

Aus der

Universitätsklinik für Allgemeine, Viszeral- und
Transplantationschirurgie Tübingen

**4K vs. HD-Auflösung bei laparoskopischen Operationen –
eine prospektive Probandenstudie**

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin

der Medizinischen Fakultät
der Eberhard Karls Universität
zu Tübingen

vorgelegt von

Moroff, Melanie

2020

Dekan: Professor Dr. B. J. Pichler

1. Berichterstatter: Professor Dr. A. Kirschniak
2. Berichterstatter: Privatdozent Dr. J. Kolbenschlag

Tag der Disputation: 23.06.2020

Für meine Geschwister

Inhaltsverzeichnis

Tabellenverzeichnis	6
Abbildungsverzeichnis	6
Abkürzungsverzeichnis	8
1. Einleitung	9
1.1 Die Geschichte der Laparoskopie und Visualisierung	9
1.2 Laparoskopie heute	15
1.3 4K und seine Bedeutung für die Medizin.....	16
1.4 Vorteile und Nachteile von 4K.....	19
1.5 Fragestellung und Hypothesen	20
2. Material und Methoden	21
2.1 Probandenstudie – erster Teil.....	21
2.1.1 Probandenkollektiv	21
2.1.2 Studienaufbau	21
2.1.3 Versuchsaufbau.....	23
2.1.3.1 Die Kameratürme.....	23
2.1.3.2 Die Trainingsbox.....	24
2.1.3.3 Die laparoskopischen Instrumente.....	25
2.1.3.4 Bügelperlen	25
2.1.3.5 Der Arbeitsplatz	26
2.1.4 Übungen.....	27
2.1.4.1 Visustest.....	27
2.1.4.2 Aufwärmen	28
2.1.4.3 Übung 1	29
2.1.4.4 Übung 2.....	30
2.1.4.5 Übung 3.....	32
2.1.4.6 Übung 4.....	33
2.1.5 Instruktionvideos.....	34
2.1.6 Fragebogen	35
2.2 Ärztstudie – zweiter Teil.....	36
2.2.1 Probandenkollektiv	36
2.2.2 Studienaufbau	36
2.2.3 Fragebogen der Ärztstudie	37
2.2.4 Die Operationen	38
2.2.4.1 Transabdominale präperitoneale Plastik.....	38

2.2.4.2	Laparoskopische Cholezystektomie.....	41
2.3	Auswertung.....	43
2.3.1	Besonderheiten der Auswertung bei Cross-over-Studien.....	43
2.3.2	Statistische Auswertung.....	45
2.3.3	Fragebögen	46
2.3.4	Gruppenbildung	46
3.	Ergebnisse	47
3.1	Probandenstudie	47
3.1.1	Deskriptive Statistik	47
3.1.1.1	Übung 1	50
3.1.1.2	Übung 2.....	53
3.1.1.3	Übung 3.....	55
3.1.1.4	Übung 4.....	56
3.2	Pilotstudie Teil 2	59
3.2.1	Laparoskopische Cholezystektomie.....	61
3.2.2	TAPP.....	62
4.	Diskussion	63
4.1	Interpretation der Ergebnisse der Probandenstudie	63
4.1.1	3D – ein weiterer Versuch die Visualisierung in der Laparoskopie zu verbessern	70
4.1.2	4K und Narrow Band Imaging.....	72
4.2	4K in der Lehre	74
4.3	8K - Die Weiterentwicklung von 4K.....	75
4.4	Operationsroboter und Virtual Reality	77
4.5	Allgemeine Überlegungen zu den Ergebnissen der Probandenstudie	79
4.6	Interpretation der Ergebnisse der Ärztstudie	80
5.	Zusammenfassung	82
6.	Literaturverzeichnis	84
7.	Anhang	92
8.	Erklärung zum Eigenanteil	94
9.	Danksagung	95

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Festlegung der Reihenfolge, Einteilung je nach Gruppe.....	46
---	----

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Der Lichtleiter aus Milsom et al. 2006.....	10
Abbildung 2: Prinzip der Stablinsenoptik aus Lindner 1969.....	13
Abbildung 3: Prinzip der Luminaoptik aus Lindner 1969.....	13
Abbildung 4: Flussdiagramm der Probandenstudie.....	22
Abbildung 5: Aufbau des Arbeitsplatzes im Experimental-OP.....	23
Abbildung 6: Aufbau der Trainingsbox (modifiziert nach: Kirschniak et al. 2015).....	24
Abbildung 7: Bügelperlen	25
Abbildung 8: Landoltring.....	27
Abbildung 9: Aufwärmübung.....	28
Abbildung 10: Übung 1: Übung 1- makroskopische Sicht oben, laparoskopische Sicht unten.....	29
Abbildung 11: Übung 2 – makroskopische Sicht oben, laparoskopische Sicht unten.....	31
Abbildung 12: Übung 3 - laparoskopische Sicht.....	32
Abbildung 13: Übung 4 – makroskopische Sicht oben, laparoskopische Sicht unten.....	33
Abbildung 14: Tübinger MIC Trainer (modifiziert nach: Richard Wolf GmbH, 2015).....	37
Abbildung 15: Schritt 2 - Darstellen der Regio inguinalis.....	39
Abbildung 16: Schritt 3 - Sichelförmige Inzision des Peritoneums.....	40
Abbildung 17: Schritt 10 - Einbringen des Netzimplantats.....	40
Abbildung 18: laparoskopische Sicht.....	42
Abbildung 19: Schritt 3 - Präparation der Gallenblase.....	42
Abbildung 20: Gallenblasenbett nach Herausnahme der Gallenblase.....	43
Abbildung 21: Verteilung der Probanden nach Geschlecht.....	47
Abbildung 22: Verteilung der Probanden nach Semester.....	48

Abbildung 23: Antwort auf die Frage "Welches Bild war besser?".....	49
Abbildung 24: Deskriptive Statistik zur Übung 1 (Treffer).....	50
Abbildung 25: Deskriptive Statistik zur Übung 1 (Fehler).....	51
Abbildung 26: Deskriptive Statistik zur Übung 2 (Treffer).....	53
Abbildung 27: Deskriptive Statistik zur Übung 2 (Fehler).....	54
Abbildung 28: Deskriptive Statistik zur Übung 3.....	55
Abbildung 29: Deskriptive Statistik zur Übung 4 (Einstich).....	56
Abbildung 30: Deskriptive Statistik Übung 4 (Ausstich).....	57
Abbildung 31: Expertenbefragung – 1 „Haben Sie heute flüssiger gearbeitet als sonst?.....	59
Abbildung 32: Expertenbefragung – 2 „War bei einem der beiden Schirme die Orientierung im OP-Feld besser?“	60
Abbildung 33: Dauer der laparoskopischen CHE im Vergleich.....	61
Abbildung 34: Dauer der TAPP im Vergleich.....	62

Abkürzungsverzeichnis

2D	zweidimensional
3D	dreidimensional
4K	<i>UHD</i> mit der Auflösung 3840 x 2160 Pixel
8K	<i>UHD</i> mit der Auflösung 7680 x 4320 bzw. 8192 x 4320 Pixel
bzw.	beziehungsweise
CHE	Cholezystektomie
DOG	Deutsche Ophthalmologische Gesellschaft
et al.	(lat.) et alii = und andere
HD	<i>High Definition</i>
ITU	<i>International Telecommunication Union</i>
Jh.	Jahrhundert
lap.	laparoskopisch(e)
Min.	Minute(n)
n	Anzahl
n.Chr.	nach Christus
NBI	<i>narrow band imaging</i>
Sek.	Sekunde(n)
TAPP	Transabdominale präperitoneale Netz-Plastik
TEP	Totale extraperitoneale Netz-Plastik
TV	<i>Television</i>
UHD	<i>Ultra High Definition</i>
ZMF	Zentrum für medizinische Forschung in Tübingen

1. Einleitung

1.1 Die Geschichte der Laparoskopie und Visualisierung

Wer sich mit der Geschichte der Laparoskopie beschäftigt, muss sich unweigerlich auch mit den frühen Anfängen der Endoskopie auseinandersetzen (Nano 2012). Die ersten Beschreibungen von endoskopischen Untersuchungen stammen aus dem „Corpus Hippocraticum“ (Lau et al. 1997). Dort wird ein Spekulum beschrieben, das zur Behandlung von Mastdarmpisteln eingesetzt wurde (Berci und Forde 2000). Auch in den Ruinen der 79 n.Chr. zerstörten Stadt Pompeji wurden Instrumente gefunden, die in Aussehen und Funktion den heutigen vaginalen Spektula ähneln und im babylonischen Talmud wird über einen gebogenen Trichter geschrieben, mit dem die Spiegelung von Cervix und Vagina möglich war (Gordon und Magos 1989).

