studie in Zweier-Gruppen an einem verkürzten Megacodetraining an dem modifizierten ALS-Simulator (ALS-Trainer, der mit dem Ultraschallsimulator kombiniert wurde) teil. Im Verlauf des Szenarios zeigte das EKG einen Sinusrhythmus (30 Sekunden), ein Kammerflimmern (bis zur halb-automatischen Defibrillation), eine Asystolie (2 min) und eine PEA (2 min). Durch die Technik des Ultraschallsimulators (real time 3D) bestand die Möglichkeit während der CPR eine virtuelle Echokardiographie (Normalbefund oder Perikardtamponade) im subkostalen 4-Kammerblick durchzuführen. Die Teilnehmer wurden gebeten, den Defibrillator oder die Echokardiographie zu nutzen, wenn es ihrer Meinung nach indiziert war. Im Vorfeld gab es kein Training und der erste Versuch der Teilnehmer im ersten Hands-on Training (HOT-1) wurde aufgezeichnet. Nach dem letzten Szenario gab es durch den Instruktor eine Nachschau. Besonders wurde auf die richtige Integration in den ALS-Algorithmus, ohne die Hands-off Zeiten zu verlängern, hingewiesen. Vor dem zweiten Hands-on Training (HOT-2) nahmen die Teilnehmer an einer 30-minütigen Vorlesung über ALS und FEEL teil. Die Trainierenden konnten bevor

HOT-2 startete den FEEL Algorithmus zweimal üben und den Teamleader wechseln. Alle Szenarien wurden auf DVD aufgezeichnet. Anschließend wurde die Dauer der Hands-off Intervalle mit und ohne Echokardiographie sowie der Defibrillation analysiert.

#### **2.4.4 Eingliederung von FEEL in den ALS Algorithmus**

Die korrekte Durchführung der FEEL Untersuchung und deren Integration in den ALS Algorithmus durch die Teilnehmer der unter 2.4.3 durchgeführten Megacodes wurde anhand einer standardisierten Checkliste mit neun Punkten überprüft. Die Liste enthielt folgende Punkte (Tabelle 4):

- Beginn von FEEL nach frühestens zwei Minuten
- Information des Teams
- Zählen von zehn auf null
- Hinweis: „Am Ende des nächsten Zyklus führe ich eine Echokardiographie durch.“
- Sondenpositionierung schon während der Thoraxkompressionen
- Finden der richtigen Anlotungsposition des Herzens nach maximal drei Sekunden
- Hinweis an das Team: „Reanimation fortsetzen“ nach max. neun Sekunden
- rechtzeitiger Wiederbeginn der CPR
- Information des Teams über den Befund

Nach dem ersten Hands-on Training erhielten die Teilnehmer durch einen erfahrenen Instruktor ein Feedback ihrer Leistung und genaue Hinweise über die richtige Durchführung des Algorithmus.

#### **2.4.5 Auswirkungen auf die Qualität der Reanimation bei Durchführung des FEEL Algorithmus**

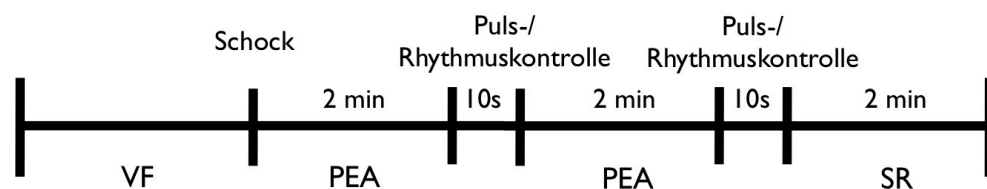
Die Studie wurde an einem modifizierten ALS Simulator (Resusci Anne, Fa. Laerdal, Stavanger, Norwegen kombiniert mit dem Ultraschallsimulator, Fa. Schallware, Berlin) mit Skillmetermessung durchgeführt.

Die Reanimationen sollten nach den Leitlinien des ERC von 2005 erfolgen.

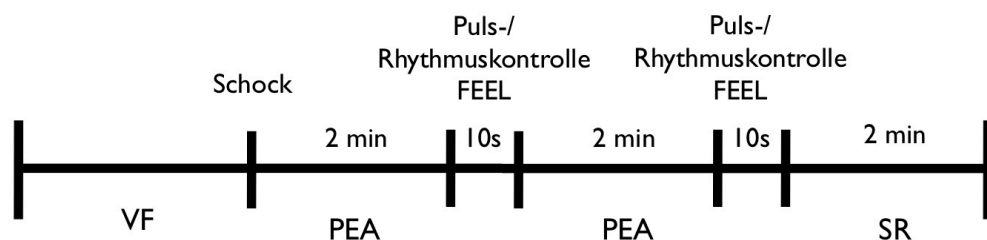
Aus einer Gruppe von n=40 Rettungsassistenten (RA), Rettungssanitätern und Studenten wurden n=20 2er-Teams gebildet. Insgesamt führte jedes Team zwei Megacode-Trainings durch und wechselte zwischen den Trainings die Positionen. Es wurde eine cross-over Studie durchgeführt. Durch

Blockrandomisation entschied sich, ob das Team als Gruppe A (-FEEL) oder als Gruppe B (+FEEL) startete. Im zweiten Megacodetraining wurde dann das jeweils andere Szenario (+FEEL oder -FEEL) durchgeführt. Vor dem Beginn der Aufzeichnung hatten alle Teilnehmer zwei Minuten Zeit, sich mit der Handhabung des ALS Simulators vertraut zu machen.

## Gruppe A: -FEEL



## Gruppe B: +FEEL



**Abb. 9 Ablaufplan eines verkürzten ALS-Trainings mit Ultraschallsimulation.** In Gruppe A wurden nach der Defibrillation nur Puls-/ Rhythmuskontrollen durchgeführt. Von Gruppe B erfolgten Untersuchungen nach dem Arbeitsablauf der fokussierten Echokardiographie unter Reanimation (FEEL)

**Tabelle 4: Strukturierter Algorithmus der fokussierten echokardiographischen Evaluation während der Reanimation (FEEL) [18].**

Phase	Schritt und praktischer Hinweis
Reguläre CPR	1. Führen Sie die Maßnahme des BLS und ALS nach den aktuellen ERC/AHA/ILCOR-Leitlinien durch. Reanimieren Sie für mindestens 5 Zyklen mit je 30 Herzdruckmassagen und 2 Beatmungen
Information des CPR-Teams	2. Teilen Sie dem CPR-Team mit: „Ich bereite eine Sonographie des Herzens vor“
Vorbereitung	3. Bereiten Sie das tragbare Ultraschallgerät vor bzw. lassen Sie es vorbereiten und überprüfen Sie es
	4. Optimieren Sie die Untersuchungsbedingungen (Lagerung des Patienten, Entkleiden, etc.), seien Sie selbst für die Untersuchung vorbereitet, sodass Sie sich optimal am Patienten befinden (z.B. kniend, Gel-beladene Ultraschallsonde in der Hand, usw.)
	5. Bitten Sie ein Mitglied des CPR-Teams, 10 Sekunden lang jeweils sekundenweise auf Null zu zählen und parallel zu versuchen, den Puls zu tasten.
	6. Weisen Sie an: „Am Ende des nächsten Zyklus die Reanimation für die Echokardiographie unterbrechen!“
Durchführung der Echokardiographie	7. Setzen Sie den Schallkopf bereits während der Herzdruckmassage subxyphoidal an
	8. Untersuchen Sie das Herz schnell (subkostal, lange Achse). Falls das Herz nach 3 Sekunden nicht identifiziert wird, brechen Sie die Untersuchung ab und weisen Sie die Fortsetzung der CPR für weitere 5 Zyklen an.  Wiederholen Sie die Untersuchung von subkostal oder wählen Sie alternativ die parasternale Anlotung im nächsten Zeitfenster.
Fortsetzung der CPR	9. Weisen Sie nach spätestens 9 Sekunden an: „Reanimation fortsetzen!“ und kontrollieren Sie die korrekte Fortsetzung.
Interpretation und Konsequenzen	10. Teilen Sie den Befund dem CPR-Team mit (frühestens bei Beginn der nächsten Herzdruckmassagen), zum Beispiel: „Das Herz zeigt Wandbewegungen“, „Herzstillstand“, „(großer) Perikarderguss“, „keine Auffälligkeiten“, „Verdacht auf Lungenembolie“, „Hypovolämie“, „kein verwertbares Untersuchungsergebnis“. Erläutern Sie das weitere Vorgehen.



#### **2.4.4.1 Beschreibung der Szenarien**

##### Gruppe A

Mithilfe des ALS-Ultraschallsimulators wurde Kammerflimmern simuliert, welches durch den Teamleader erkannt und durch Abgabe eines Schocks behandelt werden musste. Anschließend führten die Probanden für mindestens 2 Minuten ununterbrochen Thoraxkompressionen und Beatmungen nach den Leitlinien des ERC 2005 [36] durch. Nun kam eine dritte Person (der Notarzt) zu dem Szenario, erhielt eine kurze Übergabe durch den Teamleader-Rettungsassistenten, führte aber keine Echokardiographie nach FEEL durch. Danach folgte eine Rhythmus- und Pulskontrolle. Es war kein Carotispuls tastbar, im EKG zeigte sich aber eine regelmäßige elektrische Aktivität, beides zusammen im Sinne einer PEA. Insgesamt wurde dieser Zyklus zweimal wiederholt (Abb. 9).

##### Gruppe B

Mithilfe des ALS-Ultraschallsimulators wurde Kammerflimmern simuliert, welches durch den Teamleader erkannt und durch Abgabe eines Schocks behandelt werden musste. Anschließend führten die Probanden für 2 Minuten ununterbrochen Thoraxkompressionen und Beatmungen durch. Der Rhythmus konvertierte nach der Schockabgabe zu einem mit Puls vereinbarenden Rhythmus, ein tastbarer Puls blieb jedoch aus. Wie bei Gruppe A wurde auch hier eine kurze Übergabe des Einsatzes an den Notarzt durchgeführt. Hierauf führte der Notarzt eine Echokardiographie nach dem FEEL-Algorithmus durch. Als Volumen wurde ein zirkulärer Perikarderguss bereitgestellt. Der Carotispuls war nicht tastbar und im EKG zeigte sich eine regelmäßige elektrische Aktivität, beides zusammen im Sinne einer PEA. Insgesamt sollte FEEL mindestens zwei Mal während der Simulation innerhalb der ersten 6 min eingesetzt (Abb. 9) werden.

#### **2.4.4.2 Planung der Auswertung**

In beiden Gruppen wurde die Zeit der Unterbrechungen gemessen, sowie die Eindringtiefe und Frequenz der Thoraxkompressionen und das Tidalvolumen der Beatmung am Simulator gespeichert. Die Dateien wurden mindestens

einmal gesichert und innerhalb von 72 Stunden nach der Datenerhebung ausgewertet und bewertet.

Für die Auswertung wurden folgende Gruppen gebildet: Gruppe A: Megacodetraining ohne FEEL vs. Gruppe B: Megacodetraining mit FEEL. Zudem erfolgte innerhalb der Gruppe B (Megacodetraining mit FEEL) ein Vergleich der Variablen vor (Gruppe C) und nach der ersten fokussierten Echokardiographie (Gruppe D).

Als korrekte Thoraxkompressionen wurden Kompressionen mit einer Tiefe zwischen 38 und 51 mm gewertet, korrekte Beatmungen hatten ein Volumen von 500 bis 800 ml/Hub. Lagen die Leistungen der Teilnehmer unter 60% in diesen Bereichen wurden die Thoraxkompressionen beziehungsweise Beatmungen aus der Studie ausgeschlossen.

## **2.5 Auswertung und Statistik**

Zur Datenerfassung und Aufarbeitung wurden herkömmliche Datenbearbeitungsprogramme wie Microsoft Office Excel, Word, PowerPoint (Microsoft, Inc., Redmond, Washington, USA) verwendet. Die grafische und quantitative Analyse wurde mit GraphPad Prism Version 5.0 (GraphPad Software, Inc., La Jolla, CA, USA) durchgeführt.

Die Datenanalyse erfolgte mit BIAS 9.02 (BIAS, epsilon-Verlag, Frankfurt, Deutschland). Der Mann-Whitney-U-Test wurde zur Darstellung von Unterschieden zwischen den Gruppen herangezogen, da keine Normalverteilung vorausgesetzt wurde. Ein p-Wert von  $<0,05$  wurde als statistisch signifikanter Unterschied zwischen analysierten Gruppen betrachtet.

## **2.6 Genehmigung der Studie**

Vor Beginn des Projektes wurde ein Ethikantrag bei der Ethikkommission des Fachbereiches Medizin der Goethe-Universität gestellt. Nach Auskunft durch die Geschäftsführerin der Ethikkommission, Frau Dr. Gießler, ist dies für Studien in der Ausbildungsforschung aber nicht erforderlich. Alle teilnehmenden Patienten und Studienteilnehmer wurden aufgeklärt und haben ihr Einverständnis zur Teilnahme schriftlich erklärt.

## **3 Ergebnisse**

### **3.1 Modul „FAST“**

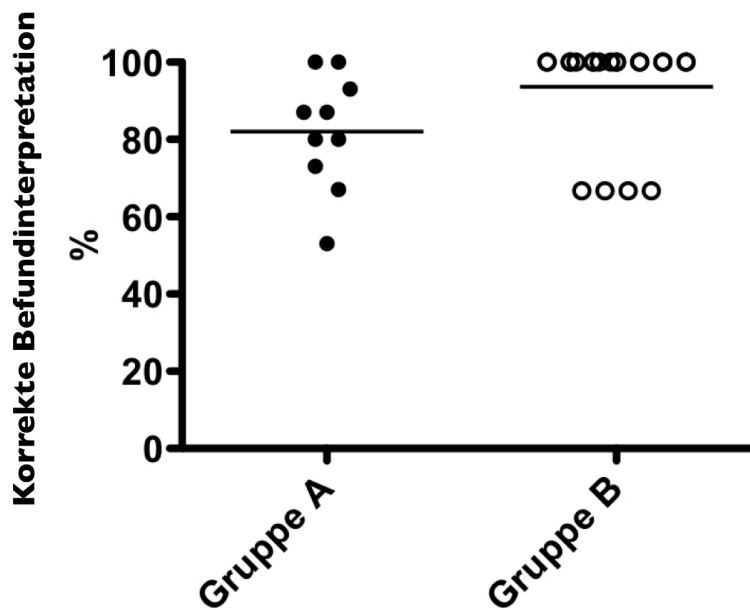
#### **3.1.1 Herstellen von virtuellen Fällen**

Insgesamt wurden n=170 Aufnahmevolumina hergestellt. Anhand von Qualitätsmerkmalen, wie Helligkeit, Überblendung, Eindeutigkeit des Befundes wurden 24 Volumina ausgewählt und n=10 Fälle mit variablen Befunden konstruiert.

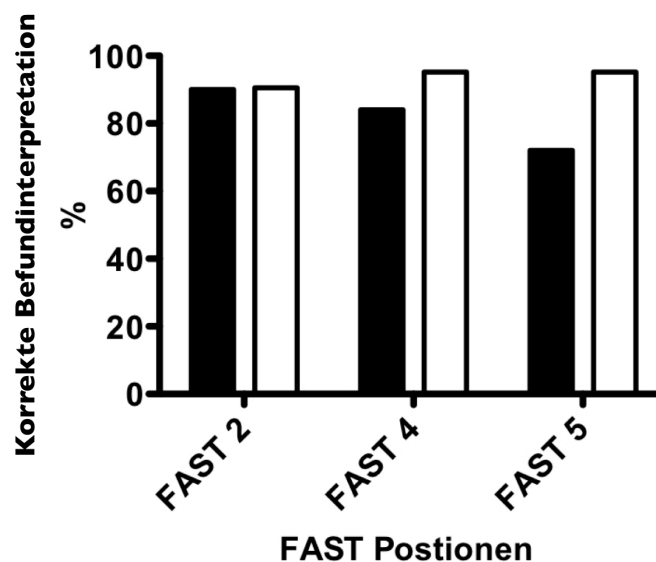
#### **3.1.2 Anwendbarkeit des Ultraschallsimulators**

Im Seminartyp A interpretierten Studenten 123/150 (82%) der Befunde aus den Anlotungen im Abschlusstest richtig. Dies entsprach auch der mittleren Leistung der einzelnen Teilnehmer von 12/15 (82%) Anlotungen (Abb. 10). Zwei Studenten konnten alle Befunde richtig bewerten. Die Anlotung nach FAST Position 2 wurde am sichersten eingeschätzt, da 45 von 50 Befunden (90%) richtig beantwortet wurden (Abb. 11).

