

AUS DER FAKULTÄT FÜR MEDIZIN
DER UNIVERSITÄT REGENSBURG

Prof. Klaus Schlottmann

Innere Medizin

**Entwicklung von Phantomen für die interventionelle Sonographie zum Erlernen von
Punktions-, Biopsie- bzw. Drainagetechniken.**

INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin (Dr. med.)

der

Fakultät für Medizin
der Universität Regensburg

vorgelegt von

Sebastian Olschewski

2016

AUS DER FAKULTÄT FÜR MEDIZIN
DER UNIVERSITÄT REGENSBURG

Prof. Klaus Schlottmann

Innere Medizin

**Entwicklung von Phantomen für die interventionelle Sonographie zum Erlernen von
Punktions-, Biopsie- bzw. Drainagetechniken.**

INAUGURAL-DISSERTATION
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin (Dr. med.)

der

Fakultät für Medizin
der Universität Regensburg

vorgelegt von

Sebastian Olschewski

2016

Dekan: Prof. Dr. Dr. Torsten E. Reichert

1. Berichterstatter: Prof. Dr. K. Schlottmann

2. Berichterstatter: Prof. Dr. Ernst Michael Jung

Tag der mündlichen Prüfung: 19.10.2016

**Für meinen verstorbenen Schwiegervater
und meinen Vater**

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	1
1.1 Sonographie.....	1
1.1.1 Hintergrund.....	1
1.1.2 Interventionelle Sonographie.....	1
1.1.3 Phantome.....	2
1.2 Ziel der Arbeit.....	3
2. Material und Methodik.....	4
2.1 Ultraschallgerät	4
2.2 Behältnisse	5
2.3 Geliermittel.....	6
2.3.1 Gelatine.....	6
2.3.2 Agar Agar.....	8
2.4 Zusatzstoffe	9
2.4.1 Konservierungsmittel	9
2.4.2 Farbzusätze	12
2.4.3 Quellmittel	12
2.5 Interventionsmaterialien	13
2.6 Variationen des Phantoms.....	14
2.6.1 Biopsie.....	14
2.6.2 Gefäßpunktion	15
2.6.3 Hohlräume zur Darstellung von Zysten/Abszessen	16
2.6.4 Platzierung der Punktionsziele in dem Phantom	17
3. Ergebnisse.....	19
3.1 Das ideale Basis-Phantom.....	19
3.1.1 Das ideale Rezept	23

3.2. Interventionen am idealen Phantom.....	26
3.2.1 Biopsie am idealen Phantom	28
3.2.2. Gefäßinterventionen am idealen Phantom	30
3.2.3. Abszessintervention am idealen Phantom.....	30
3.3. Kontrastmittelsonographie am idealen Phantom.....	32
4 Diskussion	36
5. Zusammenfassung	42
6. Literaturverzeichnis.....	44
7.1 Abbildungsverzeichnis:.....	49
7.2 Tabellenverzeichnis	51

1. Einleitung

1.1 Sonographie

1.1.1 Hintergrund

Die Sonographie ist ein bildgebendes Standardverfahren in der Meidzindiagnostik, welches zunehmend auch in der Therapie angewandt wird. Es handelt sich hierbei um die Anwendung von Ultraschall zur Darstellung und Untersuchung von organischem Gewebe. Da sie eine schnell verfügbare, kostengünstige, risikoarme, nicht-schmerzhafte, in Echtzeit dynamische, stets wiederholbare und Röntgenstrahlen-expositionsfreie Untersuchung ist, wird sie in vielen Fachbereichen im ambulanten und stationären Bereich sehr häufig eingesetzt. In den letzten Jahren kam es zu stetigen Verbesserungen der Technik mit steigender räumlicher und Kontrastauflösung. Es ist nicht nur das Erkennen von kleinsten Gewebestrukturen möglich, sondern auf Grund der Eigenschaft als Echtzeituntersuchung auch die Beurteilung der Funktion eines Organs, z.B. bei der Echokardiographie oder bei der Beurteilung der Peristaltik des Darmes. Darüber hinaus kann mittels der Doppler- und Duplexsonographie im Bereich der Blutgefäße eine dynamische, nicht-invasive und kontrastmittelfreie Darstellung des Blutflusses erfolgen. Zuletzt wurde durch die kontrastmittelverstärkte Sonographie (Contrast-Enhanced Ultrasound - CEUS) die Einschätzung der Dignität von Tumoren oder Metastasen ermöglicht, aber auch neue Anwendungen in der interventionellen Sonographie entdeckt [1-9].

Es verwundert daher nicht, dass die Sonographie von sehr vielen Medizinern in den meisten Fachweiterbildungen curricular erlernt wird. [10-17]

1.1.2 Interventionelle Sonographie

Auch die interventionelle Sonographie ist für die Diagnostik mittlerweile in vielen Bereichen zu einem unverzichtbaren Element der Medizin geworden, insbesondere die Gewinnung von Gewebe durch Biopsie mittels Punktionsnadel. Hier ist z.B. an die Differentialdiagnostik von fokalen oder diffusen Erkrankungen der Niere, der Schilddrüse, der Leber oder der Prostata zu denken.

Darüber hinaus gibt es noch den therapeutischen Ansatz der interventionellen Sonographie. Durch z.B. ultraschallgesteuerte Platzierung von Abszessdrainagen, perkutane Gallengangdrainagen oder die häufig durchgeführte Parazentese von Aszites oder Pleuraergüssen können akute Erkrankungszustände gelindert und weitere Therapien erleichtert

werden. Eine weitere Option der therapeutischen interventionellen Sonographie ist die ultraschallgesteuerte Radiofrequenzablation, bei der Tumoren oder Metastasen in einem parenchymatösen Organ, wie z.B. der Leber, über die exakte Platzierung von Thermoablationsnadeln und darauf folgender Abgabe von Wärme in das Gewebe über einen Wechselstromgenerator zerstört werden.

Qualifizierte Diagnostik setzt umfangreiches Erlernen der diagnostischen Methode voraus. In der rein bildgebenden Diagnostik kann, da keine invasiven Schritte notwendig sind, eine einfache curriculare Fortbildung gewährleistet werden. An vielen vorhandenen Geräten kann im Krankenhaus oder in gesonderten Kursen immer wieder geübt werden. Dies ist bei einer invasiven ultraschallgesteuerten Diagnostik und Therapie nicht ohne weiteres möglich. Das häufig angewandte Prinzip „Learning by doing“ ist weder mit akzeptablen Ergebnissen noch mit akzeptablen Komplikationsraten anwendbar und Patienten schlichtweg nicht zumutbar [18-24].

1.1.3 Phantome

Durch Simulatoren, in der Bildgebung Phantome genannt, können Fertigkeiten erlangt werden, die eine größere Sicherheit bei der Anwendung am Patienten gewährleisten. Im Falle der interventionellen Sonographie, also dem Einsatz der Sonographie zur Visualisierung interventioneller Verfahren, kann am Phantom die bildliche Darstellung des Eingriffs geübt werden. Des Weiteren kann das zur Intervention verwendete Material kennen- und der Umgang mit selbigem erlernt werden. Zudem kann durch das Üben mit verschiedenen Schallköpfen, Nadeln, Drainagen oder Radiofrequenzablationssonden beliebig oft ungefährlich geübt und die Abfolge der diversen Arbeitsschritte und somit ein sicherer und effektiver Umgang mit diesen Materialien und Techniken unter Verwendung der Sonographie erlernt werden.

Zu o.g. Zweck werden selbst hergestellte oder käuflich zu erwerbende Phantome verwendet. Diverse Unternehmen bieten Phantome zum Training bzw. zur Simulation von Biopsien an. Das kostengünstigste Phantom ist ein handflächengroßes Silikonbrustphantom mit eingeschlossenen soliden und zystischen Anteilen. Der Preis hierfür beträgt 206 US-\$ (entsprechen ca. 188 €). Die besseren/ grösseren Phantome liegen zwischen 500 US-\$ bis maximal 25.000 US-\$, wobei letzteres nicht zur Intervention geeignet ist. Die zystischen Anteile hiervon können maximal einmal, die der soliden mehrmals, aber, je nach Größe der Biopsienadel, nicht unendlich oft punktiert werden. Die Silikonmembran soll trotz ständiger Einstiche dauerhaft halten.

Weitere Phantome sind mitunter mehrere tausend Dollar teuer, da versucht wird, die Anatomie und das Verhalten des Gewebes bei der Sonographie und der Punktion im Patientenkörper möglichst exakt zu simulieren.

Andere käuflich zu erwerbende Phantome werden dazu genutzt, die bildgebenden Verfahren CT, MRT und Ultraschall zu vergleichen, um die Sicht, das Auflösungsvermögen oder die Fusion dieser Verfahren zu untersuchen [25-28].

Forschungsergebnisse auf dem Gebiet der Herstellung von Sonographiephantomen existieren jedoch nicht.

Mehrere Arbeiten belegen einen guten Trainingserfolg durch Simulation an Phantomen. Darüber hinaus finden sich Publikationen, welche die Herstellung eines eigenen einzelnen Phantoms beschreiben und den grundsätzlichen Erfolg ihres eigenen Phantoms als Trainingssimulator bestätigen [29-54].

Des Weiteren existieren einzelne Rezepte zur Herstellung von gelatinebasierten Phantomen im Internet. Diese bestehen nahezu immer aus dem gleichen Wasser-Gelatine Mischungsverhältnis unter Zusatz von Quellstoffen. Die meisten gefundenen Publikationen stammen aus Amerika [55-62].

1.2 Ziel der Arbeit

Es fand sowohl eine wissenschaftliche Aufarbeitung zur Entwicklung eigener Phantome sowie deren systematische Austestung statt. Insbesondere wurden die einzelnen Zutaten, Mischungsverhältnisse und Behältnisse im Bezug auf Sichtbarkeit, Darstellbarkeit, Haltbarkeit, zeitlichen Aufwand, Entsorgbarkeit, Preis und Praktikabilität untersucht.

In den schon publizierten Arbeiten wird jeweils nur ein Rezept beschrieben. Hierbei handelt es sich meistens um Gelatine- oder Agar Agar-basierte Rezepte. Für andere – eher exotisch zu nennende – Rezepte sind die dafür notwendigen Zutaten hier nicht erhältlich, z.B. oil of wintergreen.

Ziel der vorliegenden Arbeit war nicht, die in den zu kaufenden Phantomen größtmögliche anatomische Genauigkeit oder das möglichst exakte sonomorphologische Abbild von Organtexturen zu simulieren. Vielmehr sollte eine Anleitung zur selbstständigen Herstellung eines für jeden zur Verfügung stehenden, kostengünstigen und zügig herstellbaren Phantoms geschaffen werden, das den breiten Einsatz von Phantomen bei der Weiterbildung ermöglicht.

Die Entwicklung eines problemlos und überall herstellbaren Sonographiephantoms, welches aus frei zu kaufenden Zutaten produziert werden kann, wird es Anfängern erleichtern, die Techniken der bildgebenden und der interventionellen Sonographie, insbesondere der Punktion und der Drainagenanlage zu trainieren. Es soll hierdurch eine Ausbildung, welche weder zeitlich, örtlich, finanziell oder quantitativ begrenzt ist, ermöglicht werden.

2. Material und Methodik

An Materialien wurden ein Ultraschallgerät mit unterschiedlichen Schallköpfen, verschiedene Behältnisse, zwei Geliermittel und eine Vielzahl an zu sonographierenden Objekten, sowie interventionelles Gerät verwendet.

Die Methodik ist Inhalt der Forschung und wird im Kapitel 3. Ergebnisse näher beschrieben.

2.1 Ultraschallgerät

Es wurde an einem Toshiba Aplio XG mit einem 5 MHz Konvexultraschallkopf, einem 7,5 MHz Linearultraschallkopf und einem 5 MHz Punktionsschallkopf sowohl im B-Bild als auch im Contrast Enhanced UltraSound (CEUS)-Modus untersucht.

Damit die einzelnen Versuchsreihen vergleichbar blieben, wurde primär mit einer festen Geräteeinstellung gearbeitet. Hierfür wurde auf Grund der nachfolgend beschriebenen Behältnisgröße der Sonographiebereich mit dem 5 MHz-Schallkopf auf max. 10 cm Tiefe und einem Focus auf 6 cm gelegt.

Während üblicherweise alle Interventionen mittels konventionellem Grauwert- oder B-Bild Modus durchgeführt werden, haben sich in definierten Situationen, in denen die B-Bild Sonographie nicht ausreicht, Interventionen unter dem sogenannten niedrigen mechanischen Index (low-MI) unter Verwendung von Ultraschall Kontrastverstärkern durchgesetzt [55-63]. In diesem Modus ist die Bildinformation deutlich verändert und die Visualisierung von Interventionsmaterialien deutlich erschwert. Da sich ein klares Potential zur Verwendung von CEUS im Rahmen interventioneller Verfahren gezeigt hat, wurden auch die Eigenschaften und die Nachweisbarkeit der Interventionsmaterialien unter low-MI Bedingungen untersucht.

2.2 Behältnisse

Es wurden folgende Plastikgefäße in Bezug auf Form, Größe und Artefaktbildungen untersucht:

Tabelle 1: Behältnisse

Behälter	Form	Maße LxBxH, Vol. in L	Preis
Markt-Real	schmal/hoch	12x12x17 2,5 L	5,00 €
	breit/flach	17x12x12 2,5 L	5,00 €
Tupperware	rund/Schüssel	15x15x9 oben 1,5 L	13,00 €
Curver	breit/flacher	14x18x6 1,2 L	6 €

Es fielen bei den Untersuchungen deutliche Spiegelartefakte auf. Insbesondere durch eine Rinne in den Ecken einiger Behältnisse kam es zu starkem Rauschen in der Mitte des Ultraschallbildes. Durch die Wahl eines Behältnisses ohne Rinne am Boden, wie z.B. der Marke Curver, tritt dieser Effekt etwas geringer auf. Bei großen, nach oben sich öffnenden, runden Behältern oder Schüsseln tritt in der Mitte ein Spiegelartefakt durch die Fokussierung der Ultraschallwellen auf. Als praktikabel erwiesen sich solche Schüsseln, welche möglichst wenige Kanten oder Rundungen aufwiesen. Auf Grund des hohen Impedanzunterschiedes durch die im Vergleich zum Phantom harten Wände des Behälters wird aber immer ein Spiegeleffekt bei klaren Flüssigkeiten nachweisbar bleiben. Eine einfache Reduzierung der Spiegelartefakte kann durch Schallabschwächung mittels Zusatzstoffen wie Flohsamen, Mehl oder Paniermehl erfolgen.

Bei hohen schmalen Gefäßen treten Spiegelartefakte an den Seiten auf wenn ein Konvexschallkopf benutzt wird.

Wenn man das Phantom komplett aus dem Behältnis nimmt und dann sonographiert, bricht es durch zu geringe Konsistenz und dem Druck des Schallkopfes rasch auseinander. Bei hoher Geliermittelkonzentration ist es durchaus möglich, ein Phantom, welches ohne Behälter zu biopsieren ist, herzustellen. Dies gelingt ab einer Gelatinekonzentration von über 15%.