Bei der Untersuchung und Inspektion von Körperhöhlen wurde in der Antike nur mit Tageslicht und ohne künstliche Lichtquelle gearbeitet (Berci und Forde 2000; Lau et al. 1997). Dies änderte sich als - vermutlich durch Araber - etwa im Jahr 1000 n.Chr. der Spiegel in der Welt seine Verbreitung fand. Mit diesem gelang es Tageslicht so abzulenken, dass Körperhöhlen inspiziert werden konnten (Gordon und Magos 1989).

Erst im Jahr 1587 beschrieb Aranzi, dass mit der „camera obscura“ Sonnenstrahlen so durch eine mit Wasser gefüllte Glaskugelflasche abgelenkt werden konnten, dass damit eine Inspektion der Nasenhöhlen möglich war (Gordon und Magos 1989; Kirschniak und Granderath 2017).

1805 nutzte der Frankfurter Gynäkologe Bozzini erstmalig einen konkaven Spiegel und Kerzenlicht zur Inspektion und angelehnt an seine Idee konnten Fisher in den Vereinigten Staaten von Amerika und Seagales in Frankreich erfolgreich vaginale Untersuchungen mit reflektiertem Licht durchführen (Berci und Forde 2000; Nano 2012; Gordon und Magos 1989). Ein Jahr später baute Bozzini den „Lichtleiter“ (Abbildung 1). Dieser bestand aus einer Kerze als Lichtquelle, die sich in einem mit Spiegeln ausgestatteten Behälter befand und

mit verschiedenen Aufsätzen versehen werden konnte, je nachdem welches Organ inspiziert werden sollte (Milsom et al. 2006).

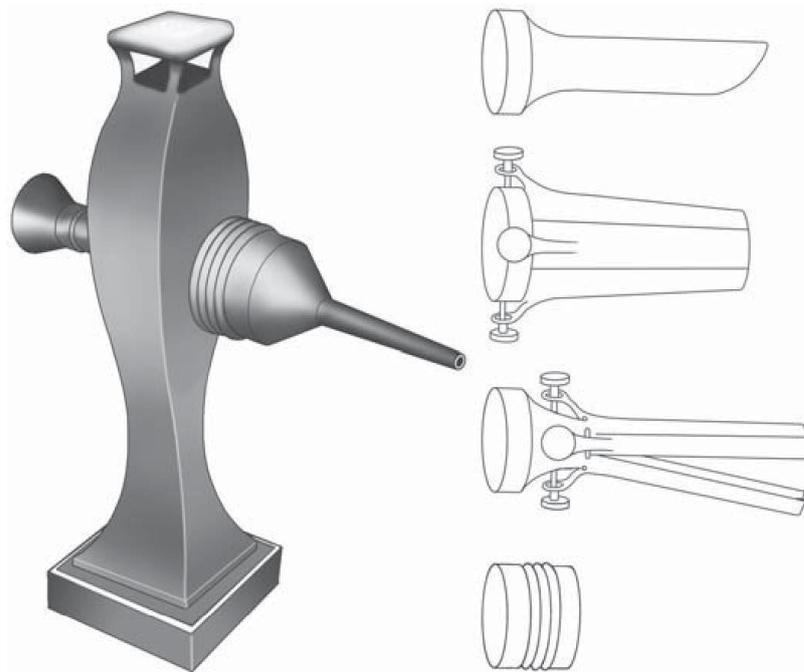


Abbildung 1: Der Lichtleiter aus Milsom et al. 2006

Die Erfindung der Glühbirne 1880 durch Edison markiert einen Wendepunkt der damaligen Endoskopie (Hickl und Berg 1991). Zwar hatten der Urologe Nitze in Zusammenarbeit mit dem Optiker Reinecke und Leiter, einem Instrumentenbauer, bereits die ersten Vorläufer unserer heute gebräuchlichen Endoskope gebaut, jedoch war die von ihnen genutzte Lichtquelle ein überhitzter, mit Wasser gekühlter Platindraht (Milsom et al. 2006; Gordon und Magos 1989). Nitze gelang es dann nach Modifikation von Edisons Glühbirne, die er an die Spitze der Optik montierte, das erste Zystoskop zu entwickeln (Berci und Forde 2000). Durch Anbringen der Lichtquelle an der distalen Spitze des Endoskops konnte das Licht direkt mit dem Zystoskop bewegt werden. Zusätzlich baute er eine Linse ein und integrierte einen Arbeitskanal (Milsom et al. 2006). Mikulicz entwickelte Nitzes Idee weiter und konnte so die erste Gastroskopie durchführen (Berci und Forde 2000).

Am Ende des 19. Jh. hatte sich die Endoskopie nach und nach zur Untersuchung der natürlichen Körperöffnungen etabliert und so wurden immer häufiger Zystoskopien, Proktoskopien, Gastroskopien und Laryngoskopien durchgeführt (Kaiser 2014). Dennoch wurde eine genaue Untersuchung von inneren Organen dadurch erschwert, dass anatomische Biegungen und Kurven zunächst nicht überwunden werden konnten (Lau et al. 1997).

Der Dresdner Chirurg Kelling vermutete bereits Anfang des 20. Jahrhunderts, dass beim Betrachten von Körperhöhlen eine bessere Sicht gewonnen werden könnte, wenn man diese mit Luft füllt (Gordon und Magos 1989). Im September 1901 führte er mit Nitzes Zystoskop eine „Coelioskopie“ an einem Hund durch (Milsom et al. 2006; Cwach und Kavoussi 2016). Sein Ziel war es eine gastrointestinale Blutung mittels Lufttamponade zu versorgen (Berci und Forde 2000). Kellings Coelioskopie war somit historisch gesehen der erste laparoskopische Eingriff (Hatzinger et al. 2006). Im selben Jahr führte der schwedische Internist Jacobaeus die Laparoskopie am Menschen durch. 1910 beschrieb Jacobaeus ein Verfahren in dem man durch Anlage eines Pneumoperitoneums und unter Nutzung eines Zystoskops abdominale Organe inspizieren konnte (Bernheim 1911). Er war es auch, der den Begriff „Laparoskopie“ erstmalig verwendete. (Nano 2012; Cwach und Kavoussi 2016). Kelling und Jacobaeus sind somit die Begründer der Laparoskopie, wie wir sie heute kennen (Lau et al. 1997). Nach der Geburtsstunde der Laparoskopie zu Beginn des 20. Jahrhunderts wurde sukzessive spezielleres Instrumentarium entwickelt, durch welches eine genaue und komplette Untersuchung des Bauchraums unter laparoskopischen Gegebenheiten ermöglicht wurde (Himal 2002).

Bernheim beschreibt die Organoskopie 1910 mit Proktoskop und Stirnleuchte (Bernheim 1911). 1912 erfand Nordentoeft in Kopenhagen den ersten Trokar (Gordon und Magos 1989) und der Deutsche Heinz Kalk konstruierte 1929 eine Linse, mit der eine 45°-Sicht zur besseren Inspektion möglich war (Lau et al. 1997).

1933 wurde die erste moderne laparoskopische Operation durchgeführt: Fevers gelang die erste Adhäsioolyse mit Thermokoagulation und Entnahme von Gewebeproben (Nano 2012).

1936 entwickelte Schindler das semi-flexible Gastroskop, da die Gastroskopie durch die anatomische Beschaffenheit des Magen-Darm-Traktes mit einem starren Rohr nicht zufriedenstellend durchgeführt werden konnte (Berci und Forde 2000).