Im Seminartyp B wurden von Ärzten nach einem intensiven FAST Training innerhalb eines realitätsnahen Unfallszenarios 59/63 (94%) der Befunde richtig bewertet (Abb. 10). Es gab keine Qualitätsunterschiede in der Befunderhebung unterschiedlicher Anlotungspositionen.



**Abb. 10 Richtige Befundinterpretationen.** Studenten (Gruppe A, Seminartyp A, n=10) bei n=150 Anlotungen und Postgraduierte (Gruppe B, Seminartyp B, n=21) bei n=63 Anlotungen. Beide Gruppen hatten keine FAST Vorkenntnisse. Postgraduierte erzielten bei einem intensiveren Seminar eine höhere Befundssicherheit.



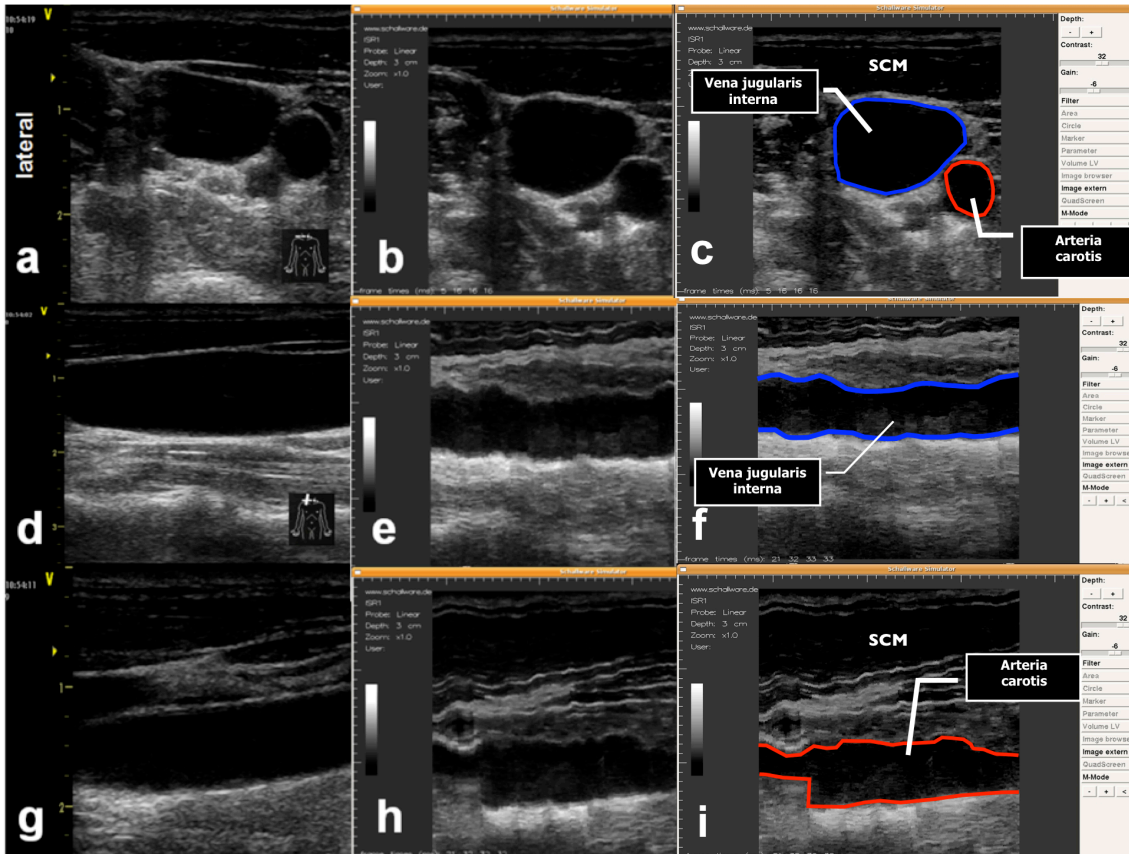
**Abb. 11 Korrekte Befunderhebung geordnet nach Anlotungsposition.** Studenten (schwarz) hatten im Vergleich zu den Postgraduierten (weiß) weniger Erfolg, die Anlotungsposition 5 nach FAST richtig auszuwerten.

### **3.2 Modul „Simulation periphere Nerven und Gefäße“**

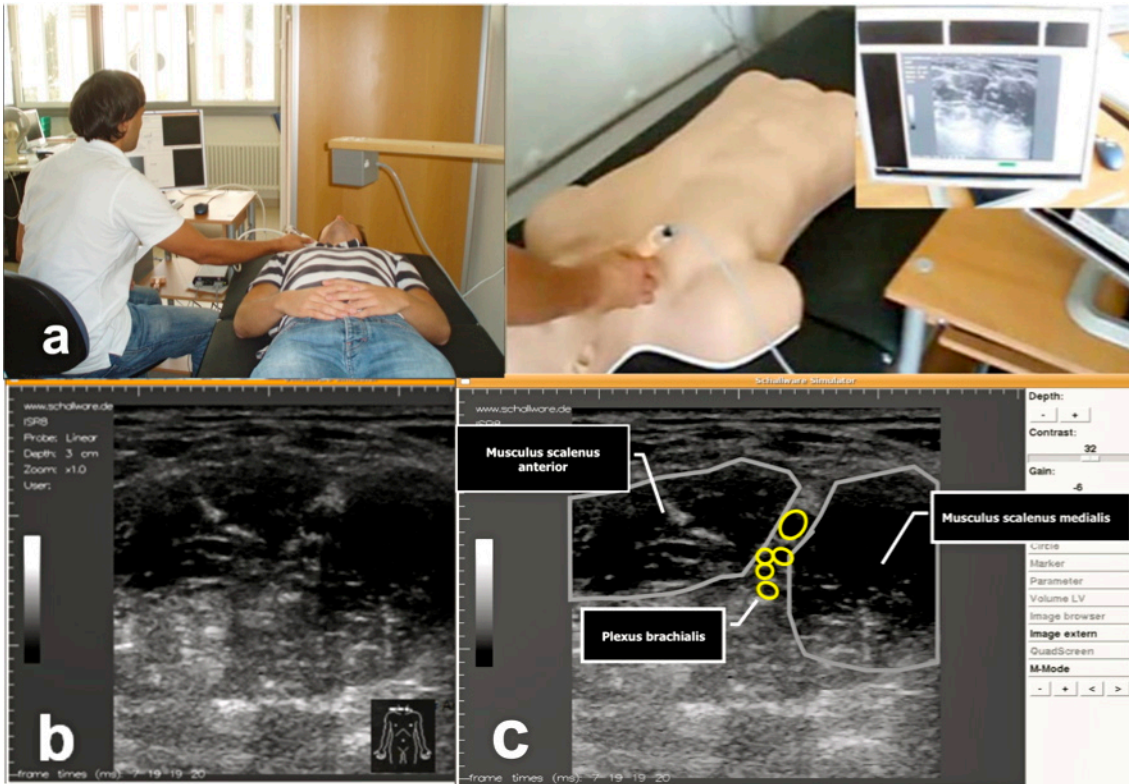
Insgesamt wurden 108 3D-Ultraschallvolumen in diesem Modul erstellt. Es wurden die Gefäße der Carotisregion (n=22), periphere Nerven der Interskalenregion (31), der Axilla (28) und der Leiste (8) sowie der distale Ischiadicus (19) an vier gesunden Probanden aufgenommen. Insgesamt konnten 37/108 (34%) der Aufnahmen aufgrund des Fehlens der Zielstruktur (3), schlechter Qualität (8), unbeabsichtigter Bewegungen der Probanden (2) und lückenhafter Aufnahmen der Ultraschallvolumen nicht weiter verarbeitet werden.

Die visuelle Darstellung der rekonstruierten Volumen der Gefäße und peripheren Nerven in der kurzen Achse zeigte eine annähernd vergleichbare Qualität zu den original B-Mode Aufnahmen der Probanden (Abb. 12 - 16). Das sonographische Erscheinungsbild der Nervenstrukturen durch die hochauflösenden Ultraschallaufnahmen in den 3D-Ultraschallvolumen konnte auch in der langen Achse dargestellt werden (Abb. 14 - 16). Auch Muskel, Faszien und Knochen wurden nahezu originalgetreu rekonstruiert (Abb. 14 - 16).

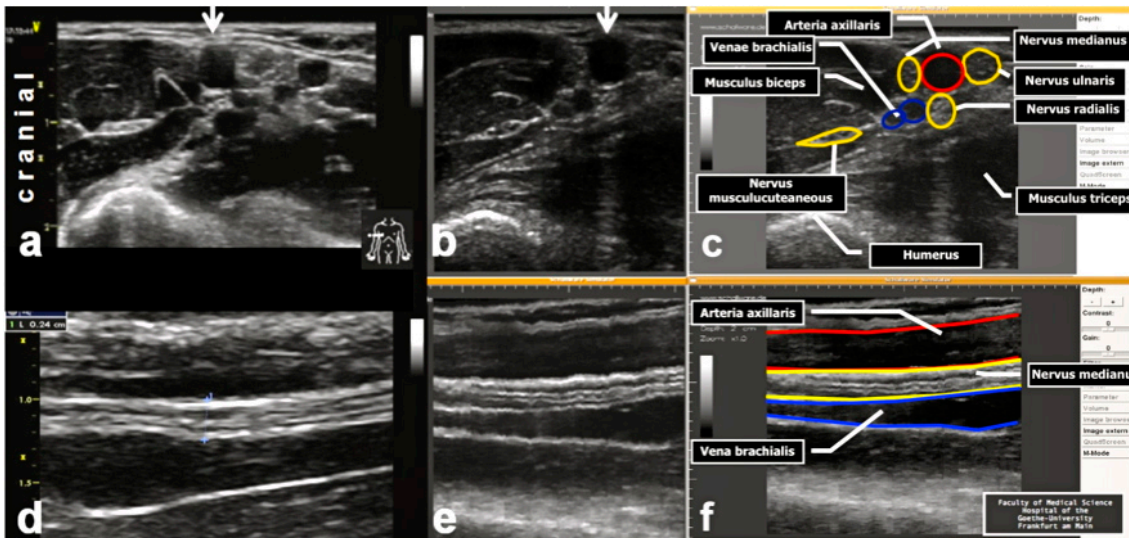
Wie erwartet, zeigten die rekonstruierten Bilder der Arteria carotis und Vena jugularis in der langen Achse eine gute Qualität. Allerdings führten die Pulsationen der Gefäße durch die statischen Aufnahmen hier zu Schwingungsartefakten. Allerdings haben Pulsationen kleinerer axillärer Gefäße kaum einen Effekt auf die Darstellung des Radialis- (Abb. 14), Medianus- oder Ulnarisnerven in der langen Achse.



**Abb. 12 Carotisregion.** Vergleich von original und rekonstruiertem Volumen des Ultraschallsimulators von Gefäßen in der Carotisregion. SCM = Musculus sternocleidomastoideus. **a** Original B-Mode Aufnahmen des Ultraschallgerätes (kurze Achse, SAX), **d, g** (lange Achse, LAX). **b, c, e, f, h, i** Rekonstruierte Bilder des Ultraschallsimulators: **b, c** SAX Volumen der Carotisregion. **e, f** LAX Volumen der Vena jugularis interna. **h, i** LAX Volumen der Arteria carotis communis.

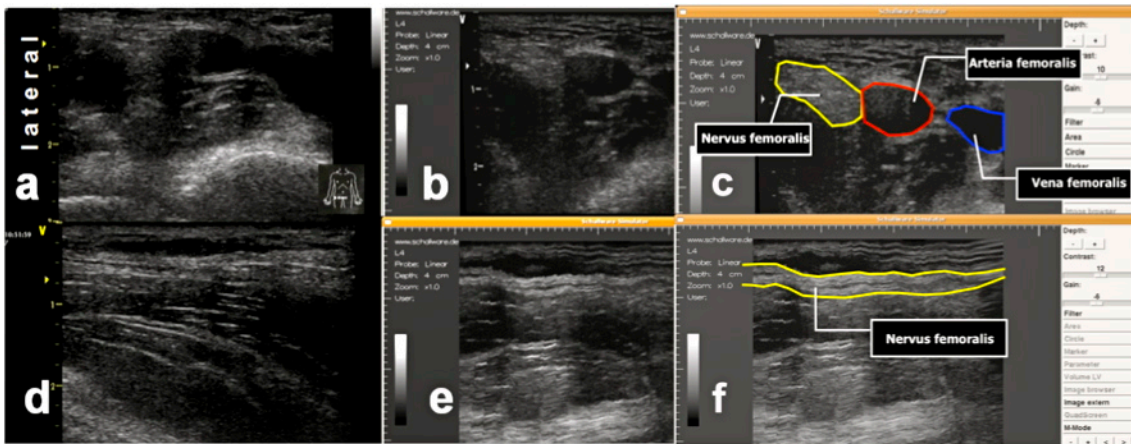


**Abb. 13 Interskalenäre Region.** a Aufbau des Aufnahmesystems des Ultraschallsimulators (oben links) und Untersuchung der interskalenären Region (oben rechts). b, c Rekonstruierte Ebenen des Ultraschallsimulators der interskalenären Ansicht des Plexus brachialis.

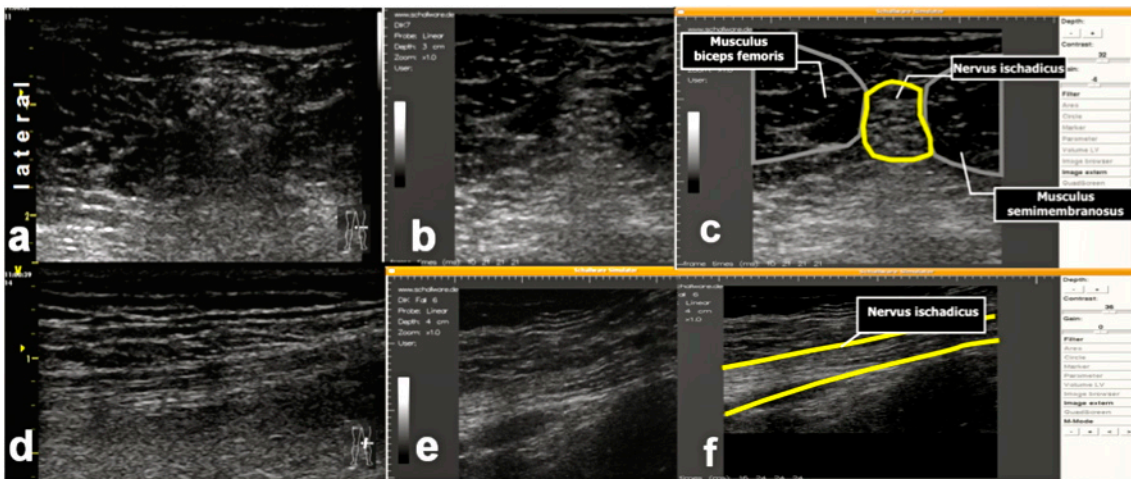


**Abb. 14 Axilläre Region.** Vergleich einer original Aufnahme der axillären Region (a, d) mit den Volumen des Ultraschallsimulators (b, c, e, f). Die Pfeile zeigen die Arteria axillaris. Rekonstruierte Ebenen (b, c SAX; e, f LAX).





**Abb. 15 Regio inguinalis.** Vergleich einer original Aufnahme (a, d) und rekonstruierter (b, c, e, f) Ebene der rechten Leistenregion mit Femoralgefäßen und Nervus femoralis in SAX (a - c) und LAX (d - f).



**Abb. 16 Distaler ischiadicus.** Vergleich einer original Aufnahme (a, d) und rekonstruierter (b, c, e, f) Ebene der rechten Kniekehle mit dem Nervus ischiadicus in SAX (a - c) und LAX (d - f).



### 3.3 Modul „FEEL“

#### 3.3.1 Integration des Ultraschallsimulators in einen ALS Simulator

Nach der erfolgreichen Kombination aus Ultraschallsimulation und ALS-Simulator, kann die Notfallsonographie in noch realistischeren Abläufen trainiert werden, ohne auf ein entsprechendes Patientenkollektiv angewiesen zu sein.