2.3 Geliermittel

Als Geliermittel wurden Gelatine und Agar Agar verwendet. Die Gelatine wurde in Form von handelsüblichem Pulver oder als Blattgelatine von den Firmen RUF, Dr. Oetker und Gelita verwendet. Agar Agar kam als Agartine von der Firma Ruf zum Einsatz. Nicht nur die sonographischen Charakteristika der Geliermittel, sondern auch die verschiedenen Mischungsverhältnisse und Zubereitungsformen in der Erwärmungs-, wie auch in der Abkühlungsphase wurden untersucht. Der Bloomwert, das Maß für die Gelierfähigkeit – bei Gelatine zwischen 50-300 g – wurde nicht berücksichtigt, da er bei allen im Lebensmittelhandel gefundenen Sorten, bei welchen ein Bloomwert angegeben war, bei etwa 160 g lag.

Der Preis von Gelatine im freien Handel beträgt für Pulvergelatine ca. 10 - 20 € pro Kilogramm, die hier am häufigsten verwendete Kilopackung von der Firma Gelita kostete 14,95 €, für Blattgelatine zwischen 0,49 € und 2 € je Packung, entsprechend sechs Blatt, bzw. 10 g Gelatine. Benutzt wurde hier RUF Blattgelatine zwölf Blatt 0,99 €. Das entspricht einem Kilogrammpreis von 49,50 €.

Der Preis von Agartine beträgt pro Packung 0,89 € bis 1,19 €, in welcher sich 3x10 g Pulver befindet. Somit beträgt der Kilogrammpreis ca. 30 €.

Diese Angaben beziehen sich auf den Einzelhandel und den Internetverkauf. Der Bezug aus Apotheken, Laboren oder der Einkaufsabteilung in Krankenhäusern ermöglicht deutlich niedrigere Preise und größere Margen.

2.3.1 Gelatine

Um das Geliermittel zu erhalten, muss das Gelatinepulver oder -blatt in Wasser quellen und anschließend durch Erhitzen aufgelöst werden.

Je nach Mahlgrad des Gelatinepulvers sind hier verschiedene Quellzeiten unbedingt einzuhalten. Die handelsüblichen mittelfeinen Mahlungen benötigen eine ca. zehnminütige Quellzeit, ebenso die Blattgelatine. Je feiner der Mahlgrad, desto geringer ist die Quellzeit. Feinkörnige Mahlungen quellen in wenigen Minuten auf, grobkörnige benötigen eine Stunde und mehr zum vollständigen Durchquellen. Erst danach kann der Auflösungsprozess durch Erhitzen stattfinden. Hierbei sollte eine Temperatur von 60°C nicht dauerhaft überschritten werden, da sonst die Gelierkraft deutlich nachlässt. Sollte die Gelatinelösung einmal kochen, ist sie nicht mehr verwertbar.

Von der Verwendung eines elektrischen Rührgerätes ist abzuraten. Sie führt zu einer deutlichen Erhöhung von Luftblasen in dem Phantom und damit zu mehr sonographischen Artefakten. Außerdem muss der dabei entstehende Schaum später wieder entfernt werden.

In mehreren Testreihen wurden verschiedene Mischungsverhältnisse ausprobiert, beginnend mit einer 33-prozentigen Lösung (2 Teile Wasser / 1 Teil Gelatine), 25%, 20% und weiter in 5%-Schritten. Bei der 33-prozentigen Lösung zeigte sich eine sehr hohe Steifheit des Blockes. Diese nahm mit sinkendem Anteil an Gelatine ab. Ausreichende Steifheit ist bei 8-prozentiger Lösung immer noch gegeben, auch eine 6-prozentige Lösung ist noch ausreichend fest, jedoch zu leicht eindrückbar, was sich später beim Verwenden des Schallkopfes auf dem Block nachteilig auswirkt. Bei noch niedrigeren Konzentrationen zerfällt die Gelatine schnell durch den Druck des Schallkopfes.

Das Mischungsverhältnis des Geliermittels hat keinen Einfluss auf die bild-sonographische Darstellung.

Als Umrechnungsmaße für die Mischungsverhältnisse gelten: Volumen zu Masse gleich 0,75, d.h. 100 ml Pulvergelatine entsprechen ungefähr 75 g. Bei der Umrechnung Blattgelatine zu Pulvergelatine entsprechen sechs Blatt Gelatine ungefähr 10 g Pulvergelatine.

In den weiteren Versuchen wurde hauptsächlich mit einer 8-prozentigen Lösung gearbeitet (Basis-Phantom); hierfür wurden 1500 ml Wasser mittels 100 g Gelatine (1,50 €) verfestigt.

Die Art der Zubereitung hat keine Auswirkung auf das sonographische Bild, jedoch große Auswirkungen auf die Zubereitungszeit.

Man kann das gesamte Gemisch zunächst quellen lassen und dann erhitzen. Hierbei liegt nach zehnminütiger Quellzeit die Auflösungszeit bei ca. vierzig Minuten im Wasserbad.

Einfacher und bedeutend schneller ist es, zunächst die Gelatine in nur einem Teil des Wassers quellen zu lassen. Danach kann man diesen Teil erhitzen und dadurch auflösen und später mit dem restlichen Wasser vermengen.

Man kann aber auch die Gelatine mit der Hälfte des benötigten Wassers quellen lassen, das restliche Wasser zum Kochen bringen und das gerade nicht mehr kochende Wasser in die Lösung einrühren und dadurch auflösen. Bei dieser Variante entfällt der Lösungsvorgang von ca. zwanzig Minuten im Wasserbad oder ca. zwei Minuten in der Mikrowelle.

Als praktikabel erwies sich, 100 g Gelatine in 500 ml Wasser einzurühren und dann zehn Minuten quellen zu lassen. Man löst das Gemisch zwei Minuten bei 800 Watt in der Mikrowelle auf. Die Gelatine ist aufgelöst, wenn sie komplett durchsichtig ist. Wird sie zu lange in der Mikrowelle erhitzt, wird sie zu heiß und verliert wieder ihre Gelierfähigkeit. Anschließend rührt man langsam 1 l kaltes Wasser ein.

Prinzipiell ist zu beachten, dass beim Hinzufügen große Temperaturunterschiede zu vermeiden sind. Man rührt immer die kalte Flüssigkeit in die warme Gelatinemasse ein, sonst bilden sich Klumpen.

Bei dieser Herstellungsform ist das Gemisch schon deutlich herunter gekühlt und nach etwa sechs Stunden bei 8°C so fest, dass es verwendet werden kann.

Wenn man jedoch die kompletten 100 Gramm Gelatine mit den 1,5 l Wasser auflöst, benötigt man eine deutlich längere Phase, bis sie ausreichend steif geworden ist; bei den hier getesteten 1,5 l ca. neun Stunden bei 8°C.

Bei der Zubereitung entstandene Luftbläschen, die das sonographische Bild stören, entweichen, wenn man die Masse eine Weile bei einer Temperatur von 60°C hält.

Ein Gelatine-Phantom ist gelb-bräunlich durchsichtig, von fester Konsistenz und verhält sich sonographisch wie reines Wasser. Das fertige Gelatine-Phantom ist geruchsneutral.

Da Gelatine ein rein biologisches Produkt ist, kann es nach der Benutzung mühelos als biologischer Abfall entsorgt werden. Sie kann aber auch in heißem Wasser aufgelöst und in die Kanalisation geleitet werden.

2.3.2 Agar Agar

Um ein Agar-Phantom zu erhalten, wird Agar Agar mit Wasser in einem definierten Mischungsverhältnis verarbeitet. Allerdings entfällt hier der Vorgang des Quellens, außerdem muss nicht so sehr auf die Temperatur geachtet werden.

Auch hier wurden verschiedene Mischungsverhältnisse in mehreren Versuchsreihen von 20% abwärts hergestellt. Hierbei zeigte sich, dass mit nur ungefähr einem Drittel äquivalent zu der entsprechenden Gelatinemenge eine identische Festigkeit erzeugt werden kann. Mit Agartine

kann man also die gleiche Festigkeitsstufe wie bei den Gelatine-Phantomen mit weniger prozentigen Lösungen erreichen.

Als praktikabelste Lösung stellte sich heraus, 30 g Agartine (eine Packung, 1 €) für 1500 ml Wasser zu verwenden. Das entspricht einer 2,6-prozentigen Lösung.

Das Gemisch wird ohne Quellen zum Kochen gebracht, nach ca. zwei Minuten Kochen ca. vier Stunden bei 8°C ausgekühlt und dann verwendet.

Ein Agar-Phantom ist weißlich schwach durchsichtig, von bröckeliger Konsistenz und zeigt sonographisch ein sehr echoarmes homogenes Bild. Es hat einen intensiven algigen Geruch.

Auch Agar Agar ist ein biologisches Produkt und kann, wie die Gelatine, über den Bio-Müll oder die Kanalisation entsorgt werden.

Da Agar Agar nicht überall erhältlich, das sonographische Bild nicht echofrei, die Herstellung unbedingt an einen Herd und Kochtopf gebunden und das Phantom nicht geruchsfrei ist, wurde im weiteren Verlauf mit Gelatine gearbeitet.

2.4 Zusatzstoffe

Zum Einsatz kamen Zusatzstoffe zur Erhöhung der Haltbarkeit, Farbzusätze wie Lebensmittelfarbe oder handelsübliche Götterspeise, um die Punktionsziele optisch unsichtbar zu machen, sowie Quellmittel, wie handelsübliches Mehl, indischer Flohsamen (Mucofalk) oder Semmelbrösel.

2.4.1 Konservierungsmittel

Um die genauen Zeiten der Haltbarkeit mit oder ohne Konservierungsmittel und den Einfluss einer Kühlung zu überprüfen, wurden die Basis-Phantome jeweils unbedeckt bei Raumtemperatur und im Kühlschrank aufbewahrt und täglich überprüft, ob eine Veränderung im Sinne eines Schimmelbefalls aufgetreten ist.

Die Basis-Phantome haben, da sowohl Gelatine als auch Agar-Agar biologische Nährböden sind, eine begrenzte Haltbarkeit. Diese beträgt bei dem 8%-igen Gelatinephantom unbedeckt und bei Raumtemperatur drei Tage. Danach kann sich schon ein sichtbarer Schimmelbefall zeigen. Auf Grund der Sterilisation durch den Kochvorgang beträgt die Haltbarkeit des 2.6%-

igen Agarphantoms unbenutzt bei Raumtemperatur und unabgedeckt eine Woche, nach Gebrauch, wie bei der Gelatine, drei Tage. Durch Aufbewahrung im Kühlschrank und Verschließen mit einem Deckel kann die Haltbarkeit des Gelatine-Phantoms auf eine Woche gesteigert werden. Das Agar-Phantom bleibt 11 Tage ohne Befall. Durch konzentriertere Lösungen verlängert sich ebenfalls diese Zeitspanne. Mit einem 33%igen Gelatinephantom zeigten sich erst nach 2 Wochen Veränderungen. Da die haptischen, optischen und preislichen Kriterien wichtiger als die Haltbarkeit bei der Auswahl der Konzentrationstärke sind, wurden weitere Versuche mit unterschiedlichen Konzentrationen nicht durchgeführt.

Die Haltbarkeit konnte durch Einsatz von Konservierungsstoffen deutlich gesteigert werden.

Benutzt wurde überall im Handel erhältliche Essigessenz von der Firma Surig bei einem Preis von 1,20 € für 400ml 25%ige Essigsäure, sowie reine Benzoesäure aus der Apotheke bei einem Preis von 4 € für 100 g.

Essigsäure wirkt durch Senkung des pH-Wertes, so dass ein Wachstum von Hefen oder Bakterien gehemmt wird. Sie ist vollständig in Wasser löslich und ohne Veränderung des sonographischen Bildes leicht in einem Phantom anzuwenden. Je nach Konzentration im Phantom wird dieses unterschiedlich lange konserviert. Ab einer gewissen Menge konnte allerdings kein weiterer verlängernder Effekt beobachtet werden. Die Mischung, bei der ein maximaler Effekt bei geringstem Bedarf eintrat, beträgt 32ml Essigessenz (entsprechen 0,10 €) auf das Basisphantom, entsprechend einer 0,5%igen Essigsäurelösung. Hierbei traten erst nach 10 Tagen unbedeckt und bei Raumtemperatur Veränderungen auf, im Kühlschrank und zugedeckt erst nach 21 Tagen. Eine höhere Konzentration erbrachte eine Verlängerung von maximal 2 Tagen, bei jedoch immer stärker werdendem Essiggeruch.

Die konservierende Wirkung von Benzoesäure beruht auf dem Hemmeffekt gegenüber Enzymen, wodurch sich Wasserstoffperoxid in den Zellen der Mikroorganismen ansammelt und diese letztlich absterben.

Sie ist schlecht in Wasser löslich und dadurch in ihrer Konzentrationsmenge limitiert. Die Löslichkeit beträgt 2,7 g/l bei 20°C. Im praktischen Einsatz zeigten sich auch bei 40 mg auf 1,5 l noch nicht aufgelöste Spuren, welche sonographisch nachweisbar sind. Bei 30 mg (0,12 €), entsprechend einer 0,3%igen Lösung war es komplett aufzulösen und verlängerte die Haltbarkeit, unbedeckt im Raum auf 12 Tage, sowie geschlossen und gekühlt auf 30 Tage.

Hochprozentiger Alkohol wäre in der Handhabung und im Preis (Minimum 2 €/1 l) ähnlich, führt bei gelatinebasierten Phantomen aber zu Ausflockungen, wenn Mehl oder Metamucil zugefügt werden. Die konservierende Wirkung von Alkohol beruht auf der direkten Zelltoxizität. Die Haltbarkeit war insgesamt schlechter als bei der Essigsäure. Gearbeitet wurde hier mit 100 ml (0,2 €) auf 1,5 l Basisphantom, entsprechend einer 3%igen Lösung. Verwendet wurde 70%iger Isopropyl-Alkohol aus einer Sprühdesinfektionsflasche (Kodanspray). Es zeigte sich ein Schimmelbefall nach 9 Tagen, wenn das Phantom offen und bei Raumtemperatur gelagert, sowie nach 18 Tagen, wenn es verschlossen und gekühlt wurde.

Tabelle 2: Haltbarkeit der Phantome

Haltbarkeit in Tagen	Raumtemperatur, Offen	Geschlossen, 8°C
Gelatine	3 Tage	8 Tage
Agar-Agar	7 Tage	12 Tage
0,5% Essigsäure	10 Tage	21 Tage
0,2% Benzoesäure	12 Tage	30 Tage
3% Isopropyl-Alkohol	9 Tage	18 Tage

Weitere Konservierungsmittel, wie in den anderen veröffentlichten Phantomen, wie Formalin (8 €/1 l), Phenol (36 €/100 ml), Chlorhexidin (28 € für 1 l) oder „Premisorb“ (173 \$ für eine Packung) wurden auf Grund der schwierigeren Beschaffbarkeit für eine Privatperson, des Preises und wegen der ausreichenden Konservierfunktion von Essig, Benzoesäure und Isopropylalkohol nicht überprüft.

Ganz allgemein lag hier die Aufmerksamkeit in einem kostengünstigen und möglichst einfach herzustellenden Phantom, welches zeit- und raumnah hergestellt werden kann. Insbesondere die Beschaffung aller Zutaten sollte in einem herkömmlichen Lebensmittelgeschäft möglich sein.

Eine Haltbarkeit über Monate ist nicht gegeben. Nur durch Einlagerung in einem Tiefkühlfach kann dies ermöglicht werden. Diese Lagerung ist selbst bei den wassergefüllten „Abszessen“ ohne Veränderung des Phantoms nach Wiederauftauen möglich.