1938 erfand Veress in Budapest die Veress-Nadel, mit der bis heute noch das Kapnoperitoneum durch Insufflation durchgeführt wird (Gordon und Magos 1989).

Die Laparoskopie war anfangs vor allem für diagnostische Zwecke verwendet worden. Im Zuge von technischen Verbesserungen entwickelten sich auch immer mehr Möglichkeiten der operativen Laparoskopie und so wurden immer häufiger intraabdominelle Eingriffe laparoskopisch durchgeführt (Cwach und Kavoussi 2016).

Die Schwierigkeit des Aus- und Beleuchtens von Körperhöhlen beschäftigte die Entwickler von Endoskopen noch lange (Berci und Forde 2000). Vor den 1950er Jahren war die endoskopische Lichtquelle eine kleine Wolframglühlampe am Ende des Instrumentes (Lau et al. 1997).

Mit der Entwicklung der Stablinse durch Hopkins 1953 gelang es durch die verringerte Lichtabsorption ein helleres Bild mit besserer Auflösung zu gewinnen (Gordon und Magos 1989; Berci und Forde 2000).

Die Stablinsenoptik (Abbildung 2) zeichnet sich dadurch aus, dass die Räume zwischen den hintereinander gelegenen Linsen durch Glas ersetzt wurden und nicht mehr nur Luft enthielten (Lindner 1969; Milsom et al. 2006).

Durch die Implementierung von Stablinsen konnte also eine erhebliche Verbesserung in der Bildtransmission gewonnen werden (Hickl und Berg 1991).

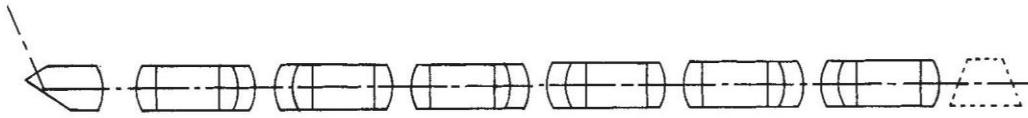


Abbildung 2: Prinzip der Stablinsenoptik aus Lindner 1969

Hopkins Erfindung war vor allem für die Panoramaübersicht geeignet, da sie das zu betrachtende Objekt optisch näher an den Untersucher verlagert, aber nicht vergrößert (Lindner 1969).

Erst die Luminaoptik (Abbildung 3) von Wolf ermöglichte eine Bildvergrößerung (Humke 1971).

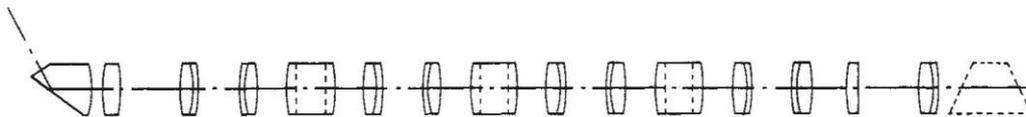


Abbildung 3: Prinzip der Luminaoptik aus Lindner 1969

Durch die Erfindung von Glasfasern, mit denen Licht von einer externen Lichtquelle transportiert werden konnte, begann eine neue Art der Endoskopie (Gordon und Magos 1989). Auch heutzutage ist diese Art von Lichttransmission Standard in jedem Endoskop (Berci und Forde 2000). Vorteil von Glasfasern sind eine verbesserte Transmission, die eine höhere Lichtintensität und Lichtstärke ermöglicht, sowie eine reduzierte Wärmeentwicklung intraoperativ, die zu Verbrennungen des Patienten führen könnte (Milsom et al. 2006; Hickl und Berg 1991).

Auch die Erfindung des Fernsehers hatte einen gewaltigen Einfluss auf die Endoskopie: 1956 führte Soulas die erste übertragene Bronchoskopie durch, zum damaligen Stand der Technik noch in schwarz-weiß (Berci und Forde 2000). Inzwischen ist die elektronische Bildgebung ein unverzichtbarer Bestandteil der Endoskopie geworden, denn die Notwendigkeit pathologische Befunde zu dokumentieren ist offensichtlich (Berci und Davids 1962).

Der Böblinger Chirurg Erich Mühe führte die erste laparoskopische Cholezystektomie im September 1985 am Menschen durch (Mühe 1986; Gagner et al. 1997). Hierbei verwendete er ein modifiziertes Rektoskop (Nano 2012). Die folgenden Jahre präsentierte Mühe seine Erfahrungen auf mehreren Kongressen in München, Köln und Mainz. Auch schrieb er mehrere Veröffentlichungen, in denen er darstellte, dass die laparoskopische Cholezystektomie ein komplikationsarmer Eingriff sei, der schnell und sicher durchzuführen ist (Mühe 1986). Doch die Fachwelt äußerte viel Skepsis und so konnte sich die laparoskopisch durchgeführte Cholezystektomie noch nicht durchsetzen (Himal 2002).

Ein weiterer Pionier der Laparoskopie war der Gynäkologe Kurt Semm, der eine zentrale Rolle in der Entwicklung der operativen Laparoskopie spielte. Er baute den ersten automatischen Insufflator mit abdomineller Druckmessung, erfand die Röder-Schlinge und entwickelte einige laparoskopische Nahttechniken, um nur einige Beispiele zu nennen (Litynski 1998; Nano 2012).

Zudem führte er die erste laparoskopische Appendektomie durch, jedoch wurde auch dieser Eingriff von der Fachwelt als zu gefährlich für den Patienten kritisiert (Semm 1983; Litynski 1998). Die Kieler Schule unter seiner Leitung entwickelte bis in die späten 1980er Jahre viele der heutigen laparoskopischen Basis-Instrumente (Lau et al. 1997; Nano 2012).

Allgemeinchirurgen haben sich erst vergleichsweise spät für die Laparoskopie interessiert (Milsom et al. 2006). So blieben treibende Kraft bei Entwicklung und Verbesserung der Technik vor allem Gynäkologen und Internisten, für die die diagnostische Laparoskopie bald ein weit verbreitetes Hilfsmittel wurde (Kaiser 2014; Cwach und Kavoussi 2016).

Erst 1986 wurde die erste Kamera an das Laparoskop angeschlossen und so begann die Ära der Video-assistierten Chirurgie, die bis heute andauert (Lau et al. 1997). Die Vorteile waren offensichtlich: Das Bild konnte sofort und binokular von allen gesehen werden (Berci und Davids 1962). So hat die Möglichkeit von intraoperativen Videoaufnahmen die Ausbildung von Chirurgen revolutioniert,

erleichtert und beschleunigt (Lau et al. 1997).

Die Verbesserung der Videotechnologie und die Weiterentwicklung der bereits verwendeten Technologie half der Verbreitung der Laparoskopie, sodass diese aus dem Standard-Repertoire eines Chirurgen nicht mehr wegzudenken ist (Gagner et al. 1997; HIMAL 2002).

1.2 Laparoskopie heute

Die Laparoskopie hat unsere Art zu operieren revolutioniert (Rivas und Díaz-Calderón 2013). Es gibt eine Reihe von laparoskopischen Operationen, die als Standard-Eingriff angesehen sind und die primär minimal invasiv durchgeführt werden (Maier-Hein et al. 2017). Die Vorteile der Laparoskopie überwiegen deutlich. So verzeichnen laparoskopisch operierte Patienten eine kürzere Krankenhausverweildauer, sie berichten über weniger postoperative Schmerzen und können schneller in ihren Alltag zurückkehren (Barkun et al. 1993; Berci und Forde 2000). Die Laparoskopie bringt durch ihren minimal invasiven Zugangsweg kleinere Schnitte und daher weniger Gewebetrauma und ein besseres kosmetisches Endergebnis mit sich (Hatzinger et al. 2006; Litynski 1998; Polychronidis et al. 2008). Bablekos kommt in seinem Review zu dem Ergebnis, dass Patienten nach laparoskopischer Cholezystektomie bessere Lungenfunktionsparameter haben als Patienten nach offener Cholezystektomie. Das geringere Gewebetrauma ermögliche eine schnellere Mobilisation und weniger Schonatmung. Diese führe wiederum zu einer besseren Oxygenierung (Bablekos et al. 2014).