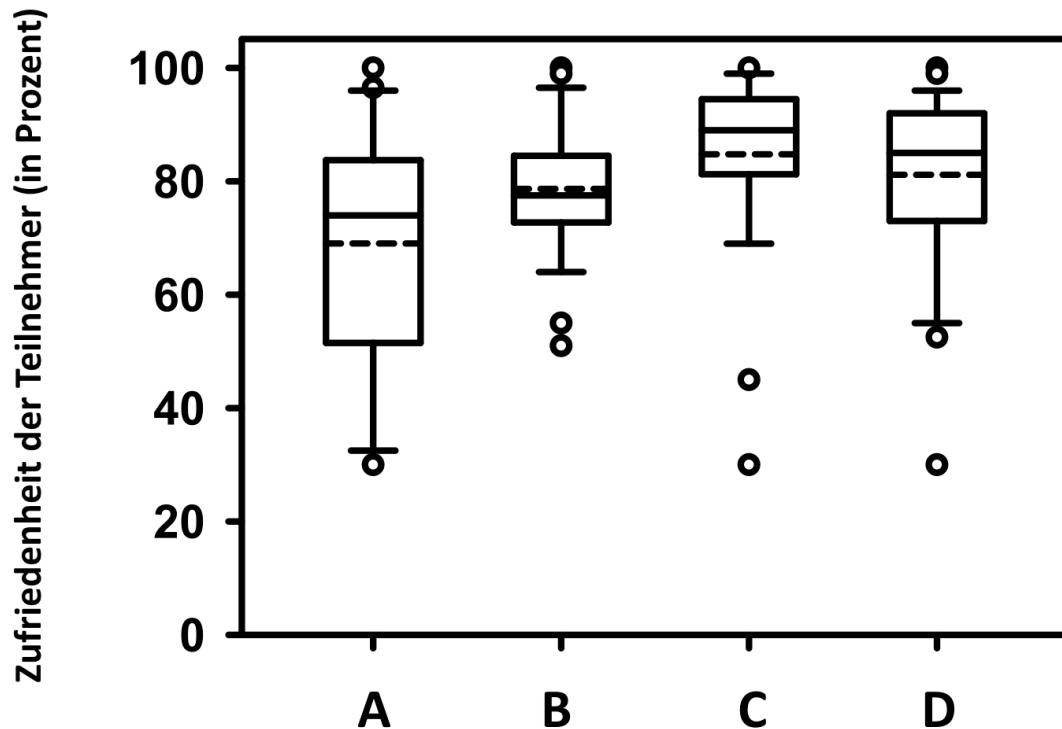
Der Einbau des Ultraschallsimulators in die Simulationspuppe führt nur zu geringen Funktionseinschränkungen des Ultraschallsimulators sowie des ALS Simulators, welche derzeit vor allem durch die Verkabelung und damit Unbeweglichkeit des Szenarios begründet sind. Die Grundfunktionen jedoch sind vollständig einsetzbar (Abb. 17).



**Abb. 17 Aufbau und Einsatz des ALS Simulators mit integriertem Ultraschallsimulator während eines Megacodetrainings.**

#### 3.3.2 Evaluation des kombinierten ALS-Ultraschallsimulators

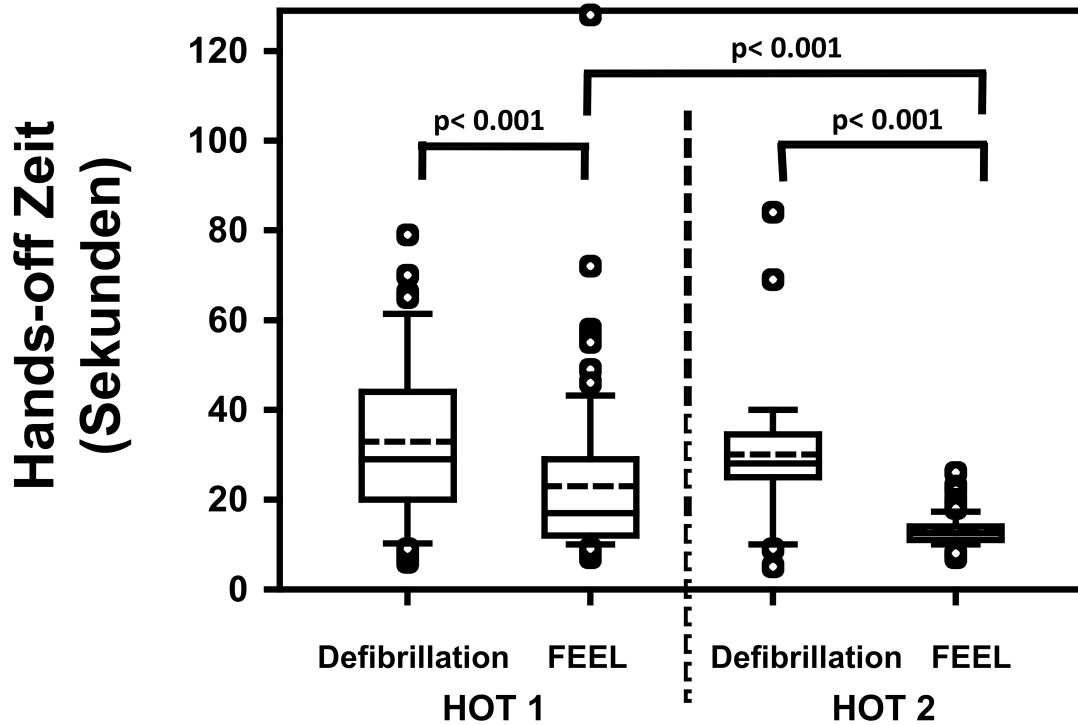
Die Teilnehmer des DEGUM Anwenderseminars fanden den Simulator im Hinblick auf die CPR und die Ultraschallsimulation realistisch (Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung,  $72,0 \pm 6,5\%$  und  $73,3 \pm 0,5\%$ ). Die Kursteilnehmer bewerteten den kombinierten Ultraschallsimulator zum Training einer ALS-konformen Echokardiographie während der CPR positiv ( $89,8 \pm 1,3\%$ ). Auch mit dem Gesamteindruck des Szenarios waren die Teilnehmer zufrieden ( $84,0 \pm 2,5\%$ ) (Abb. 18).



**Abb. 18 Evaluation des kombinierten ALS - Ultraschallsimulators.** Teilnehmer eines FEEL Ultraschallkurses (n=29) evaluierten den Ultraschall - ALS - Simulator durch linear-analoges self-assesement anhand folgender Fragen A: Wie realistisch war die Simulation im Hinblick auf die CPR? B: Wie realistisch finden Sie die Ultraschallsimulation? C: Wie bewerten Sie den kombinierten Ultraschallsimulator zum Training einer ALS-konformen Echokardiographie während der CPR? D: Wie ist ihr Gesamteindruck von dem Szenario?

### 3.3.3 Hands-off Zeiten

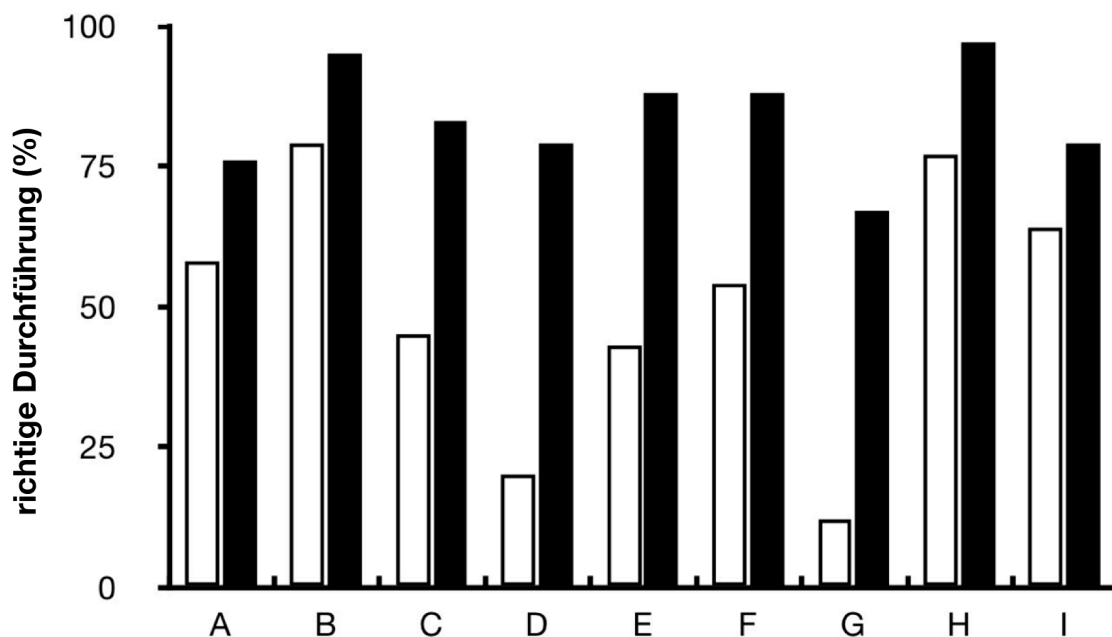
Während der simulierten Megacodetrainings waren die Unterbrechungen durch die Echokardiographie nach dem FEEL Algorithmus vergleichbar mit den Unterbrechungen für die Defibrillation (HOT 1, Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung,  $32,8 \pm 18,0s$  für die Defibrillation;  $30,0 \pm 15,8s$  für FEEL). Durch intensives Training konnten die Zeiten für die FEEL Untersuchung im zweiten Hands-on Training verkürzt werden ( $13,0 \pm 3,4s$ ,  $p < 0,01$ ), für die Defibrillation hingegen nicht ( $22,9 \pm 17,8s$ ). Die zeitliche Unterbrechungen der fokussierten Echokardiographien war im zweiten Hands-on Training erheblich geringer als die der Defibrillation (Abb. 19).



**Abb. 19 Hands-off Zeiten im Vergleich vor und nach Training.** Auf der linken Seite wird die Hands-off Zeit für die Defibrillation mit der Hands-off Zeit für die FEEL Untersuchung im ersten Hands-on Training verglichen. Auf der rechten Seite erfolgt der Vergleich der Hands-off Zeiten innerhalb des zweiten Hands-on Trainings.

### 3.3.4 Der Einfluss eines multimodalen Lernens auf die korrekte Durchführung des FEEL Ablaufes

Die Umsetzung des FEEL Arbeitsablaufes wurde in allen neun Punkten der Checkliste nach dem intensiven Feedback innerhalb der kleinen Gruppen und den Vorlesungen innerhalb des Kurses deutlich verbessert (Abb. 20).



**Abb. 20 Der Einfluss eines multimodalen Trainingssystems auf die korrekte Durchführung des FEEL Algorithmus.** Die Teilnehmer wurden anhand einer Checkliste mit neun Punkten bei der Durchführung des FEEL Algorithmus vor (weiß) und nach (schwarz) Durchlauf des Trainings bewertet. A = Durchführung der CPR für mind. 2 Minuten, B = Information des Teams, C = Mitglied des Teams zählt vor FEEL von 10 auf 0, D = Hinweis: „Am Ende des Zyklus FEEL“, E = während der Herzdruckmassage paralleles Aufsetzen des Schallkopfes, F = korrekte Untersuchung des Herzens, maximale Suche 3s, G = Hinweis nach spätestens 9 Sekunden „CPR fortsetzen“, H = korrekte Wiederaufnahme der CPR, I = Mitteilung von Diagnose und Konsequenz an das Team.

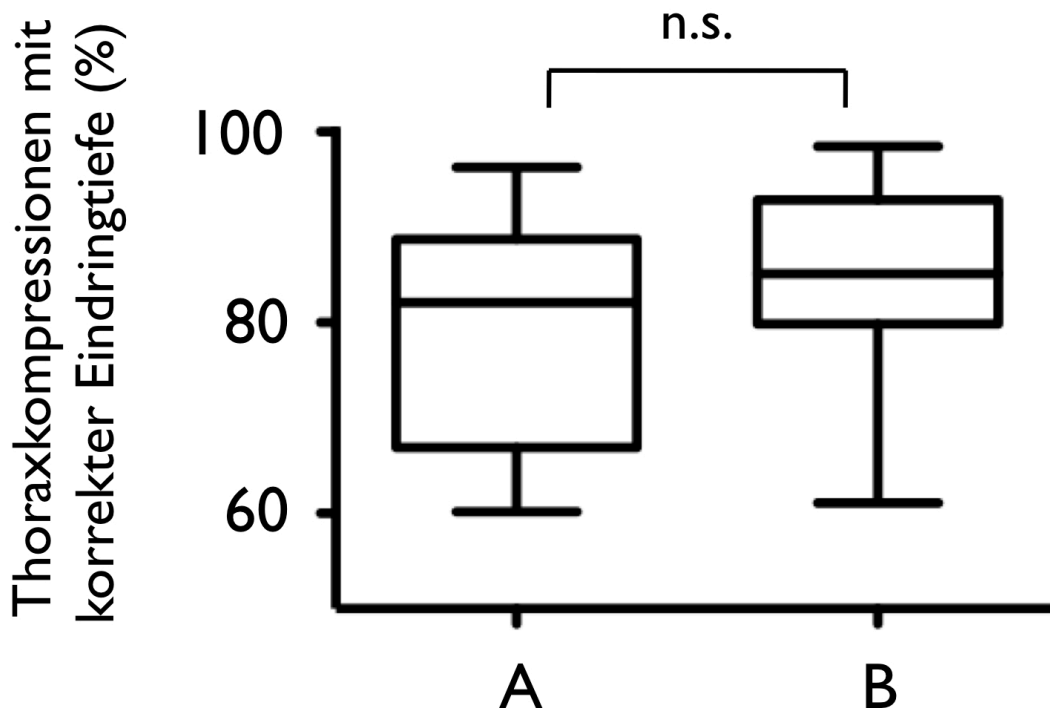
### **3.3.5 Auswirkungen des Einsatzes von FEEL auf Variablen, die die Qualität der Reanimation zeigen**

Es wurden mögliche Auswirkungen einer fokussierten Echokardiographie auf die Dauer der No-flow-Intervalle, die korrekten Eindringtiefe der Thoraxkompressionen, die Frequenz der Thoraxkompressionen und die korrekten Beatmungsvolumina untersucht. Hierzu wurde zwischen Megacodetrainings in denen nach aktuellen BLS/ALS Leitlinien reanimiert wurde (Gruppe A) und in denen zudem eine fokussierte Echokardiographie eingesetzt wurde (Gruppe B) unterschieden. Zudem wurden innerhalb der Gruppe B mögliche Veränderungen der Variablen vor der ersten Echokardiographie (Gruppe C) und danach (Gruppe D) untersucht.

Insgesamt wurden n=37 Megacodetrainings ausgewertet. Für die Durchführung des FEEL Algorithmus lagen die Hands-off Zeiten im Mittel bei  $10,2 \pm 1,9$ s. Für die Defibrillation wurde die Reanimation im Mittel  $26,7 \pm 9,4$ s unterbrochen.

Im Vergleich der korrekten Eindringtiefe zwischen der Gruppe A (mit FEEL) und der Gruppe B (ohne FEEL) konnte kein Unterschied festgestellt werden ( $79.6 \pm 12.4\%$  vs.  $85.0 \pm 9.6\%$ ) (Abb. 21). Innerhalb des FEEL Megacodetrainings zeigten sich im Vergleich vor (Gruppe C) und nach (Gruppe D) der ersten fokussierten Echokardiographie vergleichbare Ergebnisse ( $83.5 \pm 10.6\%$  vs.  $88.4 \pm 10.7\%$ ) bei der korrekten Eindringtiefe der Thoraxkompressionen (Tabelle 6).

Bei der Bewertung der Thoraxkompressionen mussten n=11 Megacodes ausgeschlossen werden, da weniger als 60% der Thoraxkompressionen innerhalb eines Megacodes die korrekte Eindringtiefe hatten.