2.4.2 Farbzusätze

Durch Lebensmittelfarbe (4,99 € für 250 ml je Farbe von der Firma Wusitta) oder Götterspeise (0,59 € pro Paket mit 2 Beuteln von der Firma RUF) lässt sich jede beliebige Farbe im Phantom herstellen. Dies kann der optischen „Unsichtbarmachung“ dienen, wenn Interventionsziele ausschließlich mittel Sonographie detektierbar sein sollen. Zur Erzeugung eines geschwärzten Phantoms wurden 10 ml blaue und 10 ml rote Lebensmittelfarbe eingerührt. Durch die Färbemittel ist das Phantom nicht mehr durchsichtig, sie haben jedoch keinen Einfluss auf die Darstellung im Ultraschall. Ein Beutel Götterspeise färbt das Phantom ausreichend ein, es bleibt jedoch durchsichtig. Da mit anderen Mitteln auf einfachere Weise derselbe Effekt mindestens genauso kostengünstig und einfach hergestellt werden kann, wurde in den weiteren Versuchen darauf verzichtet.

2.4.3 Quellmittel

Quellmittel wurden zu dem Basisphantom in Ausprägung des sonographischen Bildes, der Haptik, der Haltbarkeit und des Aussehens hin getestet.

Mehl eignet sich gut zur Anpassung der B-Bild Sonomorphologie des Phantoms im Sinne derjenigen von parenchymatösen Organen. Es ist überall erhältlich. Das hier verwendete Weizenmehl der Marke Diamant kostet 0,99 € je Kilogramm. Im Handel ist es jedoch auch günstiger bis 0,29 € pro Kilogramm zu beziehen. Um ein Phantom von außen undurchsichtig werden zu lassen, reichen sieben Gramm Mehl (<1 Cent), welche in das Basisphantom eingerührt werden. Dies erzeugt eine echoreiche, homogene Struktur im Ultraschallbild. Durch Mehl entstandener Bodensatz absorbiert einen Teil der Schallwellen und minimiert dadurch deutlich die Artefaktbildung durch Spiegelung.

Ähnliches gilt für Paniermehl, welches wie Mehl in das Phantom eingerührt wird. Es kostet 1,79 € pro Kilogramm von der Firma Leimer. Es wirkt stärker schallabsorbierend. Durch steigende Konzentrationen erzielt man ein nahezu lebergewebeidentisches Muster, bis hin zur Schallauslöschung wie bei einer ausgeprägten Fettleber. Hier wurden ansteigend 50-200 g Paniermehl im Basisphantom verwendet. Es sinkt auch hier Paniermehl der Schwerkraft folgend zum Boden. Allerdings ist das Muster nicht homogen, sondern nach unten hin immer dichter werdend.

In amerikanischen Rezepten werden häufig Quellstoffe, insbesondere „Sugar free Metamucil“, verwendet. Dementsprechend wurde auf das in Deutschland erhältliche Produkt mit

Flohsamenschalen (Mucofalk, 8 € je 300 g Granulat), zurückgegriffen. Man erzielt hier ähnliche Erfolge wie mit Paniermehl. Da es im Gegensatz zu Mehl sehr teuer ist und bei niedrigeren Konzentrationen unter 100 g in dem Basisphantom nicht alle Flohsamenschalen zu Boden sinken, sondern ein Teil auch schwimmend oben bleibt und sich in der Mitte ein sonographisch echoarmer Zwischenraum bildet, wurde im weiteren Verlauf darauf verzichtet.

2.5 Interventionsmaterialien

Zum Einsatz kamen 22 Gauge (G) Chiba Punktionsnadeln, 18 G Chiba Punktionsnadeln, 18 G Grobstanziopsienadeln von Temno, 10 French Spül-Saug-Drainagen, eine 14 G Starburst Talon RITA und Amplatz superstiff Führungsdrähte 0,035 140 cm von Boston-Scientific.

Gauge ist eine aus Nordamerika stammende Bezeichnung und bezeichnet die Dicke eines Drahtes nach der Anzahl der Ziehschritte im Herstellungsprozess (American Wire Gauge). Daher nimmt mit steigender Zahl der Außendurchmesser des Drahtes ab.

Tabelle 3: Umrechnungstabelle Gauge - mm

Gaugewert	10	14	18	20	22	30
Außendurchmesser in mm	3,4	2,1	1,6	1,2	0,7	0,3

Im europäischen Bereich wurde zur Maßeinheit bei Kathetern und Endoskopen der Name des französischen Instrumentenbauers Charrière genommen; da dieser aber im englischsprachigen Raum schwer auszusprechen war, etablierte sich stattdessen der Ausdruck French. Die Einheit French entspricht 1/3 mm. Der Begriff Chiba-Nadel leitet sich von der japanischen Stadt Chiba ab, in der eine im Außendurchmesser 0,7 mm dicke und 150 mm lange flexible Nadel mit Schrägschliff zur Gallengangspunktion entwickelt wurde. Da hiermit auch, zumindest in unserer Klinik, Feinnadelpunktionen im Sinne von Aspirationsbiopsien durchgeführt werden (FNA), wurden sowohl die 22 G Chiba-Nadel als auch die 18 G Chiba-Nadel der Firma Cardinal Health verwendet. Mit der 18 G Chiba-Nadel wurde außerdem mit dem Führungsdraht Amplatz superstiff der Firma Boston Scientific gearbeitet. Für Biopsien wurden 18 G Temno Evolution II Stanziopsienadeln der Firma Nicolai verwendet. Die verwendete Abszessdrainage ist ausschließlich eine 8 French Spül-Saug-Drainage der Firma Pflugbeil, da

größere Drainagen auch keine besseren Erfolge in der Therapie von Abszessen zeigten. Hier wurde sowohl mit einer Drainage zur Direktpunktion als auch wieder mit dem Amplatz superstiff Führungsdraht in Seldinger-Technik gearbeitet. Dieser Führungsdraht (benannt nach Prof. Dr. Kurt Amplatz) [64] ermöglicht ein atraumatisches Vorschieben auf Grund seiner weichen Spitze und wird daher bevorzugt in der Seldinger Technik bei weichem Gewebe wie Abszessen oder feinen Gefäßen wie Gallengängen eingesetzt. Des Weiteren wurde mit einer 14 G Starburst Talon von Angio Dynamics die Möglichkeit der Radiofrequenzablation untersucht.

2.6 Variationen des Phantoms

Anhand unterschiedlicher Objekte wurde untersucht, wie die interventionellen sonographischen Maßnahmen simuliert und trainiert werden können. Man benötigt unterschiedliche Varianten des Phantoms, um unterschiedliche sonographische Aufgaben zu trainieren. Grundsätzlich wurde in drei Kategorien unterschieden:

- Biopsie
- Gefäßpunktion
- Drainage

2.6.1 Biopsie

Bei den in die Geliermasse eingebrachten zu biopsierenden Objekten wurden eine Vielzahl an kleinen Nahrungsmitteln, wie Oliven, Bohnen, Tomaten, Mais, Gummibärchen, Nudeln, Paprika, Eier, Kapern, Reis etc. untersucht. Ganz allgemein kann nahezu jedes Material als Punktionsobjekt genutzt werden.

Vor allem das sonographische Bild und die Eignung zur Biopsie wurden als Hauptkriterien zur Definition des geeignetsten Biopsiezieles herangezogen.

Problematisch sind lufthaltige, breiige, sehr feste/harte und kleinere als 0,5 cm große Objekte. Die lufthaltigen sind nicht schalldurchgängig. Die kleinen Objekte sind schwierig zu positionieren. Die breiigen und zu festen Biopsieziele zerfallen oder sind nicht biopsierbar.

In den bisher veröffentlichten Rezepten wurde am häufigsten mit entsteinen Oliven gearbeitet. Es zeigte sich auch in dieser Untersuchung, dass sich Oliven am besten eignen. Die Vorteile sind:

- für ein Interventions-Phantom die optimale Größe

- wegen ihrer homogenen, echoreichen Struktur wenig Eigenartefakte
- leicht mit verschiedensten Materialien befüllbar
- kostengünstig und haltbar

Das Füllen einer Olive durch z.B. Kapern, Paprika etc. ist hervorragend geeignet, um bei einer Stanzbiopsie zu kontrollieren, ob genau die Mitte der „Raumforderung“ punktiert wurde. Dabei ist es hilfreich, wenn die Farbe der Füllung einen möglichst hohen Kontrast zur Farbe der Olive bildet. So ist an den Farben des Stanzzylinders (Olive – Füllung – Olive) zu erkennen, ob eine Stanzbiopsie genau mittig durchgeführt wurde. Ein Glas entsteinte, mit roter Paprika gefüllte Oliven kostet 0,99 € und enthält ca. 30 Oliven.

2.6.2 Gefäßpunktion

Um das Punktieren von Gefäßen zu üben, müssen in den Phantomen Hohlräume geschaffen werden.

Die einzige Art der Herstellung von Hohlräumen ist es, mit festen Objekten zu arbeiten, welche nach dem Erstarren entfernt werden.

Nach Erstarren kann nicht ohne erheblichen Schaden ein Loch oder eine Vertiefung in das Phantom gebohrt oder geschnitten werden.

Ein horizontaler Hohlraum ließ sich nur mit deutlich erhöhtem Aufwand herstellen. Um eine Zerstörung des Behälters zu vermeiden, muss man einen zylindrischen Körper, der genau so breit sein muss, wie der Behälter, in diesen einklemmen, ansonsten ist die Lage des Körpers egal. Verwendet werden kann ein Abflussrohr, ein Kunststoffrohr bis etwa drei cm Durchmesser. Benutzt wurde hier vor allem ein passend gesägtes Leerrohr aus Kunststoff, welches für 0,79 € im Baumarkt erhältlich ist.

Nach Erkalten nimmt man das Phantom aus dem Behälter. Die eingeklemmten Körper werden aus der Gelatine herausgezogen. Das Phantom wird in den Behälter zurückgelegt, dieser wird vorher mit Wasser gefüllt. Hierbei ist darauf zu achten, dass sich die Hohlräume ohne Luftpinschlüsse mit Wasser füllen.

Ein schräger Hohlraum ist noch einfacher herzustellen. Dafür muss nur ein Stab oder Rohr, welcher länger als der Behälter ist, schräg in die flüssige Gelatinelösung eingelegt werden.

Nach Festwerden und Herausziehen des Stabes oder Rohres wird der vorhandene Hohlraum mit Wasser gefüllt. Auch hier kommt das Leerrohr zum Einsatz.

Geachtet werden muss grundsätzlich auf eine hydrophobe Oberfläche der implementierten Körper. Bei Holzprodukten kann dies durch einfaches Einölen erreicht werden. Hiermit lassen sich einfache Gefäßpunktionen und die Arbeit mit Führungskathetern sowie die Seldinger Technik gut simulieren.

2.6.3 Hohlräume zur Darstellung von Zysten/Abszessen

Die Simulation einer Abszesshöhle, einer einfachen Zyste oder einer flüssigkeitsgefüllten Körperhöhle ist notwendig, um Drainage- und Parazentesetechniken zu trainieren.

Es stellte sich jedoch heraus, dass eine Herstellung von Phantomen analog zur Gefäßpunktion mit kugelförmigen, großen Hohlräumen nicht möglich ist.

Der Einsatz von festen schweren Kugeln am Boden führte nach dem Herauslösen fast immer zur Begleiterstörung der Umgebungsstruktur. Zusätzlich war ein Zurücklegen in den Behälter mit gleichzeitiger Wasserfüllung sehr schwierig und gelang nur, wenn dies alles unter der Wasseroberfläche stattfand. Daher wurde dies nicht weiter verfolgt.

Auch der Versuch, ein rohes Ei, welchem durch Einlegen in Essigessenz die Schale entzogen worden war, in die Geliernasse einzubringen, stellte sich als kaum praktikabel heraus.

Kleine Luftballons mit einem Durchmesser von 8 cm (100 Stück: 1,95 €) können, wie im folgenden Kapitel herausgefunden, an den Boden des Behälters positioniert werden. Wasser als Inhaltsstoff ist ausreichend.

Man kann den Inhalt etwas dickflüssiger gestalten, indem man eine Wasser-Joghurt Mischung im Verhältnis 1:1 benutzt. Man kann auch Joghurt pur verwenden. Wasser stellt sich komplett echofrei im Ultraschallbild dar und ist sehr leicht abpunktierbar. Joghurt erscheint echoreich und hat eine ähnliche Viskosität wie Abszessflüssigkeit.

Bei Punktion oder bei Direktpunktion der Drainage zerplatzt der Ballon und schwebt in der einliegenden Flüssigkeit sichtbar umher. Die Höhle aber bleibt bei allen interventionellen Techniken konstant groß. Außerdem kann die Höhle mehrmals, je nach Art der Intervention mindestens zweimal benutzt werden.

2.6.4 Platzierung der Punktionsziele in dem Phantom

Zu untersuchen galt auch, wie die jeweiligen Biopsieziele in das Phantom an definierter Stelle eingebracht werden können.

Gelatine- oder Agarlösungen sind relativ dichte Lösungen. Wassergefüllte Ballons, wasserhaltige oder lufthaltige Lebensmittel schwimmen sofort an der Oberfläche. Nach dem Aushärten ist es nicht mehr möglich, Objekte nachträglich zu platzieren; dabei bricht die feste Gelatine oder das Agar Agar auf, schließt sich nicht mehr über dem Punktionsobjekt und nimmt Luft auf.

Um Objekte in der gewünschten Position fixieren zu können, wird häufig empfohlen, die Herstellung in mehreren Schritten durchzuführen. Zunächst wird eine Geliermittellösung in den Behälter gegeben. Diese härtet aus und dann werden die Objekte darauf platziert. Nach ausreichender Festigkeit (4-6 h) wird eine weitere Schicht der gleichen Gelierlösung dazu gegeben. Nach gleicher Wartezeit ist das Phantom fertig. Artefakte entstehen an der Grenzfläche, wenn die erste Lösung nicht schaumfrei ist, oder wenn sich Bestandteile wie z.B. Öle aus den eingelegten Objekten herauslösen und einen Ölfilm auf der Grenzschicht bilden. Trotz genauer Mischung und Beachtung zur Vermeidung von Lufteinschlüssen etc. lässt sich ein sonographisch auffälliger, horizontaler, echodichter Streifen an den Grenzschichten nicht vermeiden. Zudem ist bei dieser Prozedur ein deutlich erhöhter Arbeits- und Zeitaufwand einzuplanen. Es treten immer B-Bild-morphologische Artefakte durch die Grenzschicht auf.

Die meisten Oliven schwimmen an der Oberfläche des noch flüssigen Basis-Phantoms, da sie noch viele Öle enthalten oder noch zusätzlich in Öl eingelegt waren. Oliven, welche in Wasser eingelegt verkauft werden, sind meist schwerer als Wasser und sinken zu Boden. Daher ist es notwendig, ein Platzieren der Objekte unabhängig von deren Schwere, Dichte oder Größe möglich zu machen. Somit muss die flüssige Gelatinelösung an definierten Orten eher fest werden, damit in diesen Bereichen die Objekte nach Einbringung durch Herunterschweben oder Herunterdrücken an diesem schon festeren Punkt positioniert bleiben. Gleichzeitig soll dieses Verfahren ohne größeren Aufwand und von jedermann durchführbar sein.