Barkun konnte zeigen, dass Komplikationen nach laparoskopischer Cholezystektomie weniger schwerwiegend seien als nach offener Cholezystektomie (Barkun et al. 1993). Die Erweiterung des Operationsspektrums resultierte auch in veränderte Anforderungen an chirurgische Fähigkeiten (Shah et al. 2003).

Die Laparoskopie setzt ein gewisses Maß an angeborenen motorischen Fähigkeiten voraus, die man trainieren muss (Suleman et al. 2010).

So wird die Hand-Auge-Koordination durch den indirekten Zugangsweg zum OP-Gebiet speziell gefordert (Wentink et al. 2002).

Der Operateur muss zudem in der Lage sein, die eigentliche Dreidimensionalität aus einem ihm dargestellten zweidimensionalen Bild zu erkennen und darf sich durch den Verlust der Tiefeninformation nicht irritieren lassen (Shah et al. 2003). Das sichtbare Bild am Monitor hat seine Grenzen und verleitet den Chirurgen dazu Fehler zu machen, weil er sich auf fehlerhafte Informationen verlässt (Szold 2005). Chirurgen profitieren von besserer Bildqualität, da nicht nur das Fehlen von Dreidimensionalität und haptischem Feedback ausgeglichen, sondern auch die intraoperative Anatomie sicher beurteilt werden muss (Rassweiler und Teber 2016; Szold 2005). Eine vielversprechende Möglichkeit die Bildqualität zu verbessern, stellt unter anderem die 4K-Technologie dar. Sie erreicht durch eine höhere Pixeldichte pro Bild eine höhere Auflösung als HD und soll dadurch die bereits genannten Nachteile der Laparoskopie ausgleichen können (Harada et al. 2018).

1.3 4K und seine Bedeutung für die Medizin

"This is the dawn of a new age (...) It's a historic moment." diese Worte stammen von David Wood, seines Zeichens Vorstandsvorsitzender des Arbeitskreises 6C der *International Telecommunication Union* (ITU), in Bezug auf *Ultra High Definition* (UHD). Auch ITU Generalsekretär Dr. Hamadoun Touré ließ sich zu folgender Aussage hinreißen: „UHDTV is an earth-shaking development in the world“ (Acharya und Petrin 2012).

Als *Ultra High Definition* (UHD) werden die beiden Videoformate 4K und 8K bezeichnet.

Die beiden Begriffe beziehen sich auf das Auflösungsvermögen eines digitalen Bildes. 4K steht als Abkürzung für 4000 und 8K für 8000. Beschrieben wird dadurch die Anzahl an horizontalen Pixeln, die die UHD-Technologie dem Betrachter ermöglicht (Jusufbegovic et al. 2016).

Ein Pixel stellt die kleinste Grundeinheit eines digitalen Bildes dar. Das Wort an sich ist ein Neologismus und entspringt aus den beiden englischen Worten „picture“ und „element“. Jene Pixel werden in einer Matrix angeordnet, die dann alle benötigten Pixel horizontal nebeneinander als Bildbreite und alle Pixel vertikal übereinander als Bildhöhe ausgibt (Waldruff 2004).

Nach den Empfehlungen der ITU definiert sich 4K über eine Auflösung von 3840 x 2160 Pixel, was etwa 8 Megapixeln und der vierfachen Pixelanzahl der handelsüblichen *High Definition* oder *Full HD* (HD) (1920 x 1080 Pixel) entspricht (Fröhlich 2013; Maier et al. 2015; Woo 2016).

In Zukunft soll durch eine Auflösung von 8K (7680 x 4320 bzw. 8192 x 4320 Pixel) das gegenwärtige Fernsehen revolutioniert und nachhaltig verbessert werden (Acharya und Petrin 2012).

Multipliziert man die Pixel der Bildbreite mit denen der Bildhöhe, erhält man die Gesamtpixelzahl pro Bild. Bei HD erhält man eine Gesamtzahl von 2.073.600 Pixeln, bei 4K ergeben sich so schon 8.294.400 Gesamtpixel und ein 8K Bild beinhaltet 33.177.600 bzw. 35.389.440 Pixel. Aufgrund der Pixelanzahl und der Tatsache, dass man noch nicht abschätzen kann, wie weit die Entwicklungen in Zukunft noch gehen werden, ist es üblich geworden die Bildauflösung in Megapixel anzugeben (Wäger 2010). So kann bei HD von zwei und bei 4K von acht Megapixeln und dadurch in handlicheren Einheiten gesprochen werden.

Neben der Filmindustrie und der Unterhaltungsbranche stößt 4K auch in der Medizin auf großes Interesse. Insbesondere Fächer, die während laparoskopischen oder endoskopischen Eingriffen maßgeblich auf eine gute Bildgebung angewiesen sind, könnten in Zukunft von den Verbesserungen profitieren (Arens et al. 2017). Da angehende Chirurgen heutzutage in Trainingszentren die Möglichkeit haben, in einer kontrollierten Umgebung laparoskopische Erfahrungen zu sammeln, wird auch die Ausbildung junger Ärztinnen und Ärzte durch das Verwenden von 4K oder 8K verändert werden (Aggarwal et al. 2004). Da es beispielsweise in der Viszeralchirurgie eine wachsende Anzahl an laparoskopischen Eingriffen gibt, wäre es sinnvoll einen

laparoskopischen Trainingskatalog für Assistenzärzte als verpflichtenden Bestandteil der Ausbildung zum Viszeralchirurgen in das Curriculum aufzunehmen (Huber et al. 2016; Huber et al. 2017).

In einigen Studien wurden bereits Vorteile der schärferen und detailgenaueren Bilder durch die UHD-Technologie erkannt (Maier et al. 2015; Jusufbegovic et al. 2016; Abdelrahman et al. 2018).

So konnten Gefäße oder Gefäßverläufe in zum Teil mehrschichtigen Membranen klarer erkannt werden und es wurde eine geringere Ermüdbarkeit der Augen beobachtet (Yamashita et al. 2016). Weiterhin konnte gezeigt werden, dass durch die bessere Auflösung bei diagnostischen Stroboskopien die Sicherheit für korrekte Diagnosestellungen erhöht werden konnte und die Bilder überzeugten sogar in kurzer Distanz mit einer bisher unerreichten Schärfe (Woo 2016; Maier et al. 2015).

Experten sind sich einig, dass sich in Zukunft 4K als neuer Standard etablieren wird, nachdem sich die endoskopische Bildgebung aufgrund der HD-Entwicklung in den letzten Jahrzehnten schon extrem verbessert hat (Preyer 2017).

In Japan wurde bereits klinisch erfolgreich endoskopische Systeme getestet, die Bilder in 8K Qualität liefert und Yamashita et al. kamen zu dem Schluss, dass damit völlig neue Möglichkeiten für mikroskopische Eingriffe, wie zum Beispiel Anastomosen von Nerven, erschlossen werden könnten (Yamashita et al. 2016).

1.4 Vorteile und Nachteile von 4K

Die Entwicklung von 4K könnte für die Endoskopie und Laparoskopie einen Meilenstein darstellen. Die Vorteile der 4K-Technologie liegen auf der Hand. Durch eine Vermehrung der Pixel, gelingt eine höhere Auflösung, die in schärferen und klareren Bildern resultiert. Eine größere Bandbreite an darstellbaren Farbnuancen und die Möglichkeit mehr Bilder pro Sekunde zu übertragen, stellt die Videos mit höherer Farbbrillanz und Bewegungen in besserer Dynamik dar (Acharya und Petrin 2012).

Es scheint einleuchtend, dass sich dadurch für den Operateur und letztendlich auch für den Patienten Vorteile ergeben (Szold 2005; Buia und Farkas 2018; Bühler et al. 2018). Zu dieser Schlussfolgerung liegen allerdings noch keine umfassenden Daten vor (Woo 2016; Abdelrahman et al. 2018).

Des Weiteren muss untersucht werden, ob die bereits unter dem Punkt 1.2 angesprochenen Vorteile der Laparoskopie allgemein – kürzere Krankenhausverweildauer, besseres Outcome der Patienten, weniger gefährliche Komplikationen – für Operationen in 4K-Bedingungen vielleicht noch ausgeprägter sind als unter HD-Bedingungen.