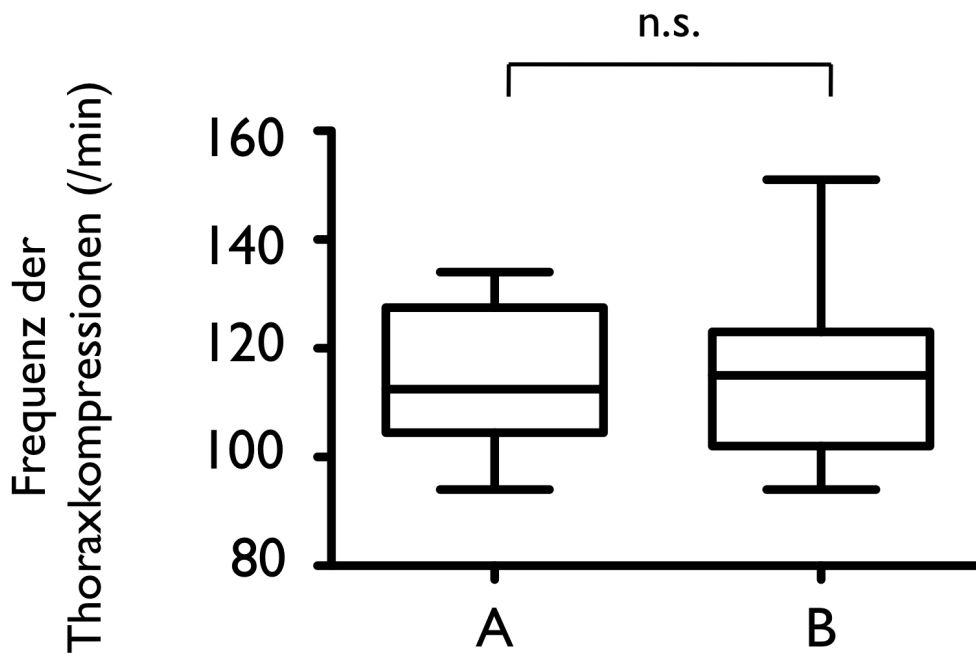
**Abb. 21 Thoraxkompressionen mit korrekter Eindringtiefe.** Anteil der Thoraxkompressionen mit einer Eindringtiefe von 38 mm bis 51 mm innerhalb der Megacodetrainings. A = Gruppe „ohne FEEL“, B = Gruppe „mit FEEL“.

Hinsichtlich der Frequenz der Thoraxkompressionen gab es keinen Gruppenunterschied (Abb. 22).

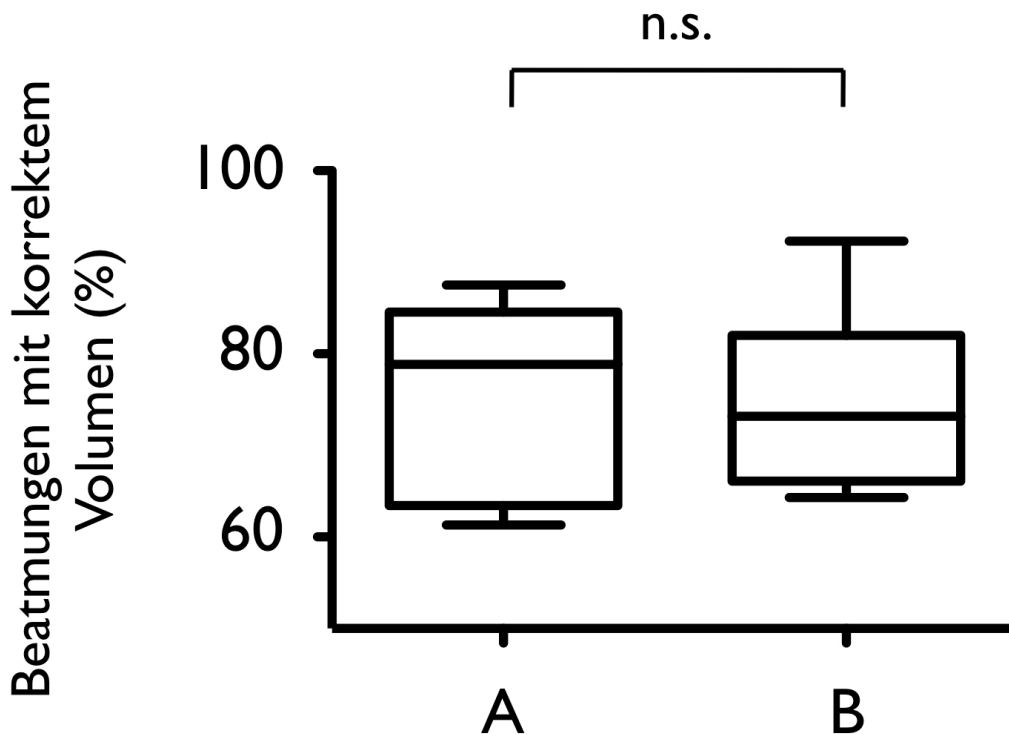
Im Vergleich zwischen Megacodetrainings mit (Gruppe A) und ohne (Gruppe B) FEEL ergab sich kein Unterschied ( $75.8 \pm 10.5\%$  vs.  $74.7 \pm 10.1\%$ ) hinsichtlich dem Anteil von korrekten Beatmungsvolumina (Abb. 23).

Auch innerhalb der FEEL Gruppe gab es keinen Unterschied bei der Abgabe von korrekten Beatmungsvolumen vor (Gruppe C) und nach (Gruppe D) der ersten FEEL Untersuchung ( $75.3 \pm 15.6\%$  vs.  $72.4 \pm 4.5\%$ ) (Tabelle 6).

Für die Analyse der Beatmungen mussten  $n=23$  Trainingseinheiten ausgeschlossen werden, da weniger als 60% der Beatmungen innerhalb eines Megacodetrainings mit einem korrekten Volumen durchgeführt wurden.



**Abb. 22 Frequenz der Thoraxkompressionen.** Vergleich der Frequenz der Thoraxkompressionen innerhalb der Megacodetrainings zwischen der Gruppe „ohne FEEL“ (A) und der Gruppe „mit FEEL“ (B).



**Abb. 23 Beatmungen mit korrektem Volumen.** Anteil der Beatmungen mit einem Volumen zwischen 500 ml und 800 ml innerhalb der Megacodetrainings. A = Gruppe „ohne FEEL“, B = Gruppe „mit FEEL“.

**Tabelle 5. Vergleich der Gruppe A (verkürztes Megacodetraining nach BLS und ALS) und Gruppe B (verkürztes Megacodetraining nach dem FEEL Algorithmus)**

Variable	Gruppe A: kein FEEL Mittelwert±SD (Median, CI 95%)	Gruppe B: mit FEEL Mittelwert±SD (Median, CI 95%)	Gruppenvergleich p-Wert
Anteil der Thoraxkompressionen mit einer Eindringtiefe zwischen 38 und 51 mm (%)	79.6±12.4 (82.1, 63.3 - 89.8)	85.0±9.6 (85.1, 78.5 - 93.9)	n.s. p=0.36
Frequenz der Thoraxkompressionen (pro min)	115.5±12.2 (112.5, 105.0 - 127.0)	114.6±14.7 (115.0, 102.0 - 123.0)	n.s. p=0.68
Anteil der Beatmungen mit einem Volumen zwischen 500 und 800 ml (%)	75.8±10.5 (78.8, 61.3 - 87.5)	74.7±10.1 (73.2, 64.3 - 92.3)	n.s. p=0.85

**Tabelle 6. Vergleich innerhalb der Gruppe B. Gruppe C (vor Einsatz der ersten FEEL Untersuchung) und Gruppe D (nach Einsatz der ersten FEEL Untersuchung)**

Variable	Gruppe C: vor FEEL Mittelwert±SD (Median, CI 95%)	Gruppe D: nach FEEL Mittelwert±SD (Median, CI 95%)	Gruppenvergleich p-Wert
Anteil der Thoraxkompressionen mit einer Eindringtiefe zwischen 38 und 51 mm (%)	83.5±10.6 (81.0, 76.4 - 94.9)	88.4±10.7 (90.9, 82.6 - 98.0)	n.s. p=0.15
Frequenz der Thoraxkompressionen (pro min)	114.7±14.2 (112.7, 101.1 - 125.7)	115.0±16.2 (118.0, 103.0 - 124.0)	n.s. p=0.88
Anteil der Beatmungen mit einem Volumen zwischen 500 und 800 ml (%)	75.3±15.6 (70.0, 60.0 - 100.0)	72.4±4.5 (72.5, 66.7 - 78.6)	n.s. p=1.0



## 4 Diskussion

In der vorliegenden Arbeit wurden Verfahren zur real time 3D-Ultraschallsimulation in der Akutmedizin und Anästhesiologie entwickelt, evaluiert und in unterschiedlichen Bereichen angewendet.

Das derzeit übliche Lernsystem für Ultraschalluntersuchungen besteht aus theoretischen und praktischen Anteilen. Im Gegensatz zum Lernen anhand von Frontalpräsentationen und dem Projizieren von Bild- oder Filmmaterial vermitteln Lehrkonzepte mit einem hohen Praxisanteil geforderte Lernziele mit höherer Nachhaltigkeit [37,38]. Mit einem Ultraschallsimulator können beliebige sonoanatomische Strukturen wiedergegeben werden. Die Simulation kann mithilfe von Instruktorenarbeit vertieft werden und es können ohne Zeitdruck die Sonoanatomie und –pathologie selbst untersucht werden. Die Technik des Ultraschallsimulators verbindet damit das Training der Sondenpositionierung und bietet das Trainieren der visuellen Perzeption und Interpretation innerhalb realistischer Notfallszenarien mittels einer dynamischen 3D-Darstellung an. Dabei kann die Untersuchung beliebig häufig wiederholt werden und eignet sich damit sowohl für die studentische Lehre als auch die Postgraduiertenausbildung.

### 4.1 Bewertung des 3D - Echtzeitvolumenmoduls „FAST“

Die FAST Ultraschalluntersuchung wird als Schlüsseldiagnostik in der Akutmedizin eingesetzt, um eine intraperitoneale Blutung nach stumpfem Bauchtrauma frühestmöglich zu identifizieren. Daher sind Trainingskonzepte entstanden, die das Training von praktischen Fertigkeiten während Hands-on Trainingseinheiten enthalten [35]. In unserer Studie wurden 2 Gruppen ohne Vorkenntnisse für FAST untersucht. Ziel der Studie war die Anwendbarkeit des Ultraschallsimulators mit den von uns hergestellten Ultraschallvolumen in der Notfallsonographieausbildung zu untersuchen. Die Ergebnisse zeigen auf, dass bei Studenten mit geringem Zeitaufwand das Lernziel der FAST Untersuchung trainiert werden kann.

Der Lernerfolg war beim studentischen Seminar noch nicht so ausgeprägt, dass eine verlässliche Befunderhebung erzielt werden konnte. Das hängt offensichtlich mit dem kurzen Umfang des Lehranteils des Seminars

zusammen. Die Präferenz der Studenten für die Anlotungsposition nach FAST 2 kann dahin gehend interpretiert werden, dass die Leber und Niere wegen ihrer Organgröße in der rechten Flanke und der Morison-Pouch leicht darzustellen sind und die Sonoanatomie an dieser Stelle am leichtesten zu vermitteln ist [39].

Knudson et al. stellte eine ähnliche Technologie für die Ausbildung zu FAST bei Postgraduierten vor [40] und zeigte, dass das Erlernen von Durchführung und Interpretation einer FAST Untersuchung vergleichbar gut am Simulator erlernt werden kann, wie bei Probanden und CAPD Patienten oder mithilfe der Demonstration von Video-Clips. Salen et al. [41] verglich ebenfalls bei Postgraduierten in ähnlicher Weise die Simulatortechnik mit einer realen Patientenuntersuchung während des FAST Trainings. Dabei wurden zwar vergleichbare Ergebnisse für den Lernerfolg festgestellt, jedoch fiel die Teilnehmerzufriedenheit beim Training an Probanden und CAPD Patienten deutlich besser aus. Unsere Ergebnisse der Postgraduierten bei der Interpretation eines Befundes lagen deutlich höher als die von Salen (94% vs. 80%). Es ist zu vermuten, dass dies mit einem noch intensiveren Training des zugrunde gelegten FAST Kurskonzeptes zusammenhängt. Ein wichtiger Fortschritt unserer Methode im Vergleich zu Salen und Knudson war insbesondere, dass die FAST Untersuchung innerhalb eines Multivolumens untersucht werden konnte, ohne dass für jede weitere Anlotungsposition ein neuer Fall angewählt werden musste. Das bedeutet, dass die Durchführung der Anlotungssequenz und Befunderhebung ähnlich wie im FAST Algorithmus in kurzer Abfolge angewendet werden kann. Bei den von Salen und Knudson verwendeten Simulatoren war dies technisch nicht möglich, da nur einzelne Volumina nacheinander abgerufen werden konnten. Eine Limitation der Studien der anderen Autoren, wie auch der unseren ist, dass nur kurz nach einem intensiven Trainingsseminar innerhalb eines Posttests der Wissensstand überprüft wurde. Nach Shackford [42] müssen zur Erhaltung der Kenntnisse und Fertigkeiten mindestens 50 FAST Untersuchungen pro Jahr mit mindestens fünf pathologischen Befunden durchgeführt werden, um Untersuchungsergebnisse mit hoher Befundsicherheit zu erzielen.

Ein Ultraschallsimulator kann ein Training an Probanden oder Patienten nicht vollständig ersetzen. Mit Aufnahmen des Ultraschallsimulators, auch mit Multivolumina können nur Teile des Körpers virtuell untersucht werden. Er kann

allerdings als Ergänzung für die Ausbildung und Vorbereitung insbesondere im Hinblick auf Pathologien und anatomische Varianten gut verwendet werden. Die Technik der Ultraschallsimulation kann sich als zusätzliche patienten-unabhängige Methode für die Überprüfung zum Erhalt der Fähigkeiten in der Notfallsonographie anbieten.

Daher wäre es denkbar den Ultraschallsimulator einzusetzen, um den Kenntnisstand von Ärzten, die FAST anwenden, im Sinne von Refresherseminaren oder Re-Zertifizierungen als Maßnahmen für die Qualitätssicherung regelmäßig zu überprüfen.

#### **4.2 Ultraschallsimulation peripherer Nerven**

Diese Studie wurde geplant, um die Machbarkeit der Ultraschallsimulation von Gefäßen und peripheren Nerven aufzuzeigen. Im Hinblick auf die klinische Anwendbarkeit der Ergebnisse kann die Ultraschallsimulation als innovative Methode in der Ausbildung angesehen werden [10-12, 39] und die Anwender auf spezielle Anwendungen in der ultraschallgeführten Regionalanästhesie (UGRA) vorbereiten [43].

Es zeigt sich, dass Ultraschallaufnahmen auch von Gefäßen und peripheren Nerven als 3D - Ultraschallvolumen gut rekonstruierbar sind. Nach unserem Kenntnisstand ist dies weltweit die erste Ultraschallsimulator - basierte Methode. Die hochauflösende sonographische Darstellung der Nervenstrukturen [44] kann beibehalten werden. Die 3D - Ultraschallvolumen sind zum Studium der Sonoanatomie, des Handlings der Ultraschallsonde, der Beurteilung der Bildebene bei der UGRA und der sonoanatomischen Landmarken für spezielle Blocktechniken sehr geeignet. Zudem besteht die Möglichkeit des Trainings in out-of-plane und in-plane Blickrichtung, was einen wichtigen funktionellen Aspekt des Trainings für UGRA darstellt.

Als nächster Entwicklungsschritt steht die Erweiterung der Fallzahlen an, um anatomische Varianten und pathologische Befunde besser darstellen zu können. Diese sind besonders für die axilläre und interskalenäre Region beschrieben [19,45]. Die Aufnahme von pathologischen Befunden, wie eine erweiterte Axilla, cervikale Lymphknoten, Neurinome der peripheren Nerven oder Plexus, Kalzifikationen der Muskel oder Hämatome und Ödeme ist denkbar, da sie seltene Befunde in der UGRA darstellen.