Letztendlich konnte dies mit folgender Technik erreicht werden: Es wird die gerade aufgelöste Geliermasse mit Behälter bis zur Hälfte in ein kaltes Wasserbad gestellt. Der Behälter wird mit einem Deckel verschlossen, damit die Masse an der Oberfläche nicht zu schnell auskühlt. Dadurch härtet die Masse unterschiedlich schnell aus, ohne störende

Grenzschichten zu bilden. Nach ein bis drei Stunden, je nach Herstellungsart und Temperatur, wird das Phantom zunehmend geliger, und zwar aufsteigend vom Behälterboden in Richtung Behälteröffnung. In die im unteren Bereich schon halb feste Masse lassen sich die verschiedensten Objekte mittels kleiner Gabeln oder Schaschlikspießen oder mit dem Finger positionieren.

Platziert man die Objekte zu früh, dann steigen sie langsam wieder auf, können aber bei der entsprechenden Konsistenz des Phantoms später noch einmal neu platziert werden. Ist die Konsistenz des Phantoms schon zu fest, reißt die Oberfläche und schließt sich nicht mehr. Hierbei entstehen störende Artefakte.

In dem 1,5 l Gelatine-Phantom sind bei 20°C Raumtemperatur und 12°C Wassertemperatur nach einer Stunde die Objekte, inklusive der wassergefüllten Luftballons, in den schon festeren Bereich platzierbar.

Wassergefüllte Luftballons konnte man auch direkt am Boden halten, indem man kleine, schwere Gegenstände, z.B. Stecknüsse aus dem Werkzeugkasten, in die Luftballons einbrachte. Dies erwies sich aber als zu aufwendig. Am besten können die Ballons mit der oben beschriebenen Technik positioniert werden.

Der Knoten des Luftballons sollte dabei nach unten zeigen, da sonst das sonographisch gewünschte Kugelbild verzerrt wird.

3. Ergebnisse

3.1 Das ideale Basis-Phantom

Die oben beschriebenen Versuche zeigen, dass sich zur Herstellung eines Phantoms zum selbstständigen Erlernen der interventionellen Sonographie am besten Gelatine eignet.

Sie ist allgemein bekannt, findet im Haushalt regelmäßig Verwendung und ist daher überall erhältlich. Die Herstellung des Phantoms gelingt preisgünstig, relativ schnell, geruchsfrei und ist als Grundlösung für alle getesteten interventionellen Sonographieverfahren geeignet.

Aus praktikablen Gründen haben sich hohe, rechteckige Behälter bewährt, wie es sie nahezu in jedem Kaufhaus als Vorratsbehälter oder Einfrierdosen zu kaufen gibt. Runde, schüsselförmige Behältnisse erzeugen geringfügig mehr Reflexionsartefakte.

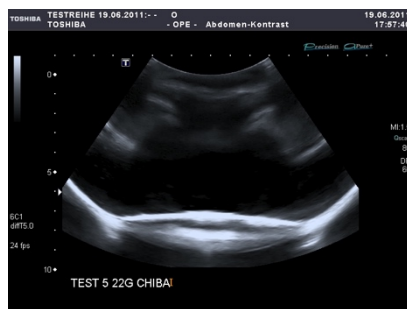


Abbildung 1: Phantom in rundem Behälter

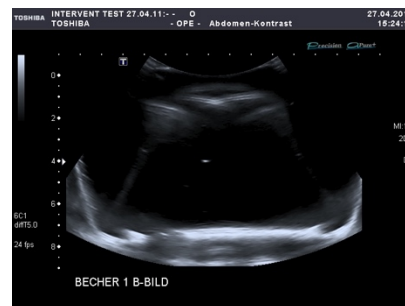


Abbildung 2: Phantom in eckigem Behälter

Bei hohen Gefäßen kann man die meisten sonographischen Interventionen in unterschiedlichen Tiefen üben. So ist es z.B. möglich, Oliven in verschiedene Höhen des Behälters einzubringen. Auf diese Weise lassen sich Biopsien, Punktionen und Drainagen in steigenden Schwierigkeitsgraden trainieren, da mit längerem Punktionsweg auch die Genauigkeit der Führung des Interventionsmaterials zunehmen muss.

Durch die Verschleißbarkeit ist auch der Transport völlig unproblematisch und ein Austrocknen der Oberfläche wird verhindert. Außerdem lassen sich mehrere Behältnisse eckiger Form platzsparender transportieren als runde.

Einzig für die Herstellung von Gefäßsimulationen in dem Phantom sollten die Behältnisse auch eckig, aber eher flach sein.

Die oben beschriebene und gezeigte Bildung von Artefakten durch die Reflektion am Rand des Behälters bildet einen Störfaktor. Vermeiden, bzw. reduzieren lässt er sich entweder, wie beschrieben, durch Hinzufügen von Zusatzstoffen wie Mehl, Paniermehl oder Mucofalk, oder

in geringem Maße durch komplette Verringerung der depth-gain-compensation (selektive Verstärkung in unterschiedlichen Tiefen) in den Tiefen. Wird der Schallkopf geringfügig so gekippt, dass die Schallwellen nicht mehr im senkrechten Winkel auf den Boden aufkommen, ist dieser Störfaktor auf einfachste Art ebenfalls stark reduziert. Dieses kann aber bei runden Schüssel kaum angewendet werden.

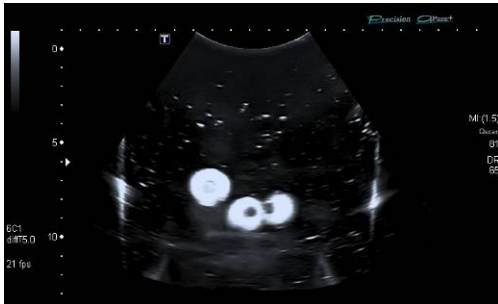


Abbildung 3: B-Modus mit Oliven ohne Reflex durch Kippen des Schallkopfes

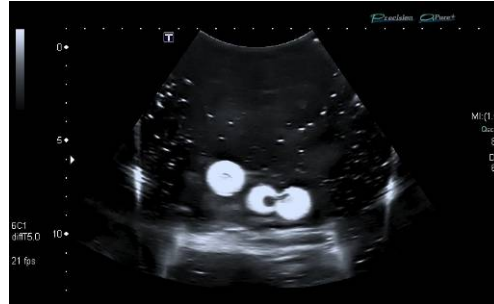


Abbildung 4: B-Modus mit Oliven und mit Reflexartefakten

Außerdem lässt sich, am einfachsten mit Mehl, eine gewebetypische Echogenität und Undurchsichtigkeit des Phantoms erreichen. Hier reichen geringe Mengen aus. Zusätzlich fallen dann auch die Artefakte durch kleine Luftblasen in der Gelatine nicht mehr auf.



Abbildung 5: B-Modus ohne Mehl

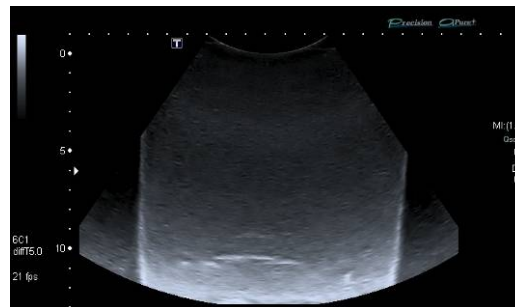


Abbildung 4: B-Modus mit Mehl

Je nach Übungsintention eignen sich verschiedene Objekte, die in das Grund-Phantom eingebracht werden:

- für das Biopsieren Oliven mit kontrastfarbiger Füllung,
- für das Punktieren längliche Hohlräume durch Einbringung und wieder Entfernung von Kunststoffrohren,
- für das Drainieren rundlicher Hohlräume durch das Einbringen von mit flüssigem Material (z.B. Wasser oder Joghurt) gefüllten Ballons.

Die Platzierung der Objekte nach dem unter 2.6.4 beschriebenen Verfahren ist sehr einfach und mit einem geringen Aufwand verbunden. Die Oliven können flexibel und einfach in unterschiedlichen Schichten positioniert werden, ohne dass es zu Grenzschichtbildung kommt.



Abbildung 7: Grenzschicht durch zweizeitige Herstellung



Abbildung 6: Platzierung mehrerer Objekte

Die Kosten belaufen sich auf ca. unter 2 € pro Phantom, hinzu kommt der einmalige Kauf eines geeigneten Behälters für ca. 5 €.

Zur Herstellung eines Phantoms benötigte man maximal zwei Stunden. Für die reine Arbeitszeit werden nur 20 Minuten benötigt, allerdings entstehen Wartezeiten, während die Gelatine geliert. Am Ende des Gelierens, bei gewünschter Festigkeit der Gelatine, müssen die Objekte eingebracht werden.

Unproblematisch ist die Herstellung mehrerer Phantome parallel zueinander.

Anschließend muss die Gelatine noch 6 Stunden lang gekühlt werden, um vollständig zu gelieren und eine ausreichende Festigkeit zu bekommen.

Die Herstellung kann überall erfolgen und ist räumlich nur an eine Quelle zum Erhitzen und einen Ort zum Abkühlen gebunden.

Dies wurde im Rahmen der Teilnahme am Weltultraschallkongress in Wien im August 2011 praktisch erprobt.

Ein Teil der Phantome wurde eine Woche vorher zu Hause hergestellt.

Der Transport und die Lagerung erfolgten in einer handelsüblichen elektrischen Kühlbox, die im Auto am Zigarettenanzünder und im Hotel am Stromnetz angeschlossen war. Die Kühlleistung beträgt bei diesen Modellen maximal 18°C unter der Umgebungstemperatur.

Ein zweiter Satz Phantome wurde im Hotelzimmer am Tag vor der Präsentation hergestellt.

Für die Herstellung im Hotelzimmer ohne Küche wurde eine Mikrowelle von zu Hause mitgenommen. Die Abkühlung erfolgte im Waschbecken und in dem vorhandenen Bidet, die Lagerung in der Kühlbox, in welcher sich die schon zu Hause hergestellten Phantome befanden.

Beide Phantom-Sätze waren zum Zeitpunkt der Präsentation in tadellosem Zustand.

Die mögliche Lagerung und der Transport von Phantomen in einer elektrischen Kühlbox ermöglichen eine höhere Unabhängigkeit bezüglich des Zeitpunktes und Ortes der Herstellung. Falls eine längere Lagerung als sieben Tage vorgesehen ist, kann ein Zusatz von Konservierungsmitteln erfolgen.

Während einer Teilnahme an der Euroson-School for Interventional Ultrasound im Mai 2012 in Berlin wurde die Lagerfähigkeit in der Kühlbox getestet. Obwohl es zu dieser Zeit sehr heiß war und die Gelatine in den Phantomen weicher wurden, konnten sie nach zweitägiger Lagerung gut eingesetzt werden.

Bei fehlender Kühlung kann die Konzentration an Gelatine verdoppelt werden. Trotzdem sind dann ohne Konservierungsstoff keine langen Lagerungen über mehrere Tage sinnvoll.

Die Entsorgung der Phantome gestaltete sich unproblematisch. Da sie überwiegend aus Nahrungsmitteln bestehen und Gelatine sich bei Hitze wieder verflüssigt, können die Phantome, solange Plastikanteile durch z.B. Luftballone fehlen, entweder über den Abfluss mit heißem Wasser weggespült oder als Biomüll entsorgt werden.

Nach der Benutzung während des Weltultraschallkongress in Wien und der Euroson-School in Berlin erfolgte sie über den Restmüll. Die Phantom-Behältnisse wurden kurz ausgespült und waren somit im Prinzip sofort wieder einsatzfähig.

3.1.1 Das ideale Rezept

Im Folgenden wird nun das Rezept idealen Phantom präsentiert.

Rezept:

Für die Herstellung unseres idealen Phantoms benötigt man:

Zutaten:

- einen hohen, eckigen ca. 1,6-2 l fassenden Plastikbehälter
- 1,5l Wasser
- 100 g Gelatinepulver
- Mehl
- 1 Küchenwaage
- gefüllte Oliven
- Kleine Ballons
- 1 kaltes Wasserbad
- 1 Kühlschrank
- 1 Blasenspritze zum Befüllen des Ballons
- 1 Mikrowellenherd, alternativ Herd + Kochtopf oder Wasserkocher
- 1 Gabel zum Umrühren und Versenken der Oliven/ des Ballons
- 1 zylindrischer Stab/Rohr (Leerrohr, Metallstab)



Abbildung 7: Rezeptzutaten

Rezept:

In einem hohen Gefäß 500 ml Wasser mit 100 g Gelatine zehn Minuten quellen lassen,



Abbildung 8: 100 g Gelatine



Abbildung 11: 500ml Wasser



Abbildung 12: 10min quellen

dann zwei Minuten in der Mikrowelle erhitzen und dadurch die Gelatine auflösen,



Abbildung 9: In Mikrowelle erhitzen



Abbildung 10: ...bis komplett aufgelöst

danach einen Liter kaltes Wasser in die flüssige Gelatine langsam einrühren.



Abbildung 15: Kaltes Wasser dazugeben

Bei Bedarf kann auch zusätzlich 7g Mehl eingerührt werden. Am besten vorher in das Wasser einrühren, um Klumpenbildung oder Lufteinschlüsse durch zu starkes Rühren zu vermeiden.



Abbildung 16: Mehl als Zutat

Den Behälter verschließen, damit die Gelatinelösung oben nicht zu schnell auskühlt und bis zur halben Höhe der Gelatinefüllung in ein kaltes Wasserbad stellen.



Abbildung 11: Abkühlen

Nach circa einer Stunde gefüllte Oliven und/oder einen mit Wasser gefüllten kleinen Wasserballon an die gewünschten Stellen vorsichtig in die halb feste Gelatine platzieren.



Abbildung 12: Ca. 60min warten



Abbildung 19: Objektplatzierung mit Ballon

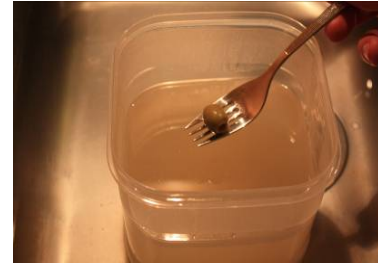


Abbildung 20: Objektplatzierung mit Olive

Die Oliven können, falls sie in der Lösung sinken, auch einfach jede Viertelstunde in die Lösung versenkt werden.

Ein Gefäßmodell erhält man, indem man einfach ein Plastikrohr in die flüssige Gelatinelösung gibt und es aushärten lässt.

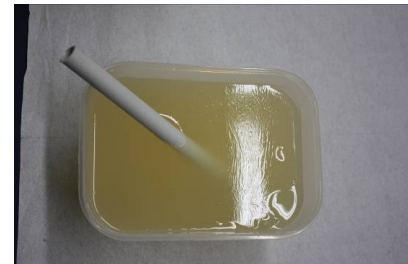


Abbildung 21: Gefäßmodell

Nach sechs Stunden im Kühlschrank bei 8 °C ist das Ganze ausgehärtet und einsatzbereit.

Kurz vor dem Sonographieren etwas Wasser auf das Phantom geben.

Die Kosten für solch ein Phantom betragen rund 2 €, der Zeitaufwand liegt bei etwa zwanzig Minuten für die Anfertigung plus sechs Stunden Kühlzeit. Man kann natürlich auch mehrere Phantome gleichzeitig herstellen.