Eine detailliertere Visualisierung durch mehr Pixel und eine realistischere Farbgestaltung könnte in jedem Fall helfen, einige Nachteile von laparoskopischen Eingriffen, wie die fehlende Dreidimensionalität, das ungenügende haptische Feedback und die fehlende Übersicht im Vergleich zu den offenen Operationen auszugleichen (Maier-Hein et al. 2017; Szold 2005; Suleman et al. 2010). Eine verbesserte Visualisierung führt also höchstwahrscheinlich zu einer besseren endoskopischen Chirurgie (Szold 2005). Ein Nachteil von 4K besteht darin, dass es mit der enormen Vermehrung von Pixeln pro Bild auch zu einer Vermehrung des aufkommenden Datenvolumens kommt (Jusufbegovic et al. 2016). Der Datentransfer von Bildmaterial wird länger dauern als bei bisherigen HD-Datenpaketen. Leider kann diesem Problem nicht mit einem Verkleinern der 4K-Dateien entgegengewirkt werden, da zum derzeitigen Stand der Technik eine Verkleinerung des Datensatzes immer mit einem Qualitätsverlust im Hinblick auf Auflösung und Bildqualität einhergeht (Jusufbegovic et al. 2016).

1.5 Fragestellung und Hypothesen

Bisher gibt es keine Veröffentlichungen darüber, ob eine durch höhere Auflösung verbesserte Bildqualität zu einem besseren laparoskopischen Ergebnis oder einem angenehmeren bzw. ergonomischeren Operationserlebnis für den Operateur führt.

Die vorliegende Dissertation beschäftigt sich damit, ob man beim laparoskopischen Arbeiten unter 4K-Sicht einen messbaren Vorteil gegenüber HD hat.

Im Rahmen einer prospektiven Probandenstudie wurden daher im experimentellen Setting zwei laparoskopische Arbeitsplätze aufgebaut, die im Setup baugleich waren. Sie unterschieden sich jedoch in der Auflösungsqualität des Monitors. Ein Monitor verwendete ein HD-Bild, der andere Monitor ein 4K-Bild.

Als primärer Endpunkt wurde die signifikant verringerte absolute Fehleranzahl unter 4K-Bedingungen festgelegt. Der sekundäre Endpunkt ist der subjektiv bessere Bildeindruck, der durch die Fragebögen erhoben wurde.

Die Nullhypothese H_0 lautet: „Es gibt keinen Unterschied zwischen den beiden Arbeitsplätzen und die Ergebnisse lassen nicht darauf schließen, dass das 4K-System dem HD-System überlegen ist.“

Die Alternativhypothese H_1 lautet: „Es gibt einen Unterschied zwischen den beiden Arbeitsplätzen und das 4K-System ist dem HD-System überlegen.“

2. Material und Methoden

2.1 Probandenstudie – erster Teil

2.1.1 Probandenkollektiv

Das Probandenkollektiv bestand aus 40 Medizinstudenten der Universität Tübingen. Eine genaue Aufstellung über die Verteilung der Teilnehmer nach Semester ist Abbildung 22 zu entnehmen. Die Versuche fanden zwischen Ende September und Anfang November 2016 im ZMF in Tübingen-Derendingen statt. Als Gegenleistung für das Mitwirken an der Pilotstudie wurde jedem Probanden die Teilnahme an einem Laparoskopiekurs der Arbeitsgruppe „Chirurgische Technologie und Training“ zugesagt.

2.1.2 Studienaufbau

In der prospektiven Studie mussten die 40 Probanden mit zwei verschiedenen Kamerasystemen der Firma Arthrex® verschiedene Übungsaufgaben absolvieren. Der Unterschied zwischen den beiden Kamerasystemen lag darin, dass die Visualisierung des einen Systems in 4K und des anderen Systems in HD geschah. Vor den Übungen mussten die Probanden einen Visustest mithilfe von Landolt-Ringen durchführen und der Visus jedes Auges wurde protokolliert. Die Studie wurde im Cross-over-Design durchgeführt: 20 Probanden starteten ihre Übungen an dem 4K-Arbeitsplatz und 20 Probanden begannen am HD-Arbeitsplatz. Nach einer Pause, bei der die Probanden den Raum für 5 Minuten verlassen mussten, wurden dieselben Übungen erneut am jeweils anderen Arbeitsplatz absolviert. Danach mussten die Probanden einen Fragebogen ausfüllen. Die Testungen dauerten pro Probanden etwa 120 Minuten. Das Projekt wurde der Ethik-Kommission der Medizinischen Fakultät der Universität Tübingen unter der Projekt Nr. 053/2016BO1 vorgelegt und von dieser genehmigt.

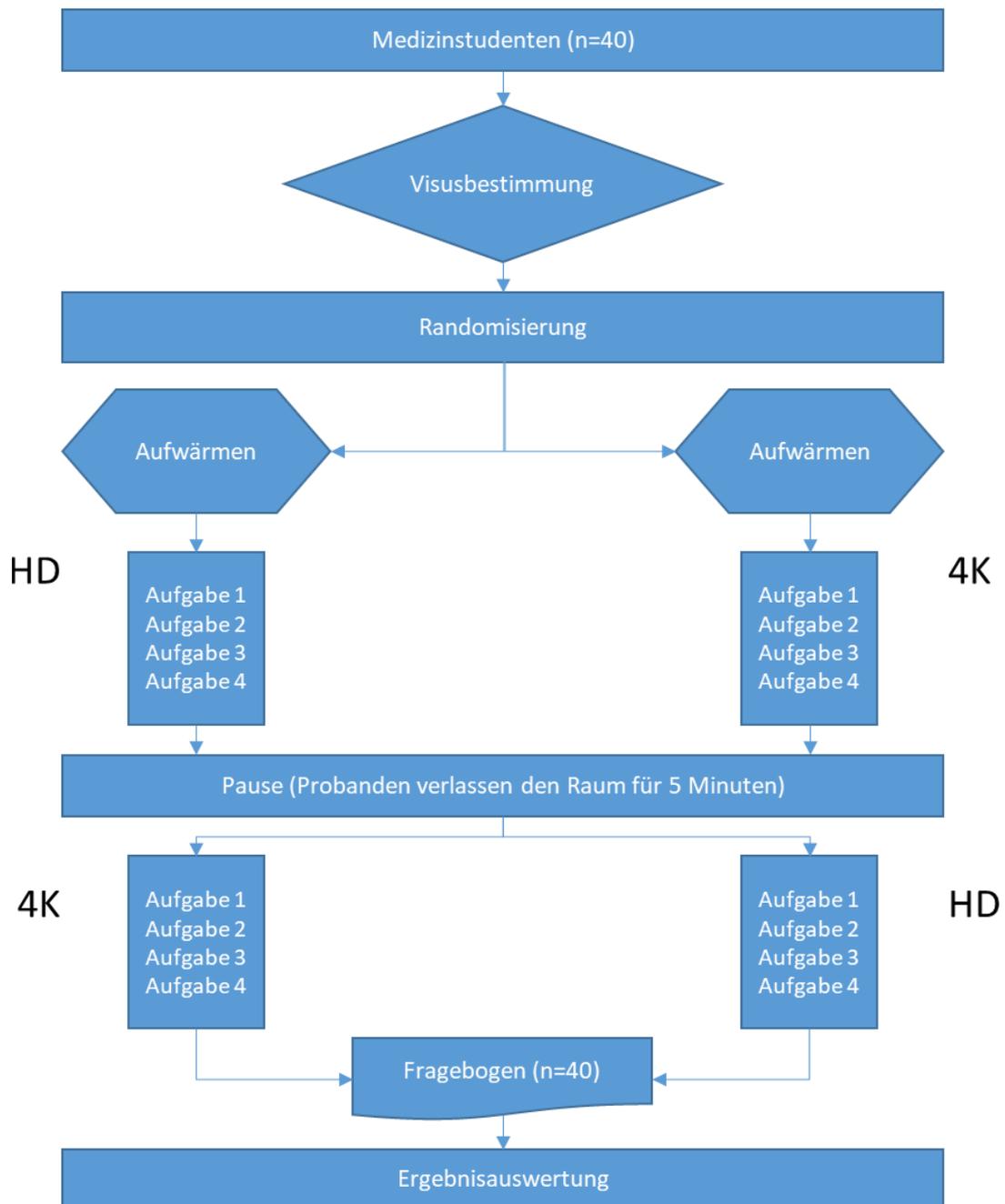


Abbildung 4: Flussdiagramm der Probandenstudie

2.1.3 Versuchsaufbau

2.1.3.1 Die Kameratürme

Die Studie wurde im Labor II („Experimental-OP“) des ZMF durchgeführt. Die Kameratürme beinhalteten baugleiche Gerätewägen mit Monitorarm und Schwenkarm für das Tablet, sowie den gleichen Insufflator und die gleichen Lichtleitkabel. Unterschiedlich waren der Monitor, der Kamerakopf, die dazugehörige Kamerakonsole und das Tablet.