Es gibt eine Vielzahl von Limitationen dieser Ultraschalltechnologie. Einen Teil stellt die Positionierung der 3D-Ultraschallvolumen oder 3D-Multivolumen dar, da es anatomische Unterschiede der Probanden im Gegensatz zu der standardisierten Größe des Ultraschall Mannequins gibt. Zum jetzigen Zeitpunkt ist kein Sondenkompressionstest zur Unterscheidung von Arterien und Venen möglich. Eine Aufnahme der Pulsationen von Arterien ist noch nicht möglich. An der Integration von Aufnahmen einer Farbdoppleruntersuchung und deren Rekonstruktion in 3D - Ultraschallvolumen wird gearbeitet. Zwar gibt es einen softwaregestützten Nadel-Dummy zur Veranschaulichung der Technik, aber es kann weder eine reale Nadel in den Dummy eingeführt werden, noch kann das Einspritzen von Lokalanästhetikum in diesem System visualisiert werden. Allerdings könnte in Zukunft durch die Aufnahme von real-time 3D-Ultraschallvolumen (4D) diese wichtige Technik vielleicht darstellbar werden.

#### **4.3 Der Ultraschallsimulator im Reanimationstraining**

Bisher gab es kein geeignetes Trainingsgerät, mit dem die fokussierte Echokardiographie in der Peri-Reanimation innerhalb realistischer Szenarien trainiert werden kann. Zudem wurde bisher nicht untersucht, ob der Einsatz einer fokussierten Echokardiographie nach dem FEEL Algorithmus sich auf die Qualität der Thoraxkompressionen und Beatmungen während der Reanimation auswirkt.

Die Ultraschallsimulation könnte eine wichtige Problemlösung für den Einsatz der fokussierten Echokardiographie in der Peri-Reanimation darstellen, da sie die Identifikation behandelbarer Ursachen eines nicht defibrillierbaren Rhythmus trainierbar machen würde. Zu diesen Ursachen zählen zum Beispiel die Lungenembolie, der Perikarderguss und die Hypovolämie. In den neusten Leitlinien des ERC von 2010 wird erstmals der Hinweis gegeben, dass die Echokardiographie bei ALS-konformen Einsatz einen Nutzen haben könnte [21]. Für den ALS-konformen Einsatz der Echokardiographie stellten Breitkreutz et al. den Algorithmus der „Focused echocardiography evaluation in life support, FEEL“ vor [46]. Allerdings ist für die ALS-konforme Durchführung ein Arzt mit einer Ausbildung über den FEEL Algorithmus nötig [47]. Erst nach einem intensiven Training konnten die Untersucher die Unterbrechungen der Thoraxkompressionen in der Nähe der geforderten maximalen

Unterbrechungsdauer von 10 Sekunden halten [48]. Speziell die Integration der Echokardiographie in den Advanced Life Support (ALS) bei Reanimation ist diffizil und trainingsintensiv, da hier die Zeit ohne Herzdruckmassage (no-flow-time, NFT) minimiert werden muss.

Ziel dieses Projektes war deshalb mithilfe des Ultraschallsimulators ein Instrument zum realitätsnahen Training des FEEL Algorithmus zu entwickeln. Anschließend wurden die Auswirkungen des FEEL Algorithmus auf die Qualität der Reanimation untersucht und ob eine fokussierte Echokardiographie innerhalb der aktuellen Leitlinien des ERC angewendet werden kann.

Zur Entwicklung eines geeigneten Trainingsgerätes kombinierten wir den Ultraschallsimulator mit einem herkömmlichen ALS-Simulator und evaluierten ihn anschließend im Rahmen eines DEGUM Notfallsonographiekurses. Zur Analyse möglicher Auswirkungen auf die Qualität der Reanimation führten wir verkürzte Megacodetrainings mit Studenten, Rettungssanitätern und Rettungsassistenten durch. Hier wurden die Variablen Eindringtiefe und Frequenz der Thoraxkompressionen und Beatmungsvolumina untersucht.

Die Integration des Ultraschallsimulators in die Simulationspuppe führt nur zu geringen Funktionseinschränkungen des Ultraschallsimulators sowie des ALS Simulators, welche derzeit vor allem durch die Verkabelung und damit Unbeweglichkeit des Szenarios begründet sind. Die Grundfunktionen jedoch sind vollständig einsetzbar. Der kombinierte ALS-Ultraschall-Simulator wurde von den Teilnehmern des Notfallsonographiekurses als realitätsnaher Simulator zum Training der fokussierten Echokardiographie in der Reanimation eingeschätzt.

Bei den Hands-off Zeiten zeigte sich, dass die fokussierte Echokardiographie innerhalb von 10 Sekunden durchgeführt werden kann. Die Untersuchungsdauer lag hier im Median bei  $10 \pm 1,9$  Sekunden. Für die Defibrillation wurde die Reanimation zum Vergleich im Median für  $27 \pm 9,4$  Sekunden unterbrochen.

Bei der Untersuchung der Auswirkungen der fokussierten Echokardiographie auf die Qualität der Reanimation zeigte sich, dass sich die Qualität der Reanimation bei den untersuchten Zielparametern Eindringtiefe und Frequenz der Thoraxkompressionen sowie Beatmungsvolumen im Vergleich mit Reanimationen ohne fokussierte Echokardiographie nicht unterscheiden. Bei

der Eindringtiefe der Thoraxkompressionen zeigte sich sogar eine leichte Tendenz zur Verbesserung des Anteils von Thoraxkompressionen mit korrekter Eindringtiefe. Ein Grund hierfür könnte die Einführung eines weiteren Algorithmus in die Reanimation sein. Hierdurch könnte das CPR-Team noch besser organisiert werden.

Die Integration des Ultraschallsimulators in einen ALS Simulator stellt eine vollkommen neue Methode dar, die vor Beginn dieser Arbeit 2009 noch nie beschrieben wurde. Der Vorteil dieser Methode ist die Möglichkeit des parallelen Trainings der Reanimation und der Echokardiographie mit originalgetreuen real time 3D-Ultraschallbefunden des Herzens innerhalb realistischer Reanimationsszenarien. Der kombinierte ALS-Ultraschall-Simulator kann durch die Integration von traumasonographischen Befunden auch für das Schockraum- und präklinische Traumatraining verwendet werden. Der ALS-Ultraschall-Simulator wird regelmäßig innerhalb realitätsnaher Szenarien während unserer Notfallsonographiekurse eingesetzt.

Die Ultraschallsimulation kann ein Training am realen Patienten mit dessen anatomischen Varianten aber nicht ersetzen, sondern ist eher als additive Lernmethode zu sehen. Dies liegt daran, dass das Mannequin des Ultraschallsimulators zum Beispiel eine bestimmte Körperform vorgibt und sich reale Menschen in ihrem Körperbau und der Körperfülle zum Teil stark unterscheiden und die Untersuchungsbedingungen dadurch erschwert werden können.

Ilper et al. konnte bereits im Hinblick auf die Überprüfung des Einflusses einer fokussierten Echokardiographie und die Anzahl und Dauer der No-flow-Intervalle zeigen, dass die fokussierte Echokardiographie ALS-konform innerhalb einer Reanimation eingesetzt werden kann [49]. Durch den Einsatz des kombinierten ALS-Ultraschall-Simulators und die Erweiterung der Studie mit der Untersuchung der Variablen Eindringtiefe der Thoraxkompressionen, Frequenz der Thoraxkompressionen und Beatmungsvolumina konnten wir den ALS-konformen Einsatz einer fokussierten Echokardiographie nach dem FEEL Algorithmus weiter bestätigen.

Das System des kombinierten ALS-Ultraschallsimulators enthält noch einige Limitationen. Das bisher kabelgebundene System des ALS-Ultraschallsimulators schränkt das Training innerhalb mobiler Szenarien zurzeit ein. Die Einführung einer kabellosen Verbindung der elektromagnetischen Lokalisationseinheit mit dem Computer würde den Einsatz des Simulators während realistischer Szenarien verbessern, ist aus unserer Sicht technisch aber noch nicht ausgereift. Hier sollte ein Schwerpunkt weiterer Entwicklungen liegen.

Eine hohe Anzahl von Megacode-Trainings wurden nach Studienplanung ausgeschlossen, da die durchgeführten Thoraxkompressionen und Beatmungen zu mehr als 60% nicht im vorgegeben Bereich (Eindringtiefe zwischen 38 und 51 mm, Beatmungsvolumen 500 - 800 ml) lagen. Ein Grund könnte der offensichtliche Unterschied zwischen dem Einsatz an einem realen Menschen und einer Simulationspuppe sein. Möglicherweise könnte die 2-minütige Gewöhnungsphase für die Teilnehmer zu kurz gewesen sein. Einige Reanimationen wurden ausgeschlossen, weil nach den ERC Leitlinien von 2005 [36] die Eindringtiefe der Thoraxkompressionen über 5cm zu tief war. Nach den aktuellen Leitlinien des ERC von 2010 wird allerdings eine Drucktiefe von 5-6 cm vorgegeben [50].

Ein weiterer Grund, vor allem bei der Auswertung der Beatmungsvolumen, könnte die fehlerhafte Registrierung durch die ALS-Simulationspuppe sein.

Eine andere mögliche Erklärung für die hohe Anzahl an auszuschließenden Megacodetrainings könnte die mangelnde Qualität der Reanimation durch die teilnehmenden Probanden sein [51,52]. Deshalb ist bei aller Zunahme der apparativen Möglichkeiten im Reanimationsablauf dringend zu fordern, dass den Basismaßnahmen bei z.B. der CPR (effiziente Herzdruckmassage, Beatmung etc.) ein zentraler Fokus eingeräumt wird [53].

## **Zusammenfassung**

In der vorliegenden Arbeit wurde die real time 3D - Ultraschallsimulation für den Einsatz in der Akutmedizin untersucht und weiterentwickelt.

### **Hintergrund**

Die Ultraschallsimulation stellt eine neue Lernmethode für die Ultraschalluntersuchung dar. Es kann die korrekte Anlotung, die Interpretation und die Durchführung der Untersuchung patientenunabhängig trainiert werden.

Damit eignet sich die Ultraschallsimulation besonders für den Bereich der Notfallsonographie, da hier aufgrund der akuten Erkrankungen nur eingeschränkte Lehrmöglichkeiten zur Verfügung stehen.

Dieses Projekt setzt sich aus vier Teilen zusammen. Es sollten Module zum Training des fokussierten Assessments mit Sonographie bei Traumapatienten (FAST) und der Sonographie peripherer Nerven und Gefäße entwickelt werden. Der dritte Bereich bestand aus der technischen Integration des Ultraschallsimulators in eine herkömmliche ALS-Trainingspuppe, um dann im vierten Abschnitt die Auswirkungen der fokussierten echokardiographischen Evaluation während der Reanimation auf deren Qualität mit dem kombinierten Ultraschall-ALS-Simulator zu überprüfen.

### **Methodik**

Zur Entwicklung der Module für die fokussierte abdominelle Sonographie bei Traumapatienten wurde das Freihandaufnahmesystem des Ultraschallsimulators mit einem high-end Ultraschallgerät gekoppelt. Die 3D-Ultraschallvolumen wurden durch Transversalanlotungen an gesunden Probanden und Patienten mit kontinuierlicher Peritonealdialyse aufgenommen und Multivolumina in einen Schaumstofftorso mithilfe eines elektromagnetischen Trackingsystems positioniert. Die Anwendbarkeit des Ultraschallsimulators wurde jeweils während eines studentischen Ultraschallseminars und eines Ultraschallkurses für Postgraduierte überprüft.

Für die Module zum Training der Sonographie peripherer Nerven und Gefäße wurde mit dem oben genannten System Volumen von verschiedenen Körperregionen gesunder Patienten aufgenommen, innerhalb des Torsos positioniert und durch einen erfahrenen Ultraschallanwender mit Originalultraschallaufnahmen verglichen.



Zur Integration des Ultraschallsimulators in einen ALS-Simulator musste die elektromagnetische Lokalisationseinheit des Ultraschallsimulators innerhalb des ALS Simulators so positioniert werden, dass Thoraxkompressionen weiterhin problemlos möglich sind und die Funktion des Ultraschallsimulators nicht gestört wird.

Für die Überprüfung der Auswirkungen einer fokussierten Echokardiographie auf die Qualität der Reanimation führten in der Studie Rettungsassistenten, Rettungssanitäter und Studenten in 2er Teams jeweils zwei Reanimationsabläufe durch. Der FEEL Algorithmus wurde von einem in FEEL eingewiesenen Notarzt unangekündigt während der CPR angewendet. Die Variablen Eindringtiefe der Thoraxkompressionen, Frequenz der Thoraxkompressionen und das Volumen pro Maskenbeatmung wurden als Güte der CPR angesehen und ausgewertet.

### **Ergebnisse**

Für das Training der FAST Untersuchung konnten mehrere Module mit pathologischen und normalen Sonographiebefunden des Abdomens erstellt und von Studenten sowie Ärzten am Simulator richtig interpretiert werden.

Die Entwicklung von nahezu originalgetreuen Aufnahmen peripherer Nerven und Gefäße stellt eine vollkommen neue Methode zum Training der ultraschallgestützten Regionalanästhesie dar.

Erstmals wurde ein Ultraschallsimulator in einen ALS-Simulator integriert und evaluiert. Beide Geräte können als Einheit komplikationslos genutzt werden.

Bei der Untersuchung der Auswirkungen des FEEL Algorithmus auf die Qualität der Reanimation zeigten sich keine Unterschiede bei den analysierten Variablen.

### **Schlussfolgerung**

Durch das Projekt konnte der Ultraschallsimulator als neue Lernmethode im Bereich der Notfallsonographie weiterentwickelt und etabliert werden. Der Simulator wird nun regelmäßig in Ultraschallkursen für Studenten und Ärzte eingesetzt, ohne das Training am realen Patienten zu ersetzen.

Neben der Ausbildung kann der Ultraschallsimulator auch zur Überprüfung der Kenntnisse von Notfallsonographieanwendern im Sinne einer Qualitätssicherung und Re-Zertifizierung genutzt werden. Die Kombination aus ALS- und Ultraschallsimulator eignet sich, um eine ALS-konforme Echokardiographie zu trainieren.

## Abstract

**Background.** Ultrasound is an integral part of emergency diagnostics. Ultrasound simulation is a new device to train the combination of handling an ultrasound probe and performing a real time examination with direct interpretation of ultrasound images. Thereby training was more independent of models and patients and also could address real-life scenarios within training courses. Furthermore, ultrasound simulation is of strong interest, because it can provide a large case number and thus provide teaching on anatomical variations and pathology.

This project consists out of four parts. In the first part a module „Diagnosis of free intra abdominal fluid“ for the education in trauma ultrasound should be developed. Then regarding education in ultrasound guided regional anesthesia, we aimed to develop 3-dimensional ultrasound volumes (3D-UV) of peripheral nerves and vessels for ultrasound simulation. The aim of the third part of this project was to develop an adapted product by integrating the ultrasound simulator into an ALS-Simulator to get an educational tool for the focused echocardiographic evaluation in life support and peri-resuscitation of emergency patients. At the last part of this project we want to analyze the influence of echocardiography on the quality of resuscitation.

**Methods.** To create the modules „Diagnosis of free intra abdominal fluid“ and „peripheral nerves“ a free-hand recording system as part of an ultrasound simulation system was coupled to a high-end ultrasound device. 3D-UV were recorded as transverse parallel planes from healthy models and patients with continuous ambulatory peritoneal dialysis (free abdominal fluid). After that the volumes were positioned with an electromagnetic tracking system into a mannequin on identical anatomical sites. By using developer software, single B-Mode 3D-UV were combined into 3D-multivolumes (MV). Original short and long axis B-Mode planes were compared with the reconstructed planes (reslices).

To integrate the ultrasound simulator the electromagnetic tracking system was placed into the ALS-Simulator without deranging its function. All modules of the

ultrasound simulator were positioned at the modified areas. The system was evaluated by emergency physicians during a critical care ultrasound course.

To verify the impact of focused echocardiography on the quality of resuscitation teams of two paramedics walk through two resuscitation scenarios. The FEEL algorithm was done by one emergency physician during one of the scenarios. To assess the quality of resuscitation we checked the variables depth of chest compression, rate of chest compression, ventilation volume.

**Results.** We were able to develop multiple modules with normal and pathological ultrasound findings for abdominal trauma ultrasound and proof the principle of ultrasound simulation for the education in ultrasound of peripheral nerves and vessels.

After the first integration of the ultrasound simulator into an „full scale“ ALS-Simulator ever, both parts can be used without any problems as one device and was evaluated favorably by emergency physicians.

At the last part of our project we can show that there is no influence on the quality of resuscitation by focused echocardiography.

**Conclusion.** With this project the ultrasound simulator was enhanced and established as a new method of education in critical care ultrasound. The ultrasound simulator takes part in ultrasound courses for medical students and physicians without replacing real patients. Additionally the ultrasound simulator can be used to check the skills of ultrasound using physicians.