Abbildung 22: Vier Phantome gleichzeitig

3.2. Interventionen am idealen Phantom

Die verwendeten 22 Gauge Chiba Punktionsnadeln (Abbildung 9 und 10), 18 G Chiba Punktionsnadeln (Abbildung 11 und 12), 18 G Grobstanzbiopsienadeln von der Firma Temno (Abbildung 13 und 14), 10 French Spül-Saug-Drainagen (Abbildung 15 und 16), 14 G Starburst Talon RITA (Abbildung 17 und 18) und der Amplatz superstiff Führungsdraht wurden aus Kostengründen zum einen aus einem Bestand von über dem Haltbarkeitsdatum befindlichen Instrumenten genommen und zum zweiten mehrmals benutzt.

Obwohl nur durch einfaches Abspülen unter Wasser ohne Sterilisation gesäubert, fielen an keinem der Interventionsmaterialien Auffälligkeiten, im Sinne von Verunreinigungen, Verstopfungen oder Fehlfunktionen auf. Ein Vergleich mit „regulärem“ Interventionsmaterial ergab bei Interventionen keinen Unterschied.

Alle Nadeln wurden mit und ohne Mehl getestet. Der Unterschied zeigte sich nur in der Echogenität und visuellen Darstellbarkeit. Es hatte keinen Einfluss auf die Durchführung der Biopsie. Auch die kleinste Punktionsnadel war in dem Phantom mit Mehl gut zu erkennen.

Spezielles Ultraschallgel muss nicht verwendet werden.

Beim Sonographieren reichte eine kleine Schicht Wasser auf dem Phantom, um eine ausreichende Ankopplung für qualitativ gute Sonographiebilder zu ermöglichen. Des Weiteren verringert eine Schicht Wasser auf dem Phantom das Eindringen von Luft bei der Intervention und damit die Sichtbarkeit des Einstichkanals nach erfolgter Punktion. Vermeiden lässt sich das Eindringen von Luft in das Phantom, wenn sich auch in der Nadel keine Luft mehr befindet.

Bei den Punktionsnadeln lässt sich dies so komplett vermeiden, bei der Abszessdrainage, der Stanzbiopsienadel und der Radiofrequenzablationsnadel ist es schwieriger. Je mehr Wasser man auf das Phantom gibt desto weniger Luft ist im Stichkanal, dafür ist der Schallkopf natürlich mitsamt der führenden Hand ebenfalls im Wasser.

Bei den Interventionen mit der 14 G Starburst Talon RITA waren auf Grund der Hohlräume der Ablationsnadeln immer Lufteinschlüsse vorhanden (Abbildung 19). Die einzelnen Ablationsdrähte sind nach Ausfahren gut zu erkennen. Eine reale Ablation mit Stromabgabe wurde nicht durchgeführt, da hier nur die Positionierung des Materials und nicht die eigentliche Thermoablation geübt werden sollte.

Die Steifigkeit der Gelatine ist bei normalem Auflegen des Sonographieschallkopfes ausreichend hoch, bei den Demonstrationen und Übungen in Wien und Berlin waren aber bei manchen Teilnehmern unter festem Druck rasch Schäden an der Oberfläche aufgetreten. Dies führte jedoch zu keiner Bildverschlechterung, da das Wasser nachfloss und das Bild sich nicht veränderte. Teilweise wurden bis zu 4 cm tiefe Löcher in die Gelatine mit dem Schallkopf „gedrückt“.



Abbildung 13:: Euroson-School Berlin: Phantom nach Benutzung

In den nachfolgenden Abbildungen erkennt man gut den Unterschied zwischen dem reinen Gelatine-Phantom auf der linken Seite und durch zufügen geringer Mengen Mehl die im Ultraschall echoreicherer und undurchsichtiger gewordenen Phantome



Abbildung 24: 22G-Chiba



Abbildung 25: 22G-Chiba mit Mehl



Abbildung 26: 18G-Chiba-Nadel



Abbildung 27: 18G-Chiba-Nadel mit Mehl



Abbildung 28: 18G-Temno-Stanzbiopsienadel



Abbildung 29: 18G-Temno-Stanzbiopsienadel mit Mehl



Abbildung 30: 10French-Drainage

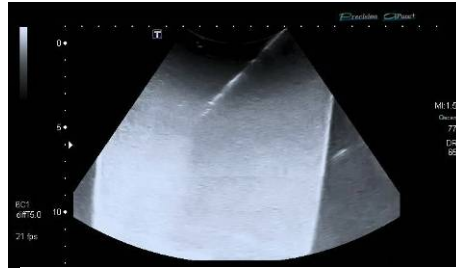


Abbildung 31: 10French-Drainage mit Mehl



Abbildung 32: 14G Talon-RITA



Abbildung 33: 14G-Talon-RITA mit Mehl



Abbildung 34: "Needle-tracking" durch 14G-Talon-RITA

3.2.1 Biopsie am idealen Phantom

Es wurde mit Hilfe eines Punktionsschallkopfes die geführte Biopsie und mit dem planaren 10 MHz Schallkopf und dem konvexen 5 MHz Schallkopf die Freihandbiopsie durchgeführt. Des Weiteren auch die geführte Punktion mit einem 5MHz Punktionsschallkopf.

Bei den verwendeten 22 Gauge (G) Chiba und 18 G Chiba Punktionsschallköpfen zeigte sich eine gute Sichtbarkeit im sonographischen Bild. Eine Feinnadelaspiration wäre somit prinzipiell möglich; allerdings konnte kein entsprechendes Objekt, welches eine vollständige Simulation ermöglicht, gefunden werden.

Mit der 18 G Grobstanziobiopsienadel wurde die Biopsie an Oliven durchgeführt (Abbildung 20 bis 22). Das letzte Bild (22) zeigt den Moment der Punktion, daher die schweifartige Bewegungsartefakte nach unten hin. Die Sichtbarkeit und das Aussehen der Oliven ähneln

echoreichen Metastasen in der Leber. Das gleiche Prozedere ist auch mittels eines Punktionsschallkopf dargestellt (Abbildung 23 bis 25).

Durch die Verwendung von Oliven, die mit Paprika gefüllt sind, erhält man eine sehr simple, aber effektive Eigenkontrolle bezüglich der Punktionsgenauigkeit. Hiermit erreicht man mit einfachsten Mitteln eine äußerst realitätsnahe Simulation der wichtigsten Interventionen.

Mit keinem anderen Material war eine annähernd kostengünstige, wie effektive Lösung erreichbar gewesen.

Durch mehrere Oliven im Phantom können viele (zehn bis zwanzig) Biopsieversuche pro Phantom vorgenommen werden. Allein die zunehmenden Artefakte durch Lufteneinschlüsse sind dabei der limitierende Faktor.



Abbildung 35: Olive schwebend



Abbildung 36: Punktionsbeginn

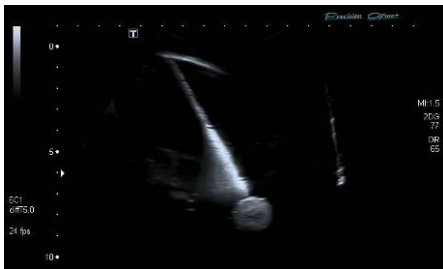


Abbildung 37: Stanzbiopsie



Abbildung 38: Einstellung mit Punktionsschallkopf



Abbildung 39: Punktionsbeginn mit Punktionsschallkopf



Abbildung 40: Stanzbiopsie nach Auslösen

3.2.2. Gefäßinterventionen am idealen Phantom

Hier wurde überwiegend mit dem planaren 10 MHz Ultraschallkopf die Punktion mit der 18 G Chiba-Nadel mit anschließender Platzierung eines Amplatz-Drahtes in Seldinger Technik durchgeführt. Der anschließend einzuführende Katheter war zumeist die Abszessdrainage, da hier nur das Prinzip getestet wurde. Bei zu starkem, bzw. weitem Einführen des Drahtes kommt es zur Verletzung der Gelatinematrix. Auch bei zu starker Bewegung am Einstichort kann die Gelatine „durchgeschnitten“ werden. Bei sachgemäßer Durchführung trat dies nicht auf.

Durch eine schräge Anordnung des Gefäßes kann sowohl die orthograde als auch eine flache Punktionsart gewählt werden. Der Draht ist im „Gefäß“ gut sichtbar. Hierdurch ist auch die einfachste Anfertigung des Phantoms möglich, es bedarf keiner weiteren Herstellungsmethode oder zeitaufwändigen Installation.

Auch hier kann mehrfach (zwei- bis dreimal) hintereinander am selben Modell praktiziert werden.

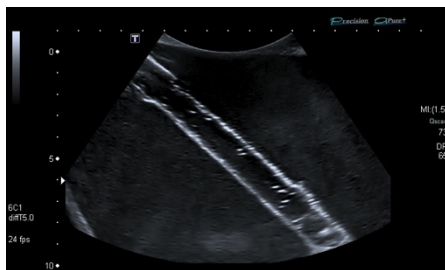


Abbildung 41: Gefäßmodell



Abbildung 42: Nadelpunktion

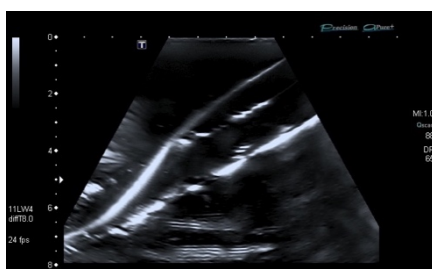


Abbildung 43: Einliegender Draht (Amplatz-superstiff)

3.2.3. Abszessintervention am idealen Phantom

Sowohl die Direktpunktion als auch eine Anlage in Seldingertechnik mit der 18G Punktionsnadel und dem Amplatz-superstiff Führungskatheter ist gut möglich. Wie erwähnt können alle Flüssigkeiten als Füllmaterial des Luftballons verwendet werden.

Einfach und praktikabel ist die Anwendung von Wasser. Für ein realistischeres Gefühl ist, auf Grund seiner Viskosität, einfacher Joghurt sehr gut geeignet, da er auch kostengünstig und einfach in der Befüllung des Ballons ist.

Die Nadel und der Draht, sowie die Drainage sind in Wasser gut zu erkennen, in Joghurt kaum. Ein Abfließen der „Abszessflüssigkeit“ neben der Drainage trat bei dem oben beschriebenen Gelatineverhältnis nicht auf. Bei niedrigerer Konzentration fiel die „Abszesshöhle“ nach Zerplatzen des Ballons in sich zusammen.

Die schwebende Ballonhülle verbleibt immer in der Höhle als Artefakt. Eine Lösung ohne Luftballon ließ sich nicht in dieser Einfachheit realisieren.



Abbildung 44: Abszessmodell

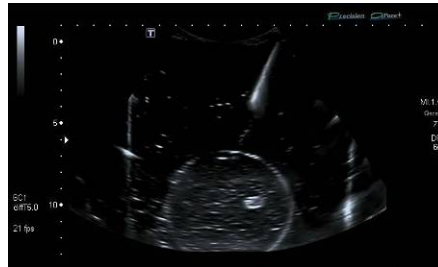


Abbildung 45: Punktionsbeginn Abszess



Abbildung 46: Durchstoßung des Abszesses

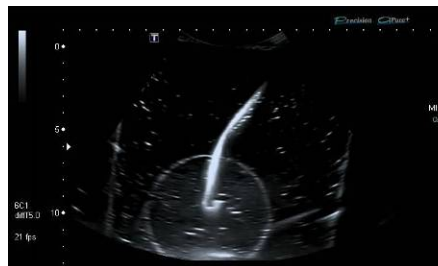


Abbildung 47: Einliegender Seldingerdraht



Abbildung 48: 8 French-Pigtaildrainage



Abbildung 49: Abszesspunktion mit Punktionschallkopf



Abbildung 50: Punktionsbeginn mit Punktionschallkopf



Abbildung 51: Nach Zerplatzen des Ballons mit sichtbaren Resten

3.3. Kontrastmittelsonographie am idealen Phantom

Im Grunde zeigte sich, dass die Ergebnisse im normalen B-Bild-Modus auch in dem viel signalschwächeren CEUS-Modus für die Kontrastmittelsonographie nahezu vergleichbar sind. Bis auf kleine Unterschiede in der Sichtbarkeit bei ruhenden Materialien ergaben sich nahezu identische Bilder.

Auch die Reflexionen am Boden sind gut erkennbar und lassen sich ebenso gut vermeiden.

Die Phantome zeigten im CHI-Modus, wahrscheinlich auf Grund mikroskopisch kleiner

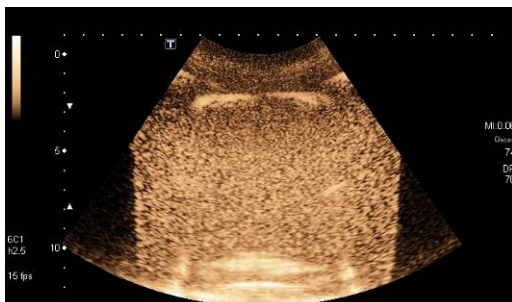


Abbildung 52: CHI Modus mit Bodenreflex



Abbildung 53: CHI Modus ohne Reflexe durch Kippen des Schallkopfes

eingeschlossener Luftblasen, deutlich mehr Speckles als im normalen B-Modus. Trotzdem waren alle eingebrachten Objekte gut zu erkennen. Selbst die 22 G Nadel ist in Bewegung an der Spitze gut zu erkennen und kann gezielt platziert werden. Der Winkel, in welchem die Nadel eingebracht wurde, hatte keinen Einfluss auf die Sichtbarkeit, solange sie bewegt wurde. Bei Stillstand verschwand sie nahezu komplett. Die größeren Nadeln (18 G) waren auch im Ruhezustand schwach zu sehen. Bei der 14 G Starburst Talon RITA war die Hauptnadel zu erkennen, die feinen Ablationsdrähte beim Ausfahren ebenfalls, jedoch nicht im Stillstand.

Das Üben von Interventionen im CHI-Modus ist uneingeschränkt möglich. Es entstehen keine weiteren Kosten, da Änderungen an dem Phantom nicht notwendig sind. Eine Untersuchung bzw. Simulation der Intervention unter Zugabe von Kontrastmittel an einem nicht durchbluteten Gewebe ist auf Grund der technischen Gegebenheiten natürlich nicht möglich. Das Phantom müsste dann eine Gefäßstruktur aufweisen, bis hin zu den Kapillaren, durch welche das Kontrastmittel mit erhöhter oder erniedrigter Anflutung zur Simulation von Raumforderung fließen könnte. Dies ist aber auch nicht erforderlich. Bis auf den simulierten Abszess mittels Luftballon, welcher nur schwach erkennbar ist, sind sowohl das Gefäßpunktionsmodell, als auch das Biospiemodell mittels Oliven geeignet, die jeweiligen Interventionen zu üben. In den folgenden Abbildungen sind zunächst erneut die jeweiligen Biopsie- /Interventionsnadeln im reinen und im Mehl-getrübten Phantom dargestellt.