Eine Liste über die genauen Produktbezeichnungen des Lieferumfanges kann im Anhang eingesehen werden.

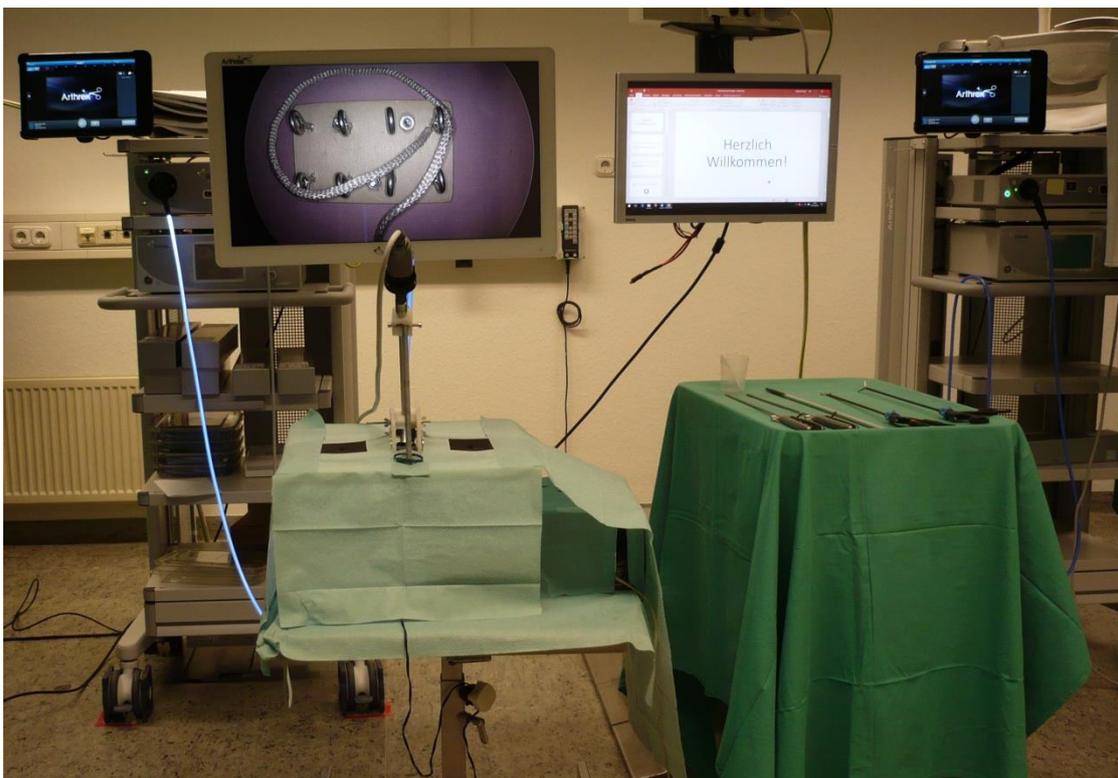


Abbildung 5: Aufbau des Arbeitsplatzes im Experimental-OP

2.1.3.2 Die Trainingsbox

Die für die Studie verwendete Trainingsbox ist bereits in verschiedenen Studien der Arbeitsgruppe zum Einsatz gekommen (Storz et al. 2012; Auer 2015; Dietz 2014). Die zur Seite offene Box besitzt einen Deckel aus Hartgummi, der zwei Löcher für die Instrumente und eine zentral gelegene längliche Öffnung hat. In diese zentrale Öffnung wurde das 30° Laparoskop durch ein Metallrohr eingebracht, welches je nach Übung verschieden positioniert werden konnte. Dies geschah durch eine Schiene, in die das Metallrohr mit zwei Stellschrauben eingeschraubt war. Damit alle Teilnehmer unter demselben Bildeindruck arbeiten konnten, wurden zu beiden Seiten der Stellschrauben Markierungen angebracht. So konnte das Laparoskop reproduzierbar fixiert werden. In die Box wurden verschiedene auf eine Holzplatte montierte Aufgaben eingebracht. Durch zwei auf den Boden befestigte Schienen wurde sichergestellt, dass die Holzplatte immer in derselben Position eingeschoben wurde. Dadurch war gewährleistet, dass alle 40 Teilnehmer die Übungen unter denselben Bedingungen durchführen konnten.

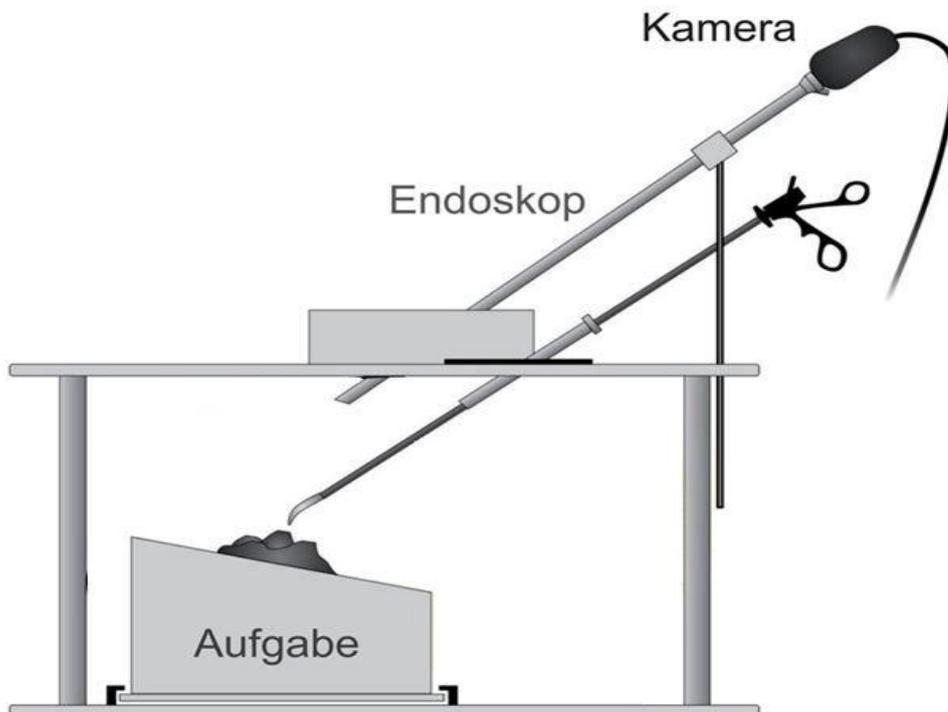


Abbildung 6: Aufbau der Trainingsbox (modifiziert nach: Kirschniak et al. 2015)

2.1.3.3 Die laparoskopischen Instrumente

Um die Aufgaben in der Trainingsbox zu absolvieren, wurden folgende Instrumente verwendet:

- Nadelhalter # 26173 KAL (Karl Storz, Tuttlingen)
- Präparier- und Fasszange n. Kelly, lang (Karl Storz, Tuttlingen)
- Atraumatische Greifzange # 8393.181(R.Wolf)
- Handgriffe # 8393.0003 (R.Wolf)
- Stift, schwarz 1701 M (edding®)

2.1.3.4 Bügelperlen

Die zylindrisch geformten Perlen haben einen Durchmesser von 5 mm, einen Innendurchmesser von 2 mm und eine Gesamthöhe von 5 mm.