## Abkürzungsverzeichnis

AHA	American Heart Association
ALS	Advanced Life Support
BLS	Basic Life Support
CAPD	continuous ambulatory peritoneal dialysis
CPR	cardio-pulmonale Reanimation
EKG	Elektrokardiogramm
ERC	European Resuscitation Council
FAST	fokussiertes Assessment mit Sonographie bei Trauma
FEEL	fokussierte echokardiographische Evaluation bei Life Support
FPS	frames per second
HOT	Hands-on Training
LAX	long axis
LV	linker Ventrikel
MV	Multivolume
NFT	no-flow-time
PE	Perikarderguss
PEA	Pulslose Elektrische Aktivität
SAX	short axis
SpO2	periphere Sauerstoffsättigung
UGRA	ultraschallgestützte Regionalanästhesie
UV	Ultraschallvolumen

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Kreislauf des Lernens	5
Abbildung 2: Anlotungspunkte FAST	7
Abbildung 3: Konzeptioneller Vorschlag für eine ALS-konforme Integration von FEEL in den Ablauf der Reanimation	11
Abbildung 4: Ultraschallsimulation	12
Abbildung 5: „Screenshot“ der Menüführung am Ultraschallsimulator	13
Abbildung 6: Aufnahmebeispiele des Ultraschallsimulatormoduls der fokussierten Sonographie bei Trauma (FAST)	16
Abbildung 7: Integration der Technik des Ultraschallsimulators in einen Reanimationstrainer	20
Abbildung 8: Aufbau des ALS Simulators mit integriertem Ultraschallsimulator	21
Abbildung 9: Ablaufplan eines verkürzten ALS - Trainings mit Ultraschallsimulation	24
Abbildung 10: Richtige Befundinterpretationen	29
Abbildung 11: Korrekte Befunderhebung geordnet nach Anlotungsposition	29
Abbildung 12: Carotisregion	31
Abbildung 13: Interskalenäre Region	32
Abbildung 14: Axilläre Region	32
Abbildung 15: Regio inguinalis	33
Abbildung 16: Distaler ischiadicus	33
Abbildung 17: Aufbau und Einsatz des ALS Simulators mit integriertem Ultraschallsimulator während eines Megacodetrainings	34
Abbildung 18: Evaluation des kombinierten ALS - Ultraschallsimulators	35
Abbildung 19: Hands-off Zeiten im Vergleich vor und nach Training	36
Abbildung 20: Der Einfluss eines multimodalen Trainingssystems auf die korrekte Durchführung des FEEL Algorithmus	37
Abbildung 21: Thoraxkompressionen mit korrekter Eindringtiefe	39
Abbildung 22: Frequenz der Thoraxkompressionen	40
Abbildung 23: Beatmungen mit korrektem Volumen	40

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Bestandteile des Ultraschallsimulators, Aufnahmesystems und verwendete Geräte	14
Tabelle 2: Teilnehmerdaten der Seminare zur fokussierten abdominellen Sonographie für Trauma (FAST)	17
Tabelle 3: Inhalt des Studentenseminars zur fokussierten abdominellen Ultraschalluntersuchung für Trauma (FAST)	18
Tabelle 4: Strukturierter Algorithmus der fokussierten echokardiographischen Evaluation während der Reanimation (FEEL)	25
Tabelle 5: Vergleich der Gruppe A (verkürztes Megacodetraining nach BLS und ALS) und Gruppe B (verkürztes Megacodetraining nach dem FEEL Algorithmus)	41
Tabelle 6: Vergleich innerhalb der Gruppe B. Gruppe C (vor Einsatz der ersten FEEL Untersuchung) und Gruppe D (nach Einsatz der ersten FEEL Untersuchung)	41

## Literaturverzeichnis

---

- 1 Chang E, Simpson D. The Circle of Learning: Individual and Group Processes. *Education Policy Analysis Archives* 1997;5(7)
- 2 Ziv A, Small SD, Wolpe PR. Patient safety and simulation-based medical education. *Med Teach* 2000;22(5):489-495.
- 3 Leedom DK, Simon R. Improving Team Coordination: A Case for Behavior-Based Training. *Military Psychology* 1995;7(2):109-122
- 4 Khan K, Pattison T, Sherwood M. Simulation in medical education. *Med Teach* 2011;33(1):1-3.
- 5 i Gardi T, Christensen UC, Jacobsen J, Jensen PF, Ording H. How do anaesthesiologists treat malignant hyperthermia in a full-scale anaesthesia simulator? *Acta Anaesthesiol Scand* 2001 Sep;45(8):1032-1035.
- 6 Neumann M, Mayer G, Ell C, Felzmann T, Reingruber B, Horbach T, Hohenberger W. The Erlangen Endo-Trainer: life-like simulation for diagnostic and interventional endoscopic retrograde cholangiography. *Endoscopy* 2000 Nov;32(11):906-910.
- 7 Ferlitsch A, Glauninger P, Gupper A, Schillinger M, Haefner M, Gangl A, Schoefl R. Evaluation of a virtual endoscopy simulator for training in gastrointestinal endoscopy. *Endoscopy* 2002 Sep;34(9):698-702.
- 8 Cotin S, Dawson SL, Meglan D, Shaffer DW, Ferrell MA, Bardsley RS, Morgan FM, Nagano T, Nikom J, Sherman P, Waltermann MT, Wendlandt J. ICTS, an interventional cardiology training system. *Stud Health Technol Inform* 2000;70:59-65.
- 9 Ruessler M, Weinlich M, Müller MP, Byhahn C, Marzi I, Walcher F. Simulation training improves ability to manage medical emergencies. *Emerg Med J* 2010 Okt;27(10):734-738.
- 10 Baier P, Scharf A, Sohn C. Der Echtzeit-Ultraschallsimulator: Eine neue Methode zum Training in der Ultraschalldiagnostik. *Z Geburtshilfe Neonatol.* 2001;205(6):213-217.
- 11 Terkamp C, Kirchner G, Wedemeyer J, Dettmer A, Kielstein J, Reindell H, Bleck J, Manns M, Gebel M. Simulation of abdomen sonography. Evaluation of a new ultrasound simulator. *Ultraschall Med.* 2003;24(4):239-234.

- 12 Schallware, URL: <http://www.schallware.de>
- 13 American College of Emergency Physicians. Use of ultrasound imaging by emergency physicians. *Ann Emerg Med*. 2001;38(4):469-470.
- 14 Kimura A, Otsuka T. Emergency center ultrasonography in the evaluation of hemoperitoneum: a prospective study. *J Trauma*. 1991;31(1):20-23.
- 15 Rozycki GS, Shackford SR. Ultrasound, what every trauma surgeon should know. *J Trauma*. 1996;40(1):1-4.
- 16 Heegaard W, Plummer D, Dries D, Frascone RJ, Pippert G, Steel D, Clinton J. Ultrasound for the air medical clinician. *Air Med. J* 2004 Apr;23(2):20-23.
- 17 Walcher F, Weinlich M, Conrad G, u. a. Prehospital ultrasound imaging improves management of abdominal trauma. *Br J Surg*. 2006;93(2):238-242.
- 18 Breitzkreutz R, Ilper H, Seeger F, Walcher F. Ultraschall für Notfälle: Anwendungen im Rettungsdienst. *Notfallmedizin up2Date*. 2008;3(03):273-296.
- 19 Sites BD, Chan VW, Neal JM, Weller R, Grau T, Koscielniak-Nielsen ZJ, Ivani G. The American Society of Regional Anesthesia and Pain Medicine and the European Society of Regional Anaesthesia and Pain Therapy joint committee recommendations for education and training in ultrasound-guided regional anesthesia. *Reg Anesth Pain Med* 2010;35(2 Suppl):S74-80.
- 20 Xu D, Abbas S, Chan VWS. Ultrasound phantom for hands-on practice. *Reg Anesth Pain Med*. 2005;30(6):593-594.
- 21 Nolan JP, Soar J, Zideman DA, Biarent D, Bossaert LL, Deakin C, Koster RW, Wyllie J, Böttiger B. European Resuscitation Council Guidelines for Resuscitation 2010 Section 1. Executive summary. *Resuscitation* 2010 Okt;81(10):1219-1276
- 22 American Heart Association guidelines for cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care. Part 7.2: Management of cardiac arrest. *Circulation* 2005; 112: IV58–IV66.
- 23 Salen P, Melniker L, Chooljian C et al. Does the presence or absence of sonographically identified cardiac activity predict resuscitation outcomes of cardiac arrest patients? *Am J Emerg Med* 2005; 23: 459–462.



- 24 Torbicki A, Perrier A, Konstantinides S et al. Guidelines on the diagnosis and management of acute pulmonary embolism: the Task Force for the Diagnosis and Management of Acute Pulmonary Embolism of the European Society of Cardiology (ESC). *Eur Heart J*. 2008; 29: 2276-2315.
- 25 Cheitlin MD, Armstrong WF, Aurigemma GP. ACC/AHA/ASE 2003 Guideline Update for the Clinical Application of Echocardiography: summary article. A report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (ACC/AHA/ASE Committee to Update the 1997 Guidelines for the Clinical Application of Echocardiography). *J Am Soc Echocardiogr*. 2003; 16: 1091-1110.
- 26 Jones AE et al., Randomized, controlled trial of immediate versus delayed goal-directed ultrasound to identify the cause of nontraumatic hypotension in emergency department patients. *Crit Care Med* 2004; 32: 1703–1708.
- 27 Tayal VS, Kline JA. Emergency echocardiography to detect pericardial effusion in patients in PEA and near-PEA states. *Resuscitation* 2003; 59: 315–318.
- 28 Niendorff D, Rassias A, Palac R, Beach ML, Costa S, Greenberg M. Rapid cardiac ultrasound of inpatients suffering PEA arrest performed by nonexpert sonographers. *Resuscitation* 2005; 67: 81-7
- 29 Bocka J, Overton DT, Hauser A. Electromechanical dissociation in human beings: An echocardiographic evaluation. *Ann Emerg Med* 1988; 17: 450-452.
- 30 Breikreutz R, Walcher F, Seeger FH. Focused echocardiographic evaluation in resuscitation management: concept of an advanced life support-conformed algorithm. *Crit. Care Med*. 2007;35(5 Suppl):S150-161.
- 31 Breikreutz R, Uddin S, Steiger H, Ilper H, Steche M, Walcher F, Via G, Price S. Focused echocardiography entry level: new concept of a 1-day training course. *Minerva Anesthesiol*. 2009;75(5):285-292.
- 32 Deakin CD, Nolan JP, Soar J, Sunde K, Koster RW, Smith GB, Perkins GD. European Resuscitation Council Guidelines for Resuscitation 2010 Section 4. Adult advanced life support. *Resuscitation* 2010;81(10):1305-1352.

- 33 Soar J, Perkins GD, Abbas G, Alfonzo A, Barelli A, Bierens JJLM, Brugger H, Deakin CD, Dunning J, Georgiou M, Handley AJ, Lockett DJ, Paal P, Sandroni C, Thies K-C, Zideman DA, Nolan JP. European Resuscitation Council Guidelines for Resuscitation 2010 Section 8. Cardiac arrest in special circumstances: Electrolyte abnormalities, poisoning, drowning, accidental hypothermia, hyperthermia, asthma, anaphylaxis, cardiac surgery, trauma, pregnancy, electrocution. *Resuscitation* 2010;81(10):1400-1433.
- 34 Ubuntu, URL: <http://www.ubuntu.com>
- 35 Walcher F, Kirschning T, Brenner F, Stier M, Rüsseler M, Müller M, Ilper H, Heinz T, Breitzkreutz R, Marzi I. Schulung in Notfallsonographie bei Trauma - Konzept eines eintägigen Kursprogramms. *Anaesthesist*. 2009;58(4):375-378.
- 36 Nolan JP, Deakin CD, Soar J, Böttiger BW, Smith G. European Resuscitation Council guidelines for resuscitation 2005. Section 4. Adult advanced life support. *Resuscitation* 2005;67 Suppl 1:S39-86.
- 37 Sweller J. Cognitive Load Theory, learning difficulty, and instructional design. *Learning and Instruction*. 1994
- 38 Sisley AC, Johnson SB, Erickson W et al. Use of an Objective Structured Clinical Examination (OSCE) for the assessment of physician performance in the ultrasound evaluation of trauma. *J Trauma* 1999; 47(4):627-631
- 39 Schellhaas S, Stier M, Walcher F, Adili F, Schmitz-Rixen T, Breitzkreutz R. Notfallsonographietraining am Ultraschallsimulator. *Notfall & Rettungsmedizin* 2009;12(8):613-618.
- 40 Knudson MM, Sisley AC. Training residents using simulation technology: experience with ultrasound for trauma. *J Trauma*. 2000;48(4):659-665.
- 41 Salen P, O'Connor R, Passarello B, Pancu D, Melanson S, Arcona S, Heller M. Fast education: a comparison of teaching models for trauma sonography. *J Emerg Med*. 2001;20(4):421-425.
- 42 Shackford SR, Rogers FB, Osler TM, Trabulsky ME, Clauss DW, Vane DW. Focused abdominal sonogram for trauma: the learning curve of nonradiologist clinicians in detecting hemoperitoneum. *J Trauma*. 1999;46(4): 553-562; discussion 562-564.

- 43 Breikreutz R, Schellhaas S, Schmitz-Rixen T, Kessler P, Walcher F. Ultrasound simulation of peripheral nerves: development of a novel technology for training in regional anaesthesia. *Critical Ultrasound Journal* 2009;1(1):5-11.
- 44 Silvestri E, Martinoli C, Derchi LE, Bertolotto M, Chiaramondia M, Rosenberg I. Echotexture of peripheral nerves: correlation between US and histologic findings and criteria to differentiate tendons. *Radiology*. 1995;197(1):291-296.
- 45 Retzl G, Kapral S, Greher M, Mauritz W. Ultrasonographic findings of the axillary part of the brachial plexus. *Anesth. Analg* 2001 Mai;92(5):1271-1275.
- 46 Breikreutz R, Walcher F, Seeger FH. Focused echocardiographic evaluation in resuscitation management: concept of an advanced life support-conformed algorithm. *Crit. Care Med* 2007 Mai;35(5 Suppl):S150-161.
- 47 Breikreutz R, Price S, Steiger HV, Seeger FH, Ilper H, Ackermann H, Rudolph M, Uddin S, Weigand MA, Müller E, Walcher F. Focused echocardiographic evaluation in life support and peri-resuscitation of emergency patients: a prospective trial. *Resuscitation* 2010 Nov;81(11):1527-1533.
- 48 Price S, Ilper H, Uddin S, Steiger H, Seeger F, Schellhaas S, Heringer F, Ruessler M, Ackermann H, Via G, Walcher F, Breikreutz R. Peri-resuscitation echocardiography: training the novice practitioner. *Resuscitation*. 2010;81(11):1534-1539.
- 49 Ilper H, Kunz T, Pflieger H, Schalk R, Byhahn C, Ackermann H, Breikreutz R. Comparative quality analysis of hands-off time in simulated basic and advanced life support following European Resuscitation Council 2000 and 2005 guidelines. *Emerg Med J* 2010 Sep;(epub)
- 50 Sandroni C, Nolan J. ERC 2010 guidelines for adult and pediatric resuscitation: summary of major changes. *Minerva Anesthesiol* 2011;77(2):220-226.
- 51 Krarup NH, Terkelsen CJ, Johnsen SP, Clemmensen P, Olivecrona GK, Hansen TM, Trautner S, Lassen JF. Quality of cardiopulmonary resuscitation in out-of-hospital cardiac arrest is hampered by interruptions in chest compressions-A nationwide prospective feasibility study [Internet]. *Resuscitation* 2010 Dez

52 Fischer M, Kamp J, Garcia-Castrillo Riesgo L, Robertson-Steel I, Overton J, Ziemann A, Krafft T. Comparing emergency medical service systems--a project of the European Emergency Data (EED) Project. *Resuscitation* 2011;82(3): 285-293.