Abbildung 54: 22G-Chiba-Nadel im CHI-Modus



Abbildung 55: 22G-Chiba-Nadel im CHI-Modus mit Mehl



Abbildung 56: 18G-Chiba-Nadel im CHI-Modus

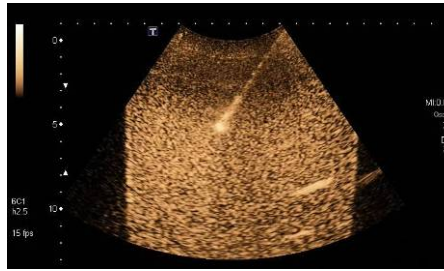


Abbildung 57: 18G-Chiba-Nadel im CHI-Modus mit Mehl

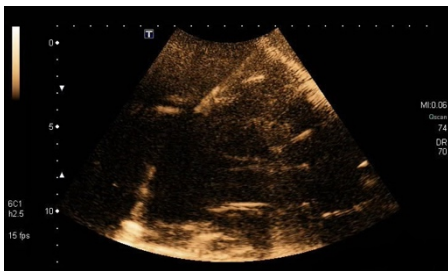


Abbildung 58: 18G-Temno-Stanzbiopsie im CHI-Modus



Abbildung 59: 18G-Temno-Stanzbiopsie im CHI-Modus mit Mehl

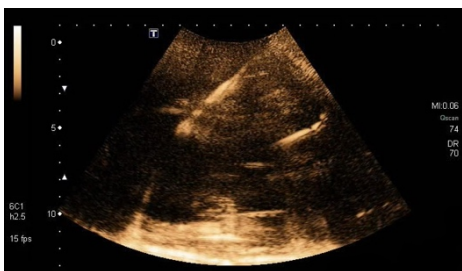


Abbildung 60: 10French Drainage im CHI-Modus

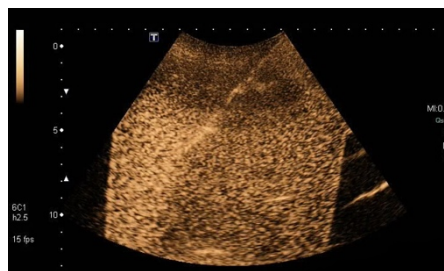


Abbildung 61: 10French Drainage im CHI-Modus mit Mehl

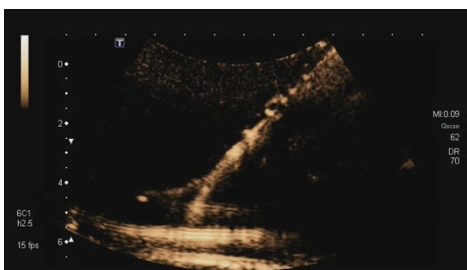


Abbildung 62: 14G-Talon-Rita im CHI-Modus

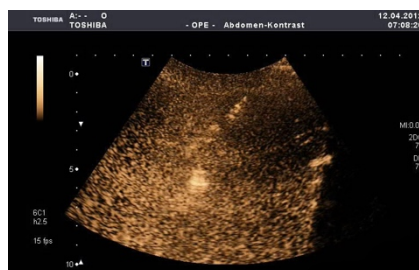


Abbildung 63: 14G-Talon-RITA im CHI-Modus mit Mehl

Die Sichtbarkeit der Oliven im Phantom und die Durchführung einer Biopsie sind im Folgenden dargestellt.



Abbildung 64: Phantom mit Oliven im CHI-Modus



Abbildung 65: 18G-Chiba Nadel mit Olive im CHI-Modus



Abbildung 66: 22G-Chiba-Nadel mit Olive im CHI-Modus

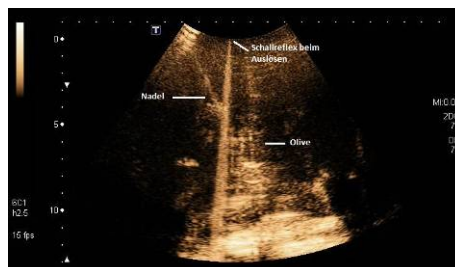


Abbildung 67: Artefakt beim Auslösen einer Stanzbiopsie

Auch die Abszesspunktion ist mit dem Phantom möglich, wengleich der Ballon etwas schwerer zu erkennen ist, dafür zeichnet sich die Drainage gut ab.

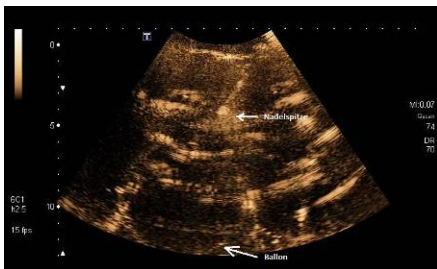


Abbildung 68: Abszesspunktion im CHI-Modus



Abbildung 69: 8 French-Pigtaildrainage im CHI-Modus

Auch das Gefäßpunktionsmodell zeigt eine ausreichende Sichtbarkeit im CHI-Modus.



Abbildung 70: Gefäßmodell im CHI-Modus

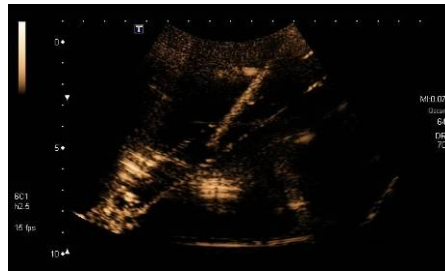


Abbildung 71: Gefäßpunktion im CHI-Modus



Abbildung 72: Seldingerdraht im Gefäß im CHI-Modus

In den beiden folgenden Bildern ist jeweils das gleiche Bild mittels Punktionschallkopf aufgenommen. Einziger Unterschied ist, dass in der ersten Abbildung die Nadel unsichtbar im Ruhestand ist, im zweiten Bild ist die gleiche Nadel durch die Bewegung dann sichtbar.

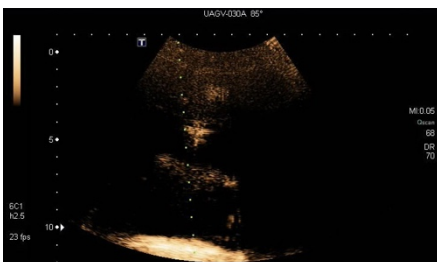


Abbildung 73: Nadel im Stillstand im CHI-Modus

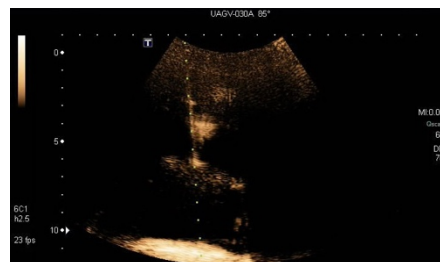


Abbildung 74: Gleiche Nadel in Bewegung

Zusammenfassend lässt sich konstatieren, dass sich alle Interventionsmaterialien auch im low-MI CEUS Modus anwenden lassen. Zudem können Phantome mit Einschränkungen (s. Diskussion) zur Übung solcher Einsätze verwenden lassen.

4 Diskussion

Ziel dieser Arbeit war es, ein einziges Grundmodell zu schaffen, welches je nach der zu trainierenden Interventionsform modifiziert werden kann. Dieses Phantom sollte klarere sonographische Bilder liefern als die bisherigen Modelle, durch die Vermeidung von Störbildern, z.B. Speckles, Reflektionen oder Grenzschichten. Es sollten handelsübliche, einfache und am besten weltweit zu beschaffende Zutaten verwendet werden. Außerdem sollte es kostengünstig und von jedermann einfach und schnell herstellbar sein.

Wissenschaftliche Studien über die eigene Herstellung von Phantomen sind bisher nicht durchgeführt worden. Ein Vergleich mit anderen Studien im Bezug auf die Herstellung von Phantomen kann daher nicht erfolgen. Die wenigen bisher publizierten Studien mit selbsthergestellten Phantomen zeigten, dass sich Phantome generell gut zum Trainieren interventioneller Sonographie eignen. Durch ihren speziellen Einsatz in nur einer Interventionsmaßnahme, durch zeit- und kostenintensive Herstellung oder durch Einsatz nur lokal verfügbarer Inhaltsstoffe wiesen alle Modelle Schwierigkeiten auf.

Die beste Übersicht über die einzelnen Methoden, Probleme und Lösungen haben Hocking, Hebard und Mitchell 2011 [54] gegeben. Hier erfolgte auch der Vergleich der verschiedenen Phantomarten mit 4 verschiedenen „Nerven-Block“-Nadeltypen. Die zu vergleichenden fünf verschiedenen Phantomarten waren Wasser, ein käuflich erworbenes Phantom der Firma Blue, Gelatine mit Metamucil, Schwein und menschliches Gewebe. Der Nachteil dieser Arbeit ist, dass die Intervention der ultraschallgesteuerten Regionalanästhesie nur aus anästhesiologischer Sichtweise angeschaut wurde. Allerdings wurden hier sehr schön die Probleme der bisher veröffentlichten Phantome in tabellarischer Form dargebracht.

Tabelle 4: Potential Problems [54]

Potential Problems and Proposed Solutions in the Preparation and Use of Homemade Phantoms	
Common Problem	Solutions Proposed
Medium drying out	Surface layer of mineral oil (eg, baby oil)
Microbiological invasion	10% Formalin 10 ml Phenol/1000 mL media Chlorhexidine p-Methyl and p-propyl benzoic acids 70% Alcohol/alcoholic hand wash Refridgeration Nonperishable medium (eg, Premisorb)
Needle tracking	Attach an antireflux valve to the hub of each needle and prime with crystalloid Use needles with central stylets Surface layer of mineral oil (eg, baby oil) Microwave gelatin/agar models to reform and reuse

	Use meat/cadaveric phantom (less tracking)
Lack of echogenicity of medium	Metamucil Graphite powder Cornflour Flour Premisorb Lack of visual opacity Food dye Metamucil
Inhomogeneity of medium	Pour the mixture down the side of the bowl to exclude air bubbles Add ice cubes/ice-cold water while setting Refrigerate to set Stir mixture intermittently until firm Use Metamucil (maintains even consistency)
Incorporating targets in gel phantoms	Form phantom in stages if using an upright container Pour 1st layer and allow to partially set Rest target on layer If target floats, pour a thin layer around it and allow to partially set Pour further layer to cover Use a bag ("Zip-lock," IV fluid, 56 or barium enema bag) to form the phantom in and rotate it while cooling Barium enema bag Empty crystalloid bag
Reflection artifact from phantom base	3-mm Ribbed rubber matting or household sponge cloth placed on/in the base during formation

Regional Anesthesia and Pain Medicine & Volume 36, Number 2, March-April 2011 Phantom Review
* 2011

Die wichtigsten Probleme konnten hier gelöst werden. Auf Grund der oben beschriebenen Versuche konnte jedoch gezeigt werden, dass bei den bisherigen Modellen viele Zutaten überflüssig sind, manche Vorgehensweise deutlich mehr Zeit in Anspruch nimmt als notwendig ist, und die sonographischen Bilder von schlechterer Qualität sind.

Häufig wird Gelatine in einem zu hohen Mischungsverhältnis verwendet. [33,40,55-57] Dies erhöht nur die Festigkeit des Blocks, hat aber keinen Einfluss auf das sonographische Bild. Außerdem steigert es nur unnötig die Kosten und den Arbeitsaufwand.

Auch die Art der Gelatinezubereitung muss nicht kompliziert gestaltet werden. [40,42,47,55] Durch Vermeidung von elektrischem Rührgerät und durch langsames Eingießen der Flüssigkeiten können Lufteinschlüsse reduziert werden.

Ein großes Problem entstand bislang durch die umständliche Herstellungsweise. Um Objekte an einer bestimmten Stelle zu platzieren, wurden zwei oder noch mehr Gelatineschichten zeitlich nacheinander in den Phantombehälter eingebracht [58,61]. Hier störten die dadurch entstandenen Grenzschichten als stark echoreiches horizontales Band das B-Bild.

Eine weitere Idee war die Verwendung von Beuteln und das ständige Drehen bei der Verfestigung der Gelatine (z.B. alle 10 min wenden über 4-5 h im Tiefkühlfach) [41,46]. Diese Methoden der Herstellung stellen einen enormen Zeit- und Arbeitsaufwand dar. Außerdem war das Positionieren von mehreren Objekten auf unterschiedlichen Ebenen nicht möglich. In einem

Fall wurden erst Formen mit Nadeln und Silikonröhren hergestellt, in die dann Agar-Agar eingefüllt wurde und woraus nach Aushärten ein Gefäßmodell entstand. Auch hier ist ein hoher zeitlicher Aufwand und auch einiges an Geschick notwendig [29]. Gerade das Platzieren der Objekte in dem Phantom erfordert hier viele Versuche, um ein zufriedenstellendes Ergebnis zu erlangen.

Durch die Ausnutzung der geplanten, langsamen Verfestigung vom Boden aus nach oben können auf simple Weise die Objekte an beliebiger Stelle positioniert werden.

Einige Probleme, wie die der Lufteinschlüsse, also die Sichtbarkeit des Stichkanals durch eingebrachte Luft waren sehr viel einfacher zu lösen. Im Prinzip muss nur die Luft aus dem Interventionsmaterial entfernt werden, damit diese nicht in das Phantom eindringen kann. Hierbei funktioniert einfaches Wasser genauso wie Öl [61]. Ein Verschluss des Interventionsmaterials lässt trotzdem noch Luft in das Phantom eindringen [40].

Probleme, wie die Durchsichtigkeit der Gelatine im realen wie auch im sonographischen Bild sind eher eine Frage des Geschmacks, bzw. können je nach Fertigkeit des Benutzers eher von Nutzen oder Nachteil sein. Einem Anfänger kann die visuelle Kontrolle der Lage des Objektes, des Interventionsmaterials und des Sonographieschallkopfes eine Hilfe sein. Bei gewünschter Undurchsichtigkeit reicht die Anwendung einer geringen Menge Mehl aus, da es hier zur Reduktion von Reflexionen vom Boden des Phantoms und zu einem Lebergewebe ähnlichen sonographischen Bild kommt. [42] Die anderen bisher angewendeten Zutaten erfüllen den gleichen Zweck, bei jedoch mitunter erheblich höheren Preisen [41,50,61]

Mit den hier vorgestellten Techniken ist es nun möglich, alle wichtigen und häufig angewandten Interventionen an **einem** Phantom zu üben. Dafür benötigt man nun kein teuer zu kaufendes Phantom mehr. Man kann als Leiter eines Kurses oder als Lernassistent selbstständig und in ausreichender Anzahl Phantome an jedem beliebigen Ort herstellen. Man kann sein Phantom nach Belieben durch Zugabe von z.B. Farbstoffen, anderen Objekten oder anderen eigenen Ideen nach seinen persönlichen Wünschen verändern.

Wie schon erwähnt liegt der finanzielle Aufwand bei ca. zwei € pro Phantom. Dies ist deutlich niedriger als die bisher beschriebenen 35\$ [54,59]. Er ist damit auch eklatant niedriger als bei dem günstigsten käuflich zu erwerbenden Interventionsphantom; dies ist ein Silikonkissen mit Biopsiematerial für 206\$, entsprechend 145€. Sinnvollerweise benötigt ein Interventionskurs

eine hohe Anzahl an Phantomen, um parallel üben zu können. Da aber auch die Nutzungsdauer eines käuflich zu erwerbenden Phantoms limitiert ist, steigt der Kostenaufwand erheblich.