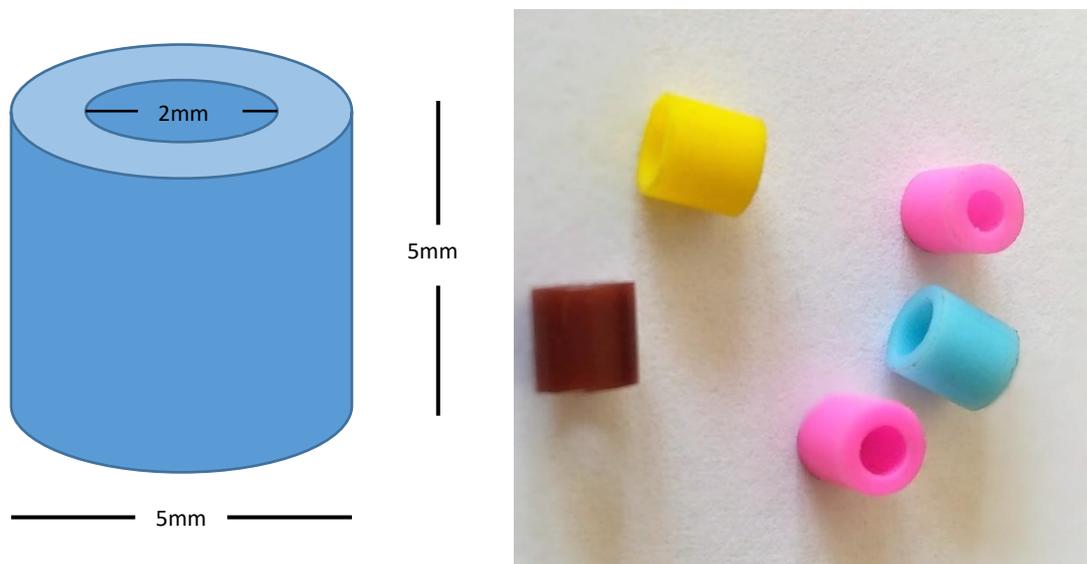


Abbildung 7: Bügelperlen

2.1.3.5 Der Arbeitsplatz

Im Labor II des ZMF befand sich in der Mitte des Raumes gut sichtbar ein Bildschirm, über den die Arbeitsanweisungen eingespielt wurden. Neben diesem Bildschirm standen die beiden Kameratürme. Unter ihm war ein Tisch, auf dem die laparoskopischen Instrumente für die folgenden Übungen lagen. Die Versuchsleiterin saß in einer mit grünen OP-Tüchern abgeschirmten Ecke mit einem eigenen Monitor, um die Bearbeitung der Übungsaufgaben zu beobachten.

Die Trainingsbox befand sich auf einem 0,71 m hohen Tisch. Zur Aufgabenbearbeitung sollten sich die Probanden vor dem jeweiligen Kameraturm auf eine am Boden angebrachte Markierung stellen.

Die Markierung und die feste Höhe des Tisches stellten sicher, dass alle Probanden unter denselben Bedingungen arbeiten konnten.

Die in den Turm integrierten Monitore hingen in unterschiedlichem Abstand zu den Probanden, da es verschiedene Empfehlungen für die beiden 32-Zoll Monitore gab. Um den unterschiedlichen Entfernungsempfehlungen gerecht zu werden, wurde für beide Monitore ein Mittelwert aus der Summe der vorgeschlagenen Distanzen gebildet, der für den HD-Turm 1,37m und für den 4K-Turm 0,98cm betrug (Bockholdt 2016; Schirrmacher 2013; entain.de; Parusel 2016; Bünte 2015). Diese unterschiedlichen Entfernungen begründen sich dadurch, dass ein schlechteres Auflösungsvermögen in größer erscheinenden einzelnen Pixeln resultiert. Da 4K ein besseres Auflösungsvermögen hat, sollte dort ein geringerer Bildabstand eingehalten werden, da die Pixel kleiner dargestellt werden als bei HD.

2.1.4 Übungen

2.1.4.1 Visustest

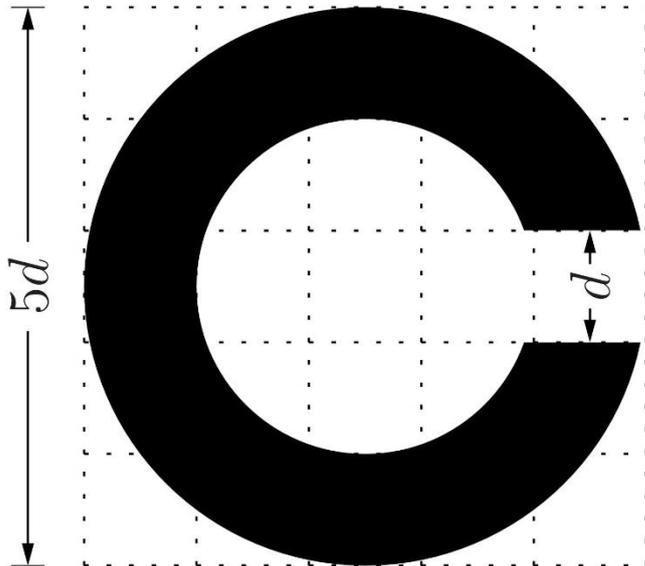


Abbildung 8: Landoltring

Bevor die Probanden die Übungen beginnen durften, wurde ein Visustest durchgeführt.

Dazu wurden nach Empfehlung der Deutschen Ophthalmologischen Gesellschaft (DOG) Landolt-Ringe verwendet (Wesemann et al. 2010). Die Testung lief folgendermaßen ab:

Die Probanden sollten hinter eine auf dem Boden rot markierte Linie im Abstand von vier Metern zu der Tafel treten und die in verschiedene Richtungen zeigende Öffnungen der Landoltringe erkennen und benennen (Wesemann et al. 2010). Hierbei zählt die 60% Regel, was bedeutet, dass in einer Reihe von fünf dargestellten Ringen mindestens drei richtig erkannt werden müssen, um als bestanden gewertet zu werden.

2.1.4.2 Aufwärmen



Abbildung 9: Aufwärmübung

Um die Probanden mit der Handhabung der Instrumente vertraut zu machen, gab es vor Durchführung der Aufgaben eine Aufwärmübung. Diese beinhaltete acht Ringschrauben, die in zwei Reihen auf ein Holzbrett geschraubt waren und einen Faden. Die Probanden sollten den Faden so durch die Ringe fädeln, dass sich eine U-Form ergab. Für diese Übung hatten die Probanden drei Minuten Zeit. Diese Übung ist zudem auch Teil des laparoskopischen Trainingsparcours, der von der AG chirurgische Technologie und Training angeboten wird.

2.1.4.3 Übung 1

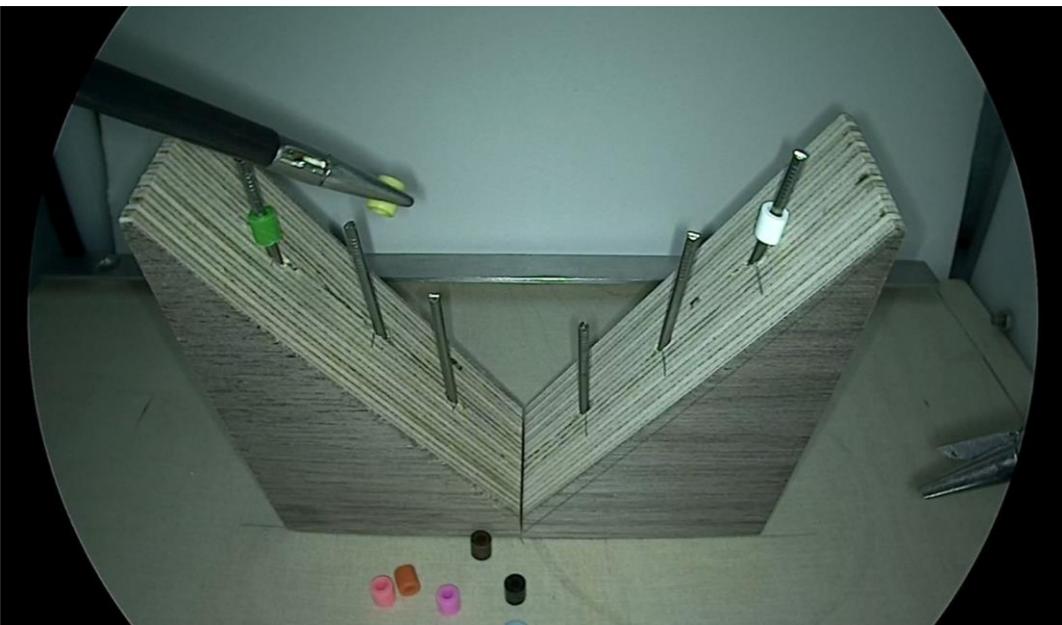
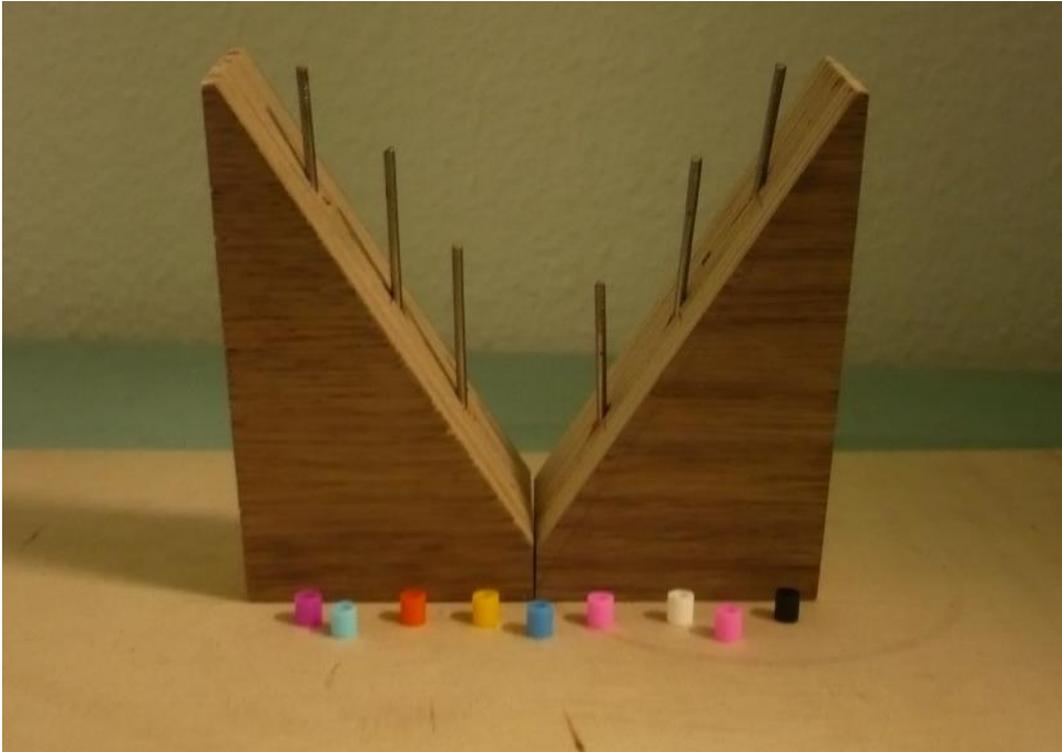


Abbildung 10: Übung 1- makroskopische Sicht oben, laparoskopische Sicht unten

In der ersten Übung sollten die Probanden mit zwei Dissektoren die bunten Bügelperlen auf verschiedene Metallstifte stecken, die sich in unterschiedlicher Entfernung zum fest montierten Endoskop befanden. Die Metallstifte waren in unterschiedlicher Höhe auf zwei prismenförmigen Holzkörpern befestigt, die um 13 Grad zum Probanden gekippt waren. Die Reihenfolge war von außen, oben nach innen, unten vorgegeben und die Probanden hatten dafür drei Minuten Zeit. Als richtig gewertet wurden die fehlerfrei aufgefädelten Perlen, als Fehler wurden heruntergefallene Bügelperlen gewertet.

Diese Übung wurde modifiziert nach der Vorgabe von Campo et al. (Campo et al. 2010) und einer ähnlichen Übung aus der Lübecker Toolbox (Laubert et al. 2006). Das Modell ist an Anlehnung an die Übung 2 des von Molinas et al. entwickelten LASTT-Modelles entworfen worden. (Molinas et al. 2008)

2.1.4.4 Übung 2

In der zweiten Übung sollten die Probanden mit zwei Dissektoren die Bügelperlen in die Vertiefungen des treppenförmigen Holzkörpers legen, wobei vorher die Bügelperle vom einen zum anderen Dissektor übergeben werden musste. Die Reihenfolge des Ablegens war wieder von links nach rechts vorgegeben und der Holzkörper war wie in Übung 1 um 13 Grad gekippt. Auch hier hatten die Probanden drei Minuten Zeit. Als richtig gewertet wurden die fehlerfrei abgelegten Bügelperlen, als Fehler wurden heruntergefallene oder in der falschen Reihenfolge abgelegte Perlen gewertet. Diese Übung wurde modifiziert nach der Vorgabe von Scott et al. (Scott et al. 2000) und Korndorffer (Korndorffer et al. 2005). Auch dieses Modell ist in Anlehnung an die Übung 3 des LASTT-Modelles von Molinas et al. entworfen worden (Molinas et al. 2008).

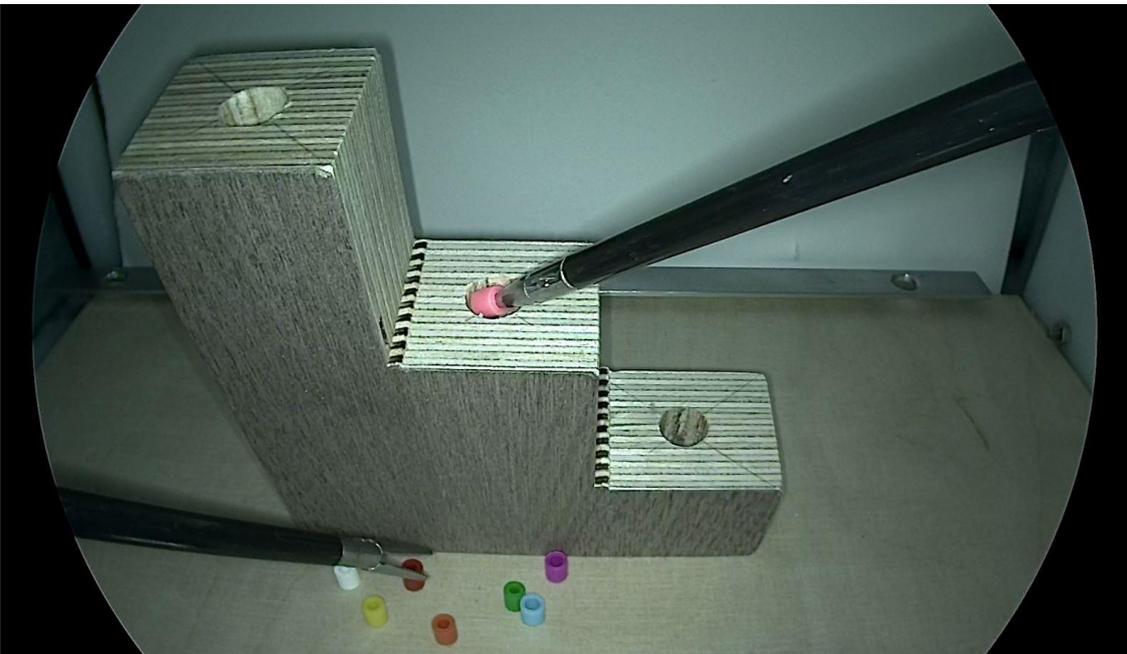