53 Field JM, Hazinski MF, Sayre MR, Chameides L, Schexnayder SM, Hemphill R, Samson RA, Kattwinkel J, Berg RA, Bhanji F, Cave DM, Jauch EC, Kudenchuk PJ, Neumar RW, Peberdy MA, Perlman JM, Sinz E, Travers AH, Berg MD, Billi JE, Eigel B, Hickey RW, Kleinman ME, Link MS, Morrison LJ, O'Connor RE, Shuster M, Callaway CW, Cucchiara B, Ferguson JD, Rea TD, Vanden Hoek TL (2010) Part 1: executive summary: 2010 American Heart Association Guidelines for Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care. *Circulation* 122(18 Suppl 3):S640-656.

# Anhang

**Tabelle A1: Befundinterpretationen während des Studentenseminars zum FAST Modul**

Teilnehmer	Score (max 15)	in %
1	15	100
2	13	87
3	15	100
4	8	53
5	10	67
6	11	73
7	12	80
8	12	80
9	13	87
10	14	93

**Tabelle A2: Befundinterpretationen nach Anlotungspositionen während des Studentenseminars**

Position	Score (max 50)	in %
FAST 2	45	90
FAST 4	42	84
FAST 5	36	72

**Tabelle A3: Befundinterpretation innerhalb des FAST Moduls während des Postgraduiertenkurses**

Teilnehmer	Score (max 3)	in %
1	3	100
2	3	100
3	3	100
4	2	66,7
5	3	100

6	3	100
7	3	100
8	3	100
9	3	100
10	3	100
11	2	66,7
12	3	100
13	3	100
14	3	100
15	3	100
16	3	100
17	3	100
18	2	66,7
19	3	100
20	3	100
21	2	66,7

**Tabelle A4: Befundinterpretationen nach Anlotungspositionen während des Postgraduiertenkurses**

Position	Score (max 25)	in %
FAST 2	19	90,5
FAST 4	20	95,2
FAST 5	20	95,2

**Tabelle A5.1: Überprüfung der Eingliederung von FEEL in den ALS Algorithmus anhand einer Checkliste mit 9 Punkten - HOT 1**

A = Durchführung der CPR für mind. 2 Minuten, B = Information des Teams, C = Mitglied des Teams zählt vor FEEL von 10 auf 0. D = Hinweis: „Am Ende des Zyklus FEEL“, E = während der Herzdruckmassage paralleles Aufsetzen des Schallkopfes, F = korrekte Untersuchung des Herzens, maximale Suche 3s, G = Hinweis nach spätestens 9 Sekunden „CPR fortsetzen“, H = korrekte Wiederaufnahme der CPR, I = Mitteilung von Diagnose und Konsequenz an das Team.

Gruppe	A	B	C	D	E	F	G	H	I	Punkte
1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	6
	0	0	1	1	1	0	0	1	1	5
	1	0	1	1	1	1	1	1	1	8
2	1	0	1	1	1	1	1	1	1	8
	0	0	1	1	1	1	1	1	1	7
3	1	0	0	1	1	1	1	1	0	6
	0	1	1	1	1	1	1	1	0	7
4	1	1	1	1	0	1	1	1	1	8
5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9
6	1	0	1	0	1	1	1	1	0	6
7	0	0	0	1	1	1	1	1	1	6
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9
8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9
	0	1	1	1	1	1	1	1	0	7
9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9
	1	1	0	1	1	1	1	1	1	8
10	1	0	1	1	1	1	1	1	1	8
11	0	1	1	1	1	1	1	1	1	8
	0	0	0	0	1	1	1	1	1	5

12	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9
	0	1	1	1	1	1	1	1	0	7
13	0	1	0	1	0	1	0	1	1	5
14	1	1	1	1	0	1	0	1	1	7
15	0	1	1	1	0	1	1	1	1	7
16	0	1	1	1	1	1	0	0	1	6
17	0	1	1	1	1	1	1	1	0	7
18	0	1	1	0	0	1	0	1	0	4
	0	1	1	1	0	1	1	1	1	7
19	0	1	1	1	1	1	0	1	1	7
20	0	1	1	1	1	1	0	1	1	7
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9
21	1	1	1	1	0	1	1	1	1	8
22	1	1	1	1	1	0	1	1	1	8
23	1	1	0	1	0	1	0	0	1	5
24	0	1	1	0	1	1	0	1	0	5
	0	1	0	0	1	1	1	1	1	6
25	0	1	1	1	1	1	0	0	0	5
	1	1	0	1	0	1	1	1	1	7
26	0	1	0	0	0	0	0	1	1	3
	0	1	0	0	1	0	0	1	1	4
27	0	1	1	0	1	1	0	1	1	6
	0	1	1	0	1	1	1	1	1	7
	0	1	1	0	1	1	1	1	1	7
28	0	1	1	0	0	1	0	0	1	4
	0	0	0	1	1	1	0	1	1	5
	0	1	0	0	0	1	0	1	1	4
	0	1	1	0	1	1	0	0	1	5
	0	1	0	0	0	1	0	0	1	3



29	0	0	0	1	0	0	0	nb	0	1
	0	0	0	1	0	0	0	1	0	2
	0	0	0	1	1	0	0	0	?	2
	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
	0	0	0	1	1	0	0	0	0	2
30	1	1	1	0	1	1	1	1	0	7
	1	1	1	0	0	1	0	0	1	5
	1	1	1	0	1	0	1	1	1	7
31	0	1	1	0	1	1	1	1	1	7
	0	1	1	0	1	0	0	1	1	5
32	1	1	0	1	1	1	0	0	1	6
	1	1	1	1	0	1	0	0	1	6
33	0	0	0	1	0	0	0	1	1	3
34	1	1	0	0	1	0	0	1	1	5
35	1	1	0	0	0	0	0	1	0	3
36	1	1	0	0	1	1	0	1	1	6
37	1	1	1	0	0	0	0	1	0	4
38	1	1	1	0	0	0	0	0	0	3
	1	1	1	1	0	1	0	1	1	7
39	1	1	1	0	1	1	0	1	1	7
40	1	1	0	0	0	0	0	0	1	3
41	1	0	0	0	0	1	0	1	1	4
42	0	1	0	0	1	1	0	1	1	5
43	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
	1	1	1	0	1	1	0	1	1	7
44	1	1	0	0	0	1	0	1	0	4
45	1	1	0	0	0	1	0	1	0	4
46	1	1	0	0	0	1	0	1	0	4
47	1	0	0	0	0	1	0	1	0	3

48	1	1	1	0	1	1	0	0	1	6
49	1	1	0	0	0	0	0	1	1	4
50	1	1	1	0	0	1	0	1	1	6
51	1	1	0	0	0	0	0	1	1	4
	0	1	1	1	0	0	1	1	0	5
52	1	1	1	0	1	1	0	1	1	7
53	1	0	0	0	0	0	0	1	0	2
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
54	1	1	1	0	0	0	0	1	1	5
55	1	1	0	0	0	0	0	1	0	3
56	1	1	1	0	1	0	0	1	0	5

**Tabelle A5.2: Überprüfung der Eingliederung von FEEL in den ALS Algorithmus anhand einer Checkliste mit 9 Punkten - HOT 2**

Gruppe	A	B	C	D	E	F	G	H	I	Punkte
1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	6
2	1	0	1	1	1	1	1	1	0	7
3	1	1	1	0	1	1	0	1	1	7
4	1	1	1	1	1	1	1	1	0	8
5	1	0	1	1	1	1	1	1	1	8
	1	1	1	1	0	1	0	1	1	7
6	1	1	1	1	1	1	1	1	0	8
7	1	1	1	1	1	1	0	1	0	7
8	1	0	1	1	1	1	1	1	1	8
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9
9	1	1	1	1	1	1	0	1	1	8
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9
10	1	0	1	0	0	1	1	1	1	6

11	1	1	1	1	1	1	0	0	1	7
12	0	1	1	1	1	1	1	1	1	8
13	0	1	1	1	1	1	1	1	1	8
14	0	1	1	1	1	0	1	1	0	6
15	0	1	1	1	0	1	0	1	0	5
16	0	1	1	1	1	1	1	1	1	8
17	1	1	1	1	1	1	0	1	1	8
18	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9
19	0	1	1	1	1	1	1	1	1	8
20	1	1	1	1	0	1	1	1	0	7
21	1	1	1	1	1	1	1	1	0	8
22	1	1	1	0	0	1	1	1	1	7
23	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9
24	0	1	1	1	1	1	1	1	1	8
25	1	1	1	1	1	1	0	1	1	8
26	1	0	0	1	1	1	0	1	0	5
27	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9
28	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9
29	1	1	0	1	1	1	0	1	0	6
30	1	1	0	1	0	1	0	1	1	6
31	1	1	0	0	1	1	0	1	0	5
32	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9
33	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9
34	1	1	1	1	1	1	0	1	1	8
35	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9
36	1	1	1	1	1	1	1	1	0	8
37	1	1	1	1	1	1	1	0	1	8
38	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9
39	0	1	1	1	1	1	1	1	1	8

	1	1	1	1	1	1	0	1	1	8
40	0	1	1	1	1	0	1	1	0	6
	0	1	1	1	1	1	1	1	1	8
	0	1	1	1	1	0	1	1	1	7
	0	1	1	1	1	0	1	1	1	7
	0	1	1	1	1	1	1	1	1	8
41	1	1	0	1	0	1	0	1	1	6
	1	1	1	0	1	1	1	1	1	8
	1	1	1	0	1	1	1	1	1	8
42	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9
	1	0	0	1	1	1	0	1	1	6
43	1	1	1	1	0	0	0	1	1	6
										*
	1	1	0	0	1	0	0	1	1	5
44	0	1	1	1	1	1	0	1	0	6
	0	1	1	0	1	1	1	1	0	6
45	1	1	1	1	0	1	1	1	1	8
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9
46	1	1	1	1	1	1	0	1	1	8
	1	1	1	0	1	1	0	1	1	7
47	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9
	1	1	1	0	1	1	1	0	1	7
48	0	1	0	0	1	1	0	1	0	4
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9
	0	0	1	0	1	0	1	1	1	5

**Tabelle A6: Vergleich der Hands-off Zeiten für die Defibrillation und die fokussierte Echokardiographie während Notfallsonographiekursen**

HOT 1		HOT 2	
Hands-off Defibrillation	Hands-off FEEL	Hands-off Defibrillation	Hands-off FEEL
42	16	28	23
45	17	35	14
20	11	38	12
28	11	28	14
43	13	27	12
50	12	29	13
47	13	31	14
13	18	26	13
33	16	33	10
66	49	26	14
50	22	34	16
57	21	32	13
30	23	40	12
65	42	37	11
46	18	39	11
41	31	28	10
29	11	84	10
22	19	12	16
70	16	29	18
28	11	25	10
20	14	28	22
38	72	9	7
34	58	25	11
9	20	10	11

24	28	30	13
41	37	14	11
6	23	20	17
59	55	69	8
8	128	5	14
24	38		14
23	27		13
28	46		26
41	29		15
79	16		11
33	21		16
34	20		10
15	28		12
7	34		13
12	31		15
19	19		12
29	56		13
12	9		20
21	29		13
11	57		19
26	34		11
	37		10
	41		10
	38		12
	31		13
	13		16
	11		10
	13		14
	17		12

	12		12
	12		13
	13		11
	18		10
	16		13
	15		13
	15		11
	17		11
	10		11
	9		8
	10		10
	11		10
	12		14
	12		
	14		
	13		
	11		
	14		
	13		
	12		
	10		
	9		
	14		
	19		
	11		
	8		
	20		
	7		
	9		

	39		
	22		
	17		
	9		

**Tabelle A7: Evaluation des kombinierten ALS - Ultraschall - Simulators**

Teilnehmer	Wie realistisch war die Simulation im Hinblick auf die CPR? (max. 20)	Wie realistisch finden Sie die Ultraschall-simulation? (max. 20)	Wie bewerten Sie den kombinierten Ultraschallsimulator zum Training einer ALS-konformen Echokardiographie während der CPR? (max. 20)	Wie ist ihr Gesamteindruck von dem Szenario? (max. 20)
1	9,8	15	17	15
2	17	14,5	18,5	18
3	16,5	16,8	16,9	18
4	15,2	13,5	19,5	17
5	13	17	16,3	14,2
6	14	15,5	19,8	18
7	19,2	19,2	18,2	19
8	6	16	19,2	11
9	17,2	20	20	20
10	7,3	16	16,2	16
11	10,8	14,6	17,2	17
12	14,5	15	15	15
13	15,2	11	17,5	15,4
14	14,8	14,8	16,8	17
15	15,5	16	16,5	16,5
16	14	16	15	18
17	6,5	12,8	13,8	11,3



18	19,3	19,3	18,5	18,5
19	20	19,8	19,8	19,8
20	15,2	15,2	18	18
21	9,5	19	15,5	10,5
22	6,5	10,2	9	14,1
23	15,9	16	17,8	18,1
24	7	13,8	6	6
25	18,8	18,8	19	19,2
26	13,1	15,5	18,9	14
27	13,8	15,7	18	18,3
28	15,8	15	18,9	19,2
29	19	14,3	18,9	18,6

**Tabelle A8: Auswirkungen des Einsatzes von FEEL auf die Eindringtiefe der Thoraxkompressionen (TK)**

Gruppe	FEEL ja=1 nein=0	TK vor FEEL	korrekte TK	korrekte TK (%)	TK nach FEEL	korrekte TK	korrekte TK (%)	korrekte TK (%)
1	1	366	281	76,8	149	123	82,6	78,4
2	0	633	353	55,8				55,8
3	1	270	118	43,7	179	141	78,8	57,7
4	0	571	513	89,8				89,8
5	0	481	130	27,0				27,0
6	1	308	217	70,5	277	130	46,9	59,3
7	0	485	307	63,3				63,3
8	1	485	9	1,9	203	10	4,9	2,8
9	1	360	101	28,1	134	83	61,9	37,2
10	0	281	198	70,5				70,5

11	1	302	263	87,1	160	0	0,0	56,9
12	0	488	30	6,1				6,1
13	1	317	287	90,5	172	162	94,2	91,8
14	1	246	188	76,4	150	149	99,3	85,1
15	0	443	340	76,7				76,7
16	0	481	462	96,0				96,0
17	1	309	305	98,7	151	148	98,0	98,5
18	0	565	489	86,5				86,5
19	1	360	316	87,8	206	158	76,7	83,7
20	1	394	298	75,6	202	170	84,2	78,5
21	0	410	252	61,5				61,5
22	1	310	300	96,8	90	37	41,1	84,3
23	0	458	381	83,2				83,2
24	0	455	438	96,3				96,3
25	1	313	308	98,4	222	203	91,4	95,5
26	1	450	355	78,9	125	112	89,6	81,2
27	0	452	371	82,1				82,1
28	0	641	251	39,2				39,2
29	1	531	325	61,2	140	85	60,7	61,1
30	1	373	296	79,4	174	174	100,0	85,9
31	0	547	329	60,1				60,1
32	0	390	177	45,4				45,4
33	1	353	286	81,0	171	155	90,6	84,2
34	0	524	459	87,6				87,6
35	1	394	374	94,9	164	150	91,5	93,9
36	0	445	362	81,3				81,3
37	1	376	323	85,9	174	158	90,8	87,5

**Tabelle A9: Auswirkungen des Einsatzes von FEEL auf die Frequenz der Thoraxkompressionen (TK)**

Gruppe	FEEL ja=1 nein=0	Frequenz der TK (pro min) vor FEEL	Frequenz der TK (pro min) nach FEEL	Frequenz der TK (pro min) gesamt
1	1	112,7	109,6	111
2	0			109
3	1	117,4	118,3	118
4	0			116
5	0			127
6	1	113,2	126,6	119
7	0			126
8	1	111,7	120,2	115
9	1	149,5	153,5	151
10	0			120
11	1	135,4	123,3	131
12	0			131
13	1	125,7	118,0	123
14	1	100,2	86,0	94
15	0			106
16	0			94
17	1	100,9	103,0	102
18	0			123
19	1	132,5	133,3	133
20	1	101,1	96,7	98
21	0			102
22	1	107,9	114,9	110
23	0			109
24	0			133
25	1	114,8	133,7	122

26	1	102,8	104,0	103
27	0			105
28	0			134
29	1	128,0	124,0	126
30	1	120,3	119,5	120
31	0			129
32	0			108
33	1	108,0	102,0	105
34	0			103
35	1	100,0	95,0	97
36	0			100
37	1	97,0	103,0	100