Ein ebenso großer Vorteil liegt darin, dass jeder das für ihn passende Phantom einfach selbst herstellen kann. Je nach Übungszweck müssen so nicht mehrere teuer zu erstehende Phantome gekauft werden, sondern jeder kann das Basis-Phantom seinen Bedürfnissen entsprechend modifizieren.

Es bedarf auch nur eines geringen zeitlichen Mehraufwandes, um gleichzeitig mehrere verschiedene Phantome herzustellen.

Es gibt bisher keine Veröffentlichungen über den Gebrauch von Phantomen in der Kontrastmittel-Sonographie. Grundsätzlich zeigte sich auch im Bild bei niedrigem mechanischen Index, dass selbst sehr dünne Nadeln (22 G-Chiba-Nadel) zumindest in der Bewegung gut sichtbar sind. Da auch die eingebrachten Objekte schwach erkennbar blieben, liegt hier der Ansatz zur weiteren Forschung um sicher Interventionen während einer Kontrastmittel-Sonographie üben und durchführen zu können. Flüssigkeitsgefüllte Ballons sind im CHI-Modus nur sehr schlecht zu erkennen. Die eigentliche Aufgabe aber ist die sichere Biopsie und die kann mit Oliven im CHI-Modus gut durchgeführt werden.

Da technisch bedingt nur ohne Kontrastmittel gearbeitet werden kann, ist eine Darstellung eines realistischen, komplexen und dynamischen Kontrastmittelsonographieverlaufs mit diesem Phantom nicht möglich. Da aber eine sichere Punktionsimulation unter CHI-Modus möglich ist, ist die Simulation mit Kontrastmittel auch nicht notwendig.

Im August 2011 wurden die Phantome bei zwei „Interventional Ultrasound workshops“ im Rahmen des Weltultraschallkongresses in Wien vorgeführt. Sowohl die Einfachheit, als auch die Möglichkeiten, die diese Phantome bieten, begeisterten die Kursteilnehmer. Bei den jeweils ca. dreißig Teilnehmern aus allen Teilen der Welt kam ein positives Feedback. In den beiden angefügten Fotos erkennt man 1. Einen Teilnehmer bei einer Freihand Biopsie einer Olive und 2. Eine Teilnehmerin bei einer Abszeßdrainage unter Hilfe von Herrn Prof. Klaus Schlottmann.



Abbildung 75: Biopsie WFUMB, Wien



Abbildung 76: Abszessdrainage WFUMB, Wien

Die damalige Oberärztin des Katharinen-Hospitals, Frau Dr. Birgit Koberg, führte im Herbst 2011 einen interventionellen Ultraschallkurs mit den drei verschiedenen Phantomen durch. Auch bei diesen Teilnehmern wurde großes Interesse geweckt. Die Resonanz war durchweg positiv.

Darüber hinaus haben wir die Phantome bei dem Kurs Interventional Ultrasound der Euroson-School der European Federation for Ultrasound in Medicine and Biology vom 10.05. – 13.05.2012 in Berlin zum Einsatz gebracht. Dabei kamen ca. achtzig aus ganz Europa in der Sonographie versierte Ärzte zur Vertiefung ihrer interventionellen Kenntnisse und Fähigkeiten zusammen. Auch hier war die Resonanz groß und es gab ein reges Interesse am Erhalt des Rezeptes, um damit an ihrem jeweiligen Arbeitsplatz weiterüben zu können. Die Phantome bereicherten den Kurs, da zeitgleich an vier Sonographiegeräten praktische Handhabung der Ultraschall-Interventionen demonstriert und geübt werden konnte.



Abbildung 77: Biopsie Euroson-School Berlin 1



Abbildung 78: Biopsie Euroson-School Berlin 2



Abbildung 79: Biopsie Euroson-School Berlin 3

Das Rezept zur Herstellung der Phantome wird auf die Homepage der DEGUM, der Deutschen Gesellschaft für Ultraschall in der Medizin, unter der Rubrik „Veröffentlichungen des Arbeitskreises für Interventionelle Sonographie“ zur freien Verfügung gestellt.

5. Zusammenfassung

Der Stellenwert der Sonographie ist in den letzten Jahren stetig größer geworden, sowohl in der bildgebenden Diagnostik als auch in der Therapie. Zahlreiche Fortschritte, insbesondere die kontrastmittelverstärkte Sonographie, haben diese Methode zum weit verbreitetsten bildgebenden Verfahren werden lassen. Dabei ist sie kostengünstig, flexibel einsetzbar und äußerst patientenschonend.

Unter Sicht können gezielt und mit reduzierten Komplikationsraten invasive Maßnahmen wie Punktionen, Biopsien oder Drainagen durchgeführt werden. Sonographisch-gesteuerte, interventionelle Verfahren sind den anderen (CT oder MRT) in den meisten Fällen überlegen.

Allerdings setzt die Anwendung dieser Verfahren ein intensives Üben derselben voraus. Da invasive Maßnahmen möglichst nicht an Patienten geübt werden sollten, benötigt man hierzu ein Simulationsobjekt, meist „Phantom“ genannt. Diese sind käuflich, aber sehr teuer zu erwerben. Eine Alternative stellen selbst hergestellte Phantome dar. Die wenigen bisher veröffentlichten Modelle überzeugen nicht.

In dieser Arbeit wurde ein Grundmodell geschaffen, welches je nach Bedarf modifiziert und von jedermann schnell und leicht selbst hergestellt werden kann, zu einem Kostenfaktor von unter 2 € je Phantom. Die Zutaten dazu sind alle in einem normalen Lebensmittelgeschäft käuflich zu erwerben.

Hierzu wurden verschiedene Geliermittel, Behältnisse, Trainingsobjekte, Zusatzstoffe, sonographische und interventionelle Geräte und Modi ausprobiert.

Bei den Geliermitteln hat sich Gelatine als das Sinnvollste herausgestellt. Nahezu alle Behältnisse können benutzt werden. Am Sinnvollsten eignet sich ein eckiges, hohes, 1,6-2 l fassendes Plastikgefäß. Als Trainingsobjekte für die Punktion solider Objekte eignen sich am besten entsteinte mit möglichst kontrastfarbiger Füllung versehene Oliven. Die kontrastfarbige Füllung ermöglicht die präzise Kontrolle einer Stanzbiopsie.

Die Punktion zystischer Objekte kann durch Einbringung von mit Wasser oder Joghurt gefüllten, kleinen Luftballons simuliert werden.

Um Gefäßpunktionen zu trainieren, können längliche Hohlräume geschaffen werden, durch Einbringung und wieder Entfernung von am besten Plastikstangen oder -rohren.

Zusatzstoffe können das Aussehen und die Haltbarkeit des Phantoms beeinflussen, für den eigentlichen Zweck sind sie aber nicht notwendig.

Es zeigte sich eine gute Darstellbarkeit aller Materialien, die in realen sonographischen Interventionen benutzt werden. Selbst im Modus der kontrastmittelverstärkten Sonographie waren die Interventionsmaterialien, gut allerdings nur in Bewegung, erkennbar. Hier zeigten sich erste Ansätze für das Üben kontrastmittelverstärkter sonographischer Interventionen.

Es folgt das Rezept für das Idealphantom:

In einem hohen Gefäß 500 ml Wasser mit 100 g Gelatine zehn Minuten quellen lassen, dann zwei Minuten in der Mikrowelle erhitzen und dadurch die Gelatine auflösen, danach einen Liter kaltes Wasser langsam in die flüssige Gelatine einrühren.

Den Behälter verschließen und bis zur halben Höhe der Gelatinefüllung in ein kaltes Wasserbad stellen.

Nach circa ein bis zwei Stunden, gefüllte Oliven und/oder einen mit Wasser gefüllten kleinen Luftballon an die gewünschten Stellen vorsichtig in die nun halbfeste Gelatine platzieren.

Nach weiteren sechs Stunden im Kühlschrank bei 8 °C ist das Ganze ausgehärtet und einsatzbereit.

Eine Schicht Wasser auf dem Phantom ersetzt das Sonographie-Gel. Sie vermeidet Lufteinschlüsse durch die Interventionen in dem Phantom.

Mit diesem Ideal-Phantom lassen sich die gängigsten Interventionen alleine oder in der Gruppe schnell, einfach und kostengünstig erlernen.

Es konnte auch gezeigt werden das ein Einsatz des Phantoms in der kontrastmittelverstärkten Sonographie grundsätzlich möglich ist.

6. Literaturverzeichnis

- [1] Bang N., Nachmann Nielsen M., Vejborg I., Mogensen A. M. Clinical report: contrast enhancement of tumor perfusion as a guidance for biopsy. *European Journal of Ultrasound*. 2000, Bd. 12, S. 159-161.
- [2] Claudon M., Cosgrove D., Albrecht T., et al. Leitlinien und Empfehlungen für die gute klinische Praxis zur Durchführung von Kontrastmittel-Ultraschall (KMUS) Update 2008. *Ultraschall in der Medizin*. 2008, S. 29-44.
- [3] Estépar R. S. J., Westin C.-F., Vosburgh K. G. Towards real time 2D to 3D registration for ultrasound-guided endoscopic and laparoscopic procedures. *Int J Comput Assist Radiol Surg*. November 2009, 4 (6), S. 549-560.
- [4] Ewertsen, C. Image fusion between ultrasonography and CT, MRI or PET/CT for image guidance and intervention - a theoretical and clinical study. *Danish Medical Bulletin*. 57 (9), 2010, S. 1-16.
- [5] Menzel, C. Vergleich von hochauflösendem Darmultraschall mit MR-Enterographie zur Diagnostik bei Patienten mit chronisch entzündlichen Darmerkrankungen. Regensburg : Medizinische Fakultät, Dissertation, 2009.
- [6] Numata K., Isozaki T., Ozawa Y., Sakaguchi T., Kiba T., Kubota T., Ito A., Sugimori K., Shirato K., Morimoto M., Tanaka K. Percutaneous Ablation Therapy Guided by Contrast-Enhanced Sonography for Patients with Hepatocellular Carcinoma. *AJR*. 2003, 180, S. 143-149.
- [7] Schacherer D, Klebl F, Zorger N, Schölmerich J, Schlottmann K. Sonographic controlled drainage of a fluid formation of the spleen in combination with pancreatitis. *Z Gastroenterol*. 2004, 42 (11), S. 1301-5.
- [8] Schwarzenberg, G. Untersuchung der Abbildungseigenschaften eines 3D-Ultraschall-Computertomographen. Karlsruhe : Fakultät für Informatik, Dissertation, 2009.
- [9] Sheafor D. H., Paulson E. K., Kliewer M. A., DeLong D. M., Nelson R. C. Comparison of Sonographic and CT Guidance Techniques: Does CT Fluoroscopy Decrease Procedure Time? *AJR*. 2000, 174, S. 939-942.
- [10] Langlois, SP. Focused ultrasound training for clinicians. *Crit Care Med*. 2007, 35 (5 Suppl.), S. 138-143.
- [11] Neri, Luca, Storti, Enrico und Lichtenstein, Daniel. Toward an ultrasound curriculum for critical care medicine. *Crit Care Med*. 2007, 35 (5 Suppl.), S. 290-304.
- [12] Sites B., Gallagher J.D., Cravero J., Lundberg J., Blike G. The learning curve associated with a simulated Ultrasound-Guided Interventional Task by inexperienced Anesthesia Residents. *Regional Anesthesia & Pain magazine*. 2004, Bd. 29, 6, S. 544-8.
- [13] Sites BD, Spence BC, Gallagher JD, et al. Characterizing novice behavior associated with learning ultrasound-guided peripheral regional anesthesia. *Reg Anesth Pain Med*. 2007;32:107Y115.
- [14] Smith HM, Kopp SL, Jacob AK, Torsher LC, Hebl JR. Designing and implementing a comprehensive learner-centered regional anesthesia curriculum. *Reg Anesth Pain Med*. 2009;34:88Y94.

- [15] Karmakar MK. The “water-based spine phantom” Va small step towards learning the basics of spinal sonography [e-letter]. *Br J Anaesth.* 2009, http://bj.oxfordjournals.org/forum/topic/brjana_el%3b4114 . abgerufen am 13.04.2012.
- [16] de Oliveira Filho GR, Helayel PE, da Conceicao DB, et al. Learning curves and mathematical models for interventional ultrasound basic skills. *Anesth Analg.* 2008;106:568Y573.
- [17] Sites BD, Chan VW, Neal JM, et al. 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.* 2009;34:40Y46.
- [18] Ertl, F. Spektrum und Komplikationen sonographisch gesteuerter Interventionen an der Medizinischen Klinik I Erlangen. Erlangen-Nürnberg : Medizinische Fakultät, Dissertation, 2011.
- [19] Ewertsen C., Grossjohann H., Nielsen C., et al. Biopsy Guided by Real-Time. *AJR.* 190, 2008, S. 1671-1674.
- [20] Feuerbach, Schreyer, Schlottmann. Standards radiologisch bildgesteuerter Biopsien- Indikationsstellung, Technik, Komplikationen. *Radiologie up2date.* 2003, 3, S. 207-223.
- [21] Georgianne-Smith D., Shiels W. E. Freehand interventional sonography in the Breast Basic principals and clinicals applications. *Radiographics.* 1996, 16, S. 149-161.
- [22] Sauer F, Khamene A, Bascle B, Vogt S. An augmented reality system for ultrasound guided needle biopsies. *Stud Health Technol Inform.* 2002, 85, S. 455-60.
- [23] Schafhalter-Zoppoth I., McGulloch C.E., Gray A.T. Ultrasound Visibility of Needles Used for Regional Nerve Block: An In Vitro Study. *Regional Anaesthesia and Pain Medicine.* 29, 2004, 5, S. 480-488.
- [24] Zhu Y, Magee D, Ratnaligam R, Kessel D. A training system for ultrasound-guided needle insertion procedures. *Med Image Comput Assist Interv.* 2001, 10 (Pt1), S. 566-74.
- [25] Ewertsen, C. Image fusion between ultrasonography and CT, MRI or PET/CT for image guidance and intervention - a theoretical and clinical study. *Danish Medical Bulletin.* 57 (9), 2010, S. 1-16.
- [26] Schwarzenberg, G. Untersuchung der Abbildungseigenschaften eines 3D-Ultraschall-Computertomographen. Karlsruhe : Fakultät für Informatik, Dissertation, 2009.
- [27] Sugimoto K., Moriyasu F., Shirashi J., Yamada M., Imai Y. A Phantom Study Comparing Ultrasound-Guided Liver Tumor Puncture Using New Real-Time 3D Ultrasound and Conventional 2D Ultrasound. *AJR.* 196, 2011, S. W753-W757.
- [28] Surry K. J., Austin H. J. B., Fenster A., Peters T. M. Poly(vinyl alcohol) cryogel phantoms for use in ultrasound and MR imaging. *PHYSICS IN MEDICINE AND BIOLOGY.* 2004, 49, S. 5529-5546.
- [29] Di Domenico, S., Santori, G., Porcile, E. u. a. Inexpensive homemade models for ultrasound-guided vein cannulation training. *Journal of Clinical Anesthesia.* 19, 2007, 7, S. 491-496.

- [30] Jia Wei Li, Manoj K. Karmakar, Xiang Li, Wing Hong Kwok und Warwick Dean Ngan Kee. Gelatin-Agar Lumbosacral Spine Phantom: A Simple Model for Learning the Basic Skills Required to Perform Real-time Sonographically Guided Central Neuraxial Blocks. *J Ultrasound Med.* February 2011, 30, S. 277-279.
- [31] Kendall J. F., Faragher J. P. TIPS FROM THE TRENCHES: Ultrasound-guided central venous access: a homemade phantom for simulation. *Can J Emerg Med.* September 2007, 9 (5), S. 371-373.
- [32] Mrug M., Bissler J. J. Simulation of real-time ultrasound-guided renal biopsy. *Kidney International.* 78, 2010, S. 705-707.
- [33] NICHOLSON R. A., CROFTON M. Training phantom for ultrasound guided biopsy. *The British Journal of Radiology.* 1997, 70 , S. 192-194.
- [34] Phal, Pramit M., Brooks, Duncan M. und Wolfe, Rory. Sonographically Guided Biopsy of Focal Lesions: A Comparison of Freehand and Probe-Guided Techniques Using a Phantom. *American Journal of Roentgenology.* May 2005, 184, S. 1652-1656.
- [35] Steigerwald, M. THOLUUSE, Thorax-, Trachea- and Lung Ultrasound in Emergency and Critical Care Medicine, Entwicklung und Überprüfung eines neuen Kurskonzeptes. Frankfurt am Main : Fachberich Medizin; Dissertation, 2009.
- [36] Wells, M., Goldstein, L. The polony phantom: a cost-effective aid for teaching emergency ultrasound procedures. *Int J Emerg Med.* 3, 2010, S. 115-118.
- [37] Benkhadra M, Faust A, Ladoire S, et al. Comparison of fresh and Thiel's embalmed cadavers according to the suitability for ultrasound-guided regional anesthesia of the cervical region. *Surg Radiol Anat.* 2009;31:531Y535.
- [38] Pollard BA. New model for learning ultrasound-guided needle to target localization. *Reg Anesth Pain Med.* 2008;33:360Y362.
- [39] Madsen EL, Zagzebski JA, Banjavie RA, Jutila RE. Tissue mimicking materials for ultrasound phantoms. *Med Phys.* 1978;5:391Y394.
- [40] Nicholson RA, Crofton M. Training phantom for ultrasound guided biopsy. *Br J Radiol.* 1997;70:192Y194.
- [41] Morehouse H, Thaker HP, Persaud C. Addition of Metamucil to gelatin for a realistic breast biopsy phantom. *J Ultrasound Med.* 2007;26:1123Y1126.
- [42] Bellingham GA, Peng PWH. A low-cost ultrasound phantom of the lumbosacral spine. *Reg Anesth Pain Med.* 2010;35:290Y293.
- [43] Hocking G, Gilmour F, Michell C. Porcine phantom for ultrasound-guided neuraxial blockade. *Br J Anaesth.* http://bja.oxfordjournals.org/forum/topic/brjana_el%3b5535 abgerufen am 13.04.2012.

- [44] Harvey JA, Moran RE, Hamer MM, DeAngelis GA, Omary RA. Evaluation of a turkey-breast phantom for teaching freehand, US-guided core-needle breast biopsy. *Acad Radiol.* 1997;4:565Y569.
- [45] Silver B, Metzger TS, Matalon TA. A simple phantom for learning needle placement for sonographically guided biopsy. *AJR Am J Roentgenol.* 1990;154:847Y848.
- [46] Berg WA, Krebs TL, Campassi C, Magder LS, Sun CC. Evaluation of 14- and 11-gauge directional, vacuum-assisted biopsy probes and 14-gauge biopsy guns in a breast parenchymal model. *Radiology.* 1997;205:203Y208.
- [47] Hopkins RE, Bradley M. In-vitro visualization of biopsy needles with ultrasound: a comparative study of standard and echogenic needles using an ultrasound phantom. *Clin Radiol.* 2001;56:499Y502.
- [48] Bradley MJ. An in-vitro study to understand successful free-hand ultrasound guided intervention. *Clin Radiol.* 2001;56:495Y498.
- [49] Liu Y, Glass NL, Power RW. Technical communication: new teaching model for practicing ultrasound-guided regional anesthesia techniques: no perishable food products! *Anesth Analg.* 2010;110:1233Y1235.
- [50] van Geffen GJ, Mulder J, Gielen M, et al. A needle guidance device compared to free hand technique in an ultrasound-guided interventional task using a phantom. *Anaesthesia.* 2008;63:986Y990.
- [51] Fornage BD. A simple phantom for training in ultrasound-guided needle biopsy using the freehand technique. *J Ultrasound Med.* 1989;8:701Y703.
- [52] Harvey JA, Moran RE, Hamer MM, DeAngelis GA, Omary RA. Evaluation of a turkey-breast phantom for teaching freehand, US-guided core-needle breast biopsy. *Acad Radiol.* 1997;4:565Y569.
- [53] Scherzinger AL, Cason PL, Clayman W, Carter W, Johnson ML and Rashbaum C. A tissue-equivalent upper abdominal phantom. *JUM Oct. 1, 1983, vol. 2, no. 10, 455-462*
- [54] Hocking G, Hebard S, Mitchel CH, A Review of the Benefits and Pitfalls of Phantoms in Ultrasound-Guided Regional Anesthesia. *Regional Anaesthesia and Pain Medicine.* 36, 2011, 2, 162-170
- [55] The use of Gelatine models in Ultrasound guided Intravenous Cannulation. http://www.youtube.com/watch?v=u9_1md1f-NM. abgerufen am 14.06.2011.
- [56] Bude, R. O. und Adler, R. S. An Easily Made, Low-Cost, Tissue-Like Ultrasound Phantom Material. *J Clin Ultrasound.* May 1995, 23, S. 271-273.
- [57] Fredfeldt, KE. An easily made ultrasound biopsy phantom. *J Ultrasound Med.* 1986, 5, S. 295.
- [58] Osmer CL. A gelatine-based ultrasound phantom. *Anaesthesia.* 2008;63:107.
- [59] Chantler J, Gale L, Weldon O. A reusable ultrasound phantom. *Anaesthesia.* 2004;59:1145Y1146.
- [60] Xu D, Abbas S, Chan VW. Ultrasound phantom for hands-on practice. *Reg Anesth Pain Med.* 2005;30:593Y594.

[61] Patel AS, Harrington TJ, Saunt KS, Jones WK. Construction of an ultrasound biopsy phantom. *Australas Radiol.* 1996;40:185Y186.

[62] Gibson RN, Gibson KI. A home-made phantom for learning ultrasound-guided invasive techniques. *Australas Radiol.* 1995;39: 356Y357.

[63] Schlottmann K, Kratzer W, Schölmerich J. Doppler ultrasound and intravenous contrast agents in gastrointestinal tract disorders: current role and future implications. *Eur J Gastroenterol Hepatol.* 2005 Mar;17(3):263-75.

[64] <http://www.i-med.ac.at/radiologie/kaz.html>, abgerufen am 11.04.2012

7.1 Abbildungsverzeichnis:

Abbildung 1: Phantom in rundem Behälter	19
Abbildung 2: Phantom in eckigem Behälter	19
Abbildung 3: B-Modus mit Oliven ohne Reflex durch Kippen des Schallkopfes	20
Abbildung 4: B-Modus mit Oliven und mit Reflexartefakten	20
Abbildung 5: B-Modus ohne Mehl	20
Abbildung 6: B-Modus mit Mehl	20
Abbildung 7: Grenzschicht durch zweizeitige Herstellung	21
Abbildung 8: Platzierung mehrerer Objekte	21
Abbildung 9: Rezeptzutaten	23
Abbildung 10: 10min quellen	24
Abbildung 11: 100 g Gelatine	24
Abbildung 12: 500ml Wasser	24
Abbildung 13: In Mikrowelle erhitzen	24
Abbildung 14: ...bis komplett aufgelöst	24
Abbildung 15: Kaltes Wasser dazugeben	24
Abbildung 16: Mehl als Zutat	24
Abbildung 17: Abkühlen	25
Abbildung 18: Ca. 60min warten	25
Abbildung 19: Objektplatzierung mit Ballon	25
Abbildung 120: Objektplatzierung mit Olive	25
Abbildung 21: Gefäßmodell	25
Abbildung 22: Vier Phantome gleichzeitig	25
Abbildung 23: Euroson-School Berlin: Phantom nach Benutzung	27
Abbildung 24: 22G-Chiba	27
Abbildung 25: 22G-Chiba mit Mehl	27
Abbildung 26: 18G-Chiba-Nadel	27
Abbildung 27: 18G-Chiba-Nadel mit Mehl	27
Abbildung 28: 18G-Temno-Stanzbiopsienadel	27

Abbildung 29: 18G-Temno-Stanzbiospienadel mit Mehl	27
Abbildung 30: 10French-Drainage	28
Abbildung 31: 10French-Drainage mit Mehl	28
Abbildung 32: 14G-Talon-RITA mit Mehl	28
Abbildung 33: 14G Talon-RITA	28
Abbildung 34: "Needle-tracking" durch 14G-Talon-RITA	28
Abbildung 35: Olive schwebend	29
Abbildung 36: Punktionsbeginn	29
Abbildung 37: Stanzbiopsie	29
Abbildung 38: Einstellung mit Punktionschallkopf	29
Abbildung 39: Punktionsbeginn mit Punktionschallkopf	29
Abbildung 40: Stanzbiopsie nach Auslösen	29
Abbildung 41: Gefäßmodell	30
Abbildung 42: Nadelpunktion	30
Abbildung 43: Einliegender Draht (Amplatz-superstiff)	30
Abbildung 44: Abszessmodell	31
Abbildung 45: Punktionsbeginn Abszess	31
Abbildung 46: Durchstoßung des Abszesses	31
Abbildung 47: Einliegender Seldingerdraht	31
Abbildung 48: 8 French-Pigtaildrainage	31
Abbildung 49: Abszesspunktion mit Punktionschallkopf	31
Abbildung 50: Punktionsbeginn mit Punktionschallkopf	31
Abbildung 51: Nach Zerplatzen des Ballons mit sichtbaren Resten	31
Abbildung 52: CHI Modus mit Bodenreflex	32
Abbildung 53: CHI Modus ohne Reflexe durch Kippen des Schallkopfes	32
Abbildung 54: 22G-Chiba-Nadel im CHI-Modus	33
Abbildung 55: 22G-Chiba-Nadel im CHI-Modus mit Mehl	33
Abbildung 56: 18G-Chiba-Nadel im CHI-Modus	33
Abbildung 57: 18G-Chiba-Nadel im CHI-Modus mit Mehl	33

Abbildung 58: 18G-Temno-Stanzbiopsie im CHI-Modus	33
Abbildung 59: 18G-Temno-Stanzbiopsie im CHI-Modus mit Mehl	33
Abbildung 60: 10french Drainage im CHI-Modus	33
Abbildung 61: 10french Drainage im CHI-Modus mit Mehl	33
Abbildung 62: 14G-Talon-Rita im CHI-Modus	33
Abbildung 63: 14G-Talon-RITA im CHI-Modus mit Mehl	33
Abbildung 64: Phantom mit Oliven im CHI-Modus	34
Abbildung 65: 18G-Chiba Nadel mit Olive im CHI-Modus	34
Abbildung 66: 22G-Chiba-Nadel mit Olive im CHI-Modus	34
Abbildung 67: Artefakt beim Auslösen einer Stanzbiopsie	34
Abbildung 68: Abszesspunktion im CHI-Modus	34
Abbildung 69: 8 French-Pigtaildrainage im CHI-Modus	34
Abbildung 70: Gefäßmodell im CHI-Modus	35
Abbildung 71: Gefäßpunktion im CHI-Modus	35
Abbildung 72: Seldingerdraht im Gefäß im CHI-Modus	35
Abbildung 73: Nadel im Stillstand im CHI-Modus	35
Abbildung 74: Gleiche Nadel in Bewegung	35
Abbildung 75: Biopsie WFUMB, Wien	40
Abbildung 76: Abszessdrainage WFUMB, Wien	40
Abbildung 77: Biopsie Euroson-School Berlin 1	40
Abbildung 78: Biopsie Euroson-School Berlin 2	40
Abbildung 79: Biopsie Euroson-School Berlin 3	40

7.2 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Behältnisse	5
Tabelle 2: Haltbarkeit der Phantome	11
Tabelle 3: Umrechnungstabelle Gauge - mm.....	13
Tabelle 4: Potential Problems [54]	36

8. Anhang

8.1 Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen Personen herzlich bedanken, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Insbesondere danke ich Herrn Professor Dr. med. Klaus Schlottmann für die freundliche Überlassung des Dissertationsthemas und die ständige hilfreiche Unterstützung, sowie für die umfassende wissenschaftliche Betreuung.

Ich danke außerdem dem Katharinen-Hospital, Unna, in welchem ich, nicht nur im Sonographieraum, zu jeder Zeit willkommen war und bin.

Darüber hinaus danke ich meinen Praxispartnern und dem ganzen Team für die Überlassung der dortigen Sonographiegeräte, sowie für ihre Unterstützung in der Arbeits- und Schreibphase dieser Dissertation.

Ein besonderer Dank gilt auch meinem Vater, der meine Texte in Grammatik und Rechtschreibung überprüft und korrigiert hat.

Und vor allem natürlich meiner Ehefrau, die mir einerseits trotz eigener Berufstätigkeit „den Rücken frei hielt“, andererseits aber auch das eine oder andere Mal aufmunternde, wenn nötig auch mahnende Worte fand, und mich so zur Weiterarbeit animierte.

8.2 Lebenslauf

Name: Sebastian Olschewski,
geb. Bauer

Geburtsdatum: 28. März 1978

Geburtsort: Werne in Westfalen

Wohnhaft: Hof Theiler 22
59192 Bergkamen

1984 – 1988 Osterfeldschule, Lünen

1988 – 1997 Freiherr-vom-Stein Gymn., Lünen

1997 Abschluss Abitur am Freiherr-vom-Stein Gymnasium. Lünen

1997 – 2003 Studium der Humanmedizin an der Ruhr-Universität in Bochum

2003 – 2004 Weiterführung des Studiums an der Westfälischen Wilhelms-Universität zu Münster

2003 - 2004 Absolvierung des PJs an den Städtischen Kliniken in Dortmund

2004 Approbation als Arzt

2004 – 2009 Assistenzarztstelle im Katharinen-Hospital in Unna

2010 -2011 Angestellter Arzt in der Gemeinschaftspraxis Dres. Quinna in Kamen

August 2011 Facharzt für Allgemeinmedizin

seit 2012 niedergelassener Hausarzt in der GP Quinna / Olschewski in Kamen

8.3 Erklärung

nach §4 Abs.2 der Promotionsordnung der Medizinischen Fakultät und der Naturwissenschaftlichen Fakultät III – Biologie und Vorklinische Medizin (Medizinische Fächer) vom 12. Juni 2008

Die Dissertation wurde angeregt und in ihrer Ausarbeitung überwacht von Prof. Dr. Klaus Schlottmann.

Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit ohne unzulässige Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Die aus anderen Quellen direkt oder indirekt übernommenen Daten und Konzepte sind unter Angabe der Quelle gekennzeichnet. Insbesondere habe ich nicht die entgeltliche Hilfe von Vermittlungs- bzw. Beratungsdiensten (Promotionsberater oder andere Personen) in Anspruch genommen. Niemand hat von mir unmittelbar oder mittelbar geldwerte Leistungen für Arbeit erhalten, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen. Die Arbeit wurde bisher weder im In- noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.