**Tabelle A10: Auswirkungen des Einsatzes von FEEL auf die Beatmungsvolumen (B)**

Gruppe	FEEL ja=1 nein=0	B vor FEEL	korrekte B	korrekte B (%)	B nach FEEL	korrekte B	korrekte B (%)	korrekte B insgesamt (%)
1	1	24	10	41,7	10	4	40,0	41,2
2	0	39	33	84,6				84,6
3	1	14	6	42,9	10	3	30,0	37,5
4	0	37	29	78,4				78,4
5	0	28	10	35,7				35,7
6	1	16	9	56,3	14	4	28,6	43,3
7	0	27	16	59,3				59,3
8	1	16	2	12,5	10	9	90,0	42,3
9	1	20	5	25,0	8	3	37,5	28,6
10	0	13	8	61,5				61,5
11	1	18	18	100,0	8	6	75,0	92,3

12	0	26	18	69,2				69,2
13	1	keine Aufzeichnungen der Beatmungen						
14	1	16	14	87,5	12	8	66,7	78,6
15	0	29	23	79,3				79,3
16	0	31	19	61,3				61,3
17	1	18	8	44,4	14	7	50,0	46,9
18	0	32	27	84,4				84,4
19	1	14	9	64,3	14	11	78,6	71,4
20	1	20	13	65,0	10	7	70,0	66,7
21	0	23	6	26,1				26,1
22	1	16	12	75,0	8	6	75,0	75,0
23	0	24	21	87,5				87,5
24	0	29	11	37,9				37,9
25	1	15	9	60,0	13	9	69,2	64,3
26	1	19	7	36,8	12	10	83,3	54,8
27	0	27	10	37,0				37,0

Name des Patienten

## Aufnahmen für den Ultraschallsimulator

### Aufklärung

*Liebe Patientin, lieber Patient, sehr geehrte Angehörigen,*

wir möchten mit Ihnen zu Lehrzwecken, zum Unterricht von Studenten und Ärzten oder für wissenschaftliche Untersuchungen, Ultraschallaufnahmen für den Ultraschallsimulator des Fachbereichs Medizin der Goethe-Universität Frankfurt anfertigen. Dazu führen wir mehrere Ultraschallaufnahmen an Ihrem Körper nach Absprache durch, die in dem Simulator als dreidimensionale Datensätze gespeichert werden. Diese Aufnahmetechnik ist nicht schmerzhaft. Sie spüren lediglich, wie bei einer gewöhnlichen Ultraschall-Untersuchung, einen leichten Druck der Ultraschallsonde. Der Zeitaufwand für die Aufnahmen beträgt ca. 30-60 min. Kosten entstehen Ihnen nicht oder werden nach Absprache ggf. durch eine Aufwandsentschädigung (Fahrtkosten, Verweildauer) ausgeglichen. Alle Daten werden anonymisiert bzw. pseudonymisiert, das heißt für Dritte unkenntlich für Ihre Person/Identität erhoben.

### Einverständniserklärung

Ich wurde über das Verfahren von Dr. med. R. Breitreutz über die Untersuchung aufgeklärt. **Ich erkläre mich mit der Durchführung der oben genannten Ultraschallaufnahmen und deren Speicherung und Einsatz für Lehrzwecke oder wissenschaftliche Untersuchungen einverstanden. Mir ist bekannt, dass aufgenommenen Daten für Dritte nur anonymisiert bzw. pseudonymisiert, das heißt unkenntlich für meine Identität sind. Durch die Teilnahme an den Aufnahmen gehe ich keine weiteren Verpflichtungen ein.**

---

Ort, Datum

---

Unterschrift Patient/Angehöriger/gesetzlicher Betreuer

---

Unterschrift aufklärender Ärztin/Arzt

# **Einverständniserklärung**

## **Einsatz des Ultraschallsimulators für wissenschaftliche Zwecke**

Sehr geehrte Damen und Herren,

der Ultraschallsimulator ist eine innovative Entwicklung für die  
notfallmedizinische Ausbildung in realen Szenarios.

Wir bitten Sie, den Ultraschallsimulator während des Seminars zu benutzen.  
Hiermit wollen wir die Einsetzbarkeit des Systems testen.

Die Datenerhebung erfolgt nur zu lehr- und wissenschaftlichen Zwecken. Die  
Videoaufzeichnungen werden nicht an Dritten weitergegeben und nach der  
Auswertung gelöscht. Die Auswertung der erhobenen Daten erfolgt absolut  
anonym.

Mit meiner Unterschrift erkläre ich mich mit der anonymen Teilnahme, der  
Aufzeichnung der Daten, deren Interpretation und Publikation einverstanden.

Vielen Dank für Ihre Unterstützung des Projektes!

PD Dr. Raoul Breitzkreutz

and. med. Sebastian Schellhaas

Ihr Name:

Frankfurt, 29.05.2010

Ort, Datum

Unterschrift

# Fragebogen Ultraschallsimulator

Wir bitten Sie folgenden Fragebogen auszufüllen.

Die aufgenommenen Daten dienen nur zu Lehrzwecken oder für wissenschaftliche Untersuchungen und werden vollkommen anonymisiert weiterverarbeitet.

Vielen Dank!

S. Schellhaas und PD Dr. R. Breitzkreutz

## *Allgemeine Angaben*

Arzt/Ärztin

Fachrichtung:

Anästhesie  Chirurgie  Innere Medizin  Allgemeinmedizin  Andere

StudentIn, im \_\_\_ klinischen Semester

männlich  weiblich Alter: \_\_\_\_\_

Teilnahme an bisherigen FEEL Kursen:

nein  ja, das ist mein \_\_\_\_\_ Kurs

Durchgeführte Reanimationen:

Null  bis 5/Jahr  5-10/Jahr  über 10/Jahr

Durchgeführte FEEL Untersuchungen:

Null  bis 20/Jahr  20-50/Jahr  über 50/Jahr

## *Ihre Diagnosen am Ultraschallsimulator*

Fall Nr.: \_\_\_\_\_

Bitte tragen Sie Ihre Diagnose ein!

Fall Nr.: \_\_\_\_\_

Bitte tragen Sie Ihre Diagnose ein!

Fall Nr.: \_\_\_\_\_

Bitte tragen Sie Ihre Diagnose ein!



# Fragebogen Ultraschallsimulator

Wir bitten Sie folgenden Fragebogen auszufüllen.

Die aufgenommenen Daten dienen nur zu Lehrzwecken oder für wissenschaftliche Untersuchungen und werden vollkommen anonymisiert weiterverarbeitet.

Vielen Dank!

S. Schellhaas und PD Dr. R. Breitzkreutz

## *Allgemeine Angaben*

männlich

weiblich

Alter: \_\_\_\_\_

Rettungsassistent  Rettungssanitäter  Student

Berufserfahrung (in Jahren) oder Semester: \_\_\_\_\_

Teilnahme an FEEL Kursen:

nein  ja, an \_\_\_\_\_ Kurs(en)

Durchgeführte Reanimationen:

Null  bis 5/Jahr  5-10/Jahr  über 10/Jahr

# Evaluation: Kombination aus Ultraschallsimulator und ALS Trainer

Wir bitten Sie folgenden Fragebogen auszufüllen. Die aufgenommenen Daten dienen nur für wissenschaftliche Untersuchungen. Die aufgenommenen Daten werden anonymisiert weiterverarbeitet. Es handelt sich um ein Lehrforschungsprojekt des Universitätsklinikums Frankfurt.

Vielen Dank!

S. Schellhaas und PD Dr. R. Breitzkreutz

Allgemeine Angaben:

Arzt

Fachrichtung:  Anästhesie  Chirurgie  Innere Medizin  Andere

Berufserfahrung (in Jahren): \_\_\_\_\_

Erfahrung mit Echokardiographie

Null  bis 100 Jahr  mehr als 100/Jahr

Erfahrung mit Reanimationen:

Null  bis 5/Jahr  5-10/Jahr  über 10/Jahr

Bitte markieren Sie mit einer vertikalen Linie (subjektiv), wie im Beispiel angegeben (Methode: Linear-analoges self-assessment).

	<b>sehr schlecht</b>	<b>sehr gut</b>
Beispiel: Wie schmeckt Ihnen der Kaffee?		

**Ihre Beurteilung**

sehr schlecht

sehr gut

Wie realistisch war die Simulation im Hinblick auf die CPR?		
Wie realistisch finden Sie die Ultraschallsimulationen?		

sehr schlecht

sehr gut

Wie bewerten Sie den kombinierten Ultraschallsimulator zum Training einer ALS-konformen Echokardiographie während der CPR?		
Wie ist ihr Gesamteindruck von dem Szenario?		

Freitext:

# Lebenslauf

## Persönliche Informationen

Name: Sebastian Schellhaas  
Nationalität: Deutsch  
Geburtsdatum: 14.11.1985  
Geburtsort: Darmstadt  
Eltern: Dr. med. Joachim Schellhaas  
Christiane Schellhaas, geb. Nick  
Geschwister: cand. med. Oliver Schellhaas

## Schul- und Hochschulbildung

10.2005 - 12.2011

Johann Wolfgang Goethe - Universität Frankfurt a. Main  
Studium der Humanmedizin

11.2011

2. Abschnitt der ärztlichen Prüfung

08.2010 - 07.2011

Praktisches Jahr

Klinikum Darmstadt

Inselspital Bern, Schweiz

Wahlfach: Anästhesie

09.2007

1. Abschnitt der ärztlichen Prüfung

06.2005

Allgemeine Hochschulreife

Albert-Einstein-Schule, Groß-Bieberau

## **Wissenschaftliche Tätigkeit**

Doktorand der Klinik für Anästhesie, Intensivmedizin und Schmerztherapie des Klinikums der Johann Wolfgang Goethe Universität Frankfurt a. Main

Wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Arbeitsgemeinschaft Notfallsonographie des Frankfurter Instituts für Notfallmedizin und Simulatortraining

## **Publikationen**

Price S, Ilper H, Uddin S, Steiger H, Seeger F, Schellhaas S, Heringer F, Rüsseler M, Ackermann H, Via G, Walcher F, Breitzkreutz R. Peri-resuscitation echocardiography: training the novice practitioner. Resuscitation. 2010;81(11):1534-1539

Schellhaas S, Stier M, Walcher F, Adili F, Schmitz-Rixen T, Breitzkreutz R. Notfallsonographietraining am Ultraschallsimulator. Notfall & Rettungsmedizin. 2009;12(8):613-618.

Breitzkreutz R, Schellhaas S, Schmitz-Rixen T, Kessler P, Walcher F. Ultrasound simulation of peripheral nerves: development of a novel technology for training in regional anaesthesia. Critical Ultrasound Journal. 2009;1(1):5-11.

## **Abstracts**

Schellhaas S, Heringer F, Ilper H, Schmitz-Rixen T, Breitzkreutz R. A new method of ultrasound simulation in peri-resuscitation care. Crit Ultrasound J 2010; 2:115–134

Schellhaas S, Dreger M, Schmitz-Rixen T, Kessler P, Walcher F, Breitzkreutz R. Ultraschall-simulation peripherer Nerven: Entwicklung einer neuen Technik für das Training in der Regionalanästhesie. Ultraschall in Med. 2009;30(S 01).

## **Vorträge**

„Auswirkungen einer fokussierten Echokardiographie nach dem FEEL Algorithmus auf die Qualität der Reanimation" auf dem 10. Kongress der Deutschen Interdisziplinären Vereinigung für Intensivmedizin und Notfallmedizin am 03.12.2010 in Hamburg

"A new Method of Ultrasound Simulation in Peri-resuscitation Care" auf dem 6. WINFOCUS World Congress On Ultrasound in Emergency & Critical Care am 09.10.2010 in Rom, Italien

„Ultraschallsimulation peripherer Nerven: Entwicklung einer neuen Technik für das Training in der Regionalanästhesie am 16.10.2009 in Salzburg, Österreich

„Der Ultraschallsimulator zur realitätsnahen Ausbildung in der Notfallsonographie“ auf dem 5. Treffen der wissenschaftlich tätigen Arbeitsgruppen der DGAI im Bereich Notfallmedizin am 2. Februar 2009 in Kiel

## **Hobbies**

Handball

Skifahren

Frankfurt am Main, 06.12.2011



(Sebastian Schellhaas)

## Danksagung

Herrn *PD Dr. Raoul Breitzkreutz* möchte ich für die Überlassung des spannenden Themas, die sehr gute Betreuung und die ermöglichten Chancen während meiner Promotion danken.

Herrn *Professor Dr. Schmitz-Rixen* und Herrn *Professor Dr. Nürnberger* danke ich für die Unterstützung des Projektes.

Herrn *Dipl. Ing. Gernot Jehle* und der Firma *Schallware* danke ich für die Entwicklung des Ultraschallsimulators und die unermüdliche Hilfe bei technischen Problemen.

Frau *Monika Krammer* und der Firma *GE* danke ich, dass sie uns während des Projektes ein high-end Ultraschallgerät zur Verfügung gestellt haben.

Ohne *Frank Heringer, Kaja Schöneberger, Dr. Hendrik Ilper* und *Marco Zugaj* wäre die Datenerhebung nicht möglich gewesen, vielen Dank!

Danken möchte ich auch Herrn *Oliver Haller, Herrn Dieter Oberndörfer* und den Mitarbeitern der *Berufsfeuerwehr Frankfurt*, Herrn *Manfred Leuthäuser* und den Mitarbeitern des *DRK Odenwald, Herrn Sven Dörfel* und dem *DRK Dieburg*, Herrn *Tobias Schröder* und dem *ASB Frankfurt* sowie allen *Patienten, Studenten* und *Ärzten*, die an unseren Studien teilgenommen haben.

Herrn *Professor Dr. Felix Walcher* und dem *Team des FINEST* möchte ich für die Unterstützung während der Datenerhebung danken.

Herrn *Fritz Spatz* möchte ich für seine handwerkliche Unterstützung beim Bau des Holzkästchens für den Ultraschallsimulator danken.

Ein Dank gilt auch Herrn *Dr. Hans Ackermann* für die Erläuterungen zur statistischen Auswertung.

*Mario Stier* danke ich für seinen Vortrag während des studentischen Notfallsonographie-Seminars.

*Tatjana Telles, Stefen Bleck* und *Meike Dreger* danke ich für die Mitarbeit zu Beginn des Projektes.

Zum Schluss gilt ein ganz besonderer Dank meinen Eltern, meinem Bruder Oliver und meiner Lebensgefährtin Anke Treusch, ohne deren Unterstützung mein Studium und meine Promotion in dieser Weise nicht möglich gewesen wäre.

# Ehrenwörtliche Erklärung

Ich erkläre, dass ich die dem Fachbereich Medizin der Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt am Main zur Promotionsprüfung eingereichte Dissertation mit dem Titel

## **„Real time 3D - Ultraschallsimulation in der Akutmedizin Entwicklung einer neuen Technologie“**

in der Klinik für Anästhesie, Intensivmedizin und Schmerztherapie unter Betreuung und Anleitung von PD Dr. med. Raoul Breitzkreutz ohne sonstige Hilfe selbst durchgeführt und bei der Abfassung der Arbeit keine anderen als die in der Dissertation angeführten Hilfsmittel benutzt habe. Darüber hinaus versichere ich, nicht die Hilfe einer kommerziellen Promotionsvermittlung in Anspruch genommen zu haben.

Ich habe bisher an keiner in- oder ausländischen Universität ein Gesuch um Zulassung zur Promotion eingereicht.

Die vorliegende Arbeit wurde bisher nicht als Dissertation eingereicht.

Teile der vorliegenden Arbeit wurden in folgenden Publikationsorganen veröffentlicht:

Schellhaas S, Stier M, Walcher F, Adili F, Schmitz-Rixen T, Breitzkreutz R. Notfallsonographietraining am Ultraschallsimulator. Notfall & Rettungsmedizin 2009 Dez;12(8):613-618.

Breitzkreutz R, Schellhaas S, Schmitz-Rixen T, Kessler P, Walcher F. Ultrasound simulation of peripheral nerves: development of a novel technology for training in regional anaesthesia. Critical Ultrasound Journal 2009 Okt;1(1):5-11.

Price S, Ilper H, Uddin S, Steiger HV, Seeger FH, Schellhaas S, Heringer F, Ruesseler M, Ackermann H, Via G, Walcher F, Breitzkreutz R. Peri-resuscitation echocardiography: training the novice practitioner. Resuscitation 2010 Nov; 81(11):1534-1539.

Frankfurt am Main, 27.09.2011



(Sebastian Schellhaas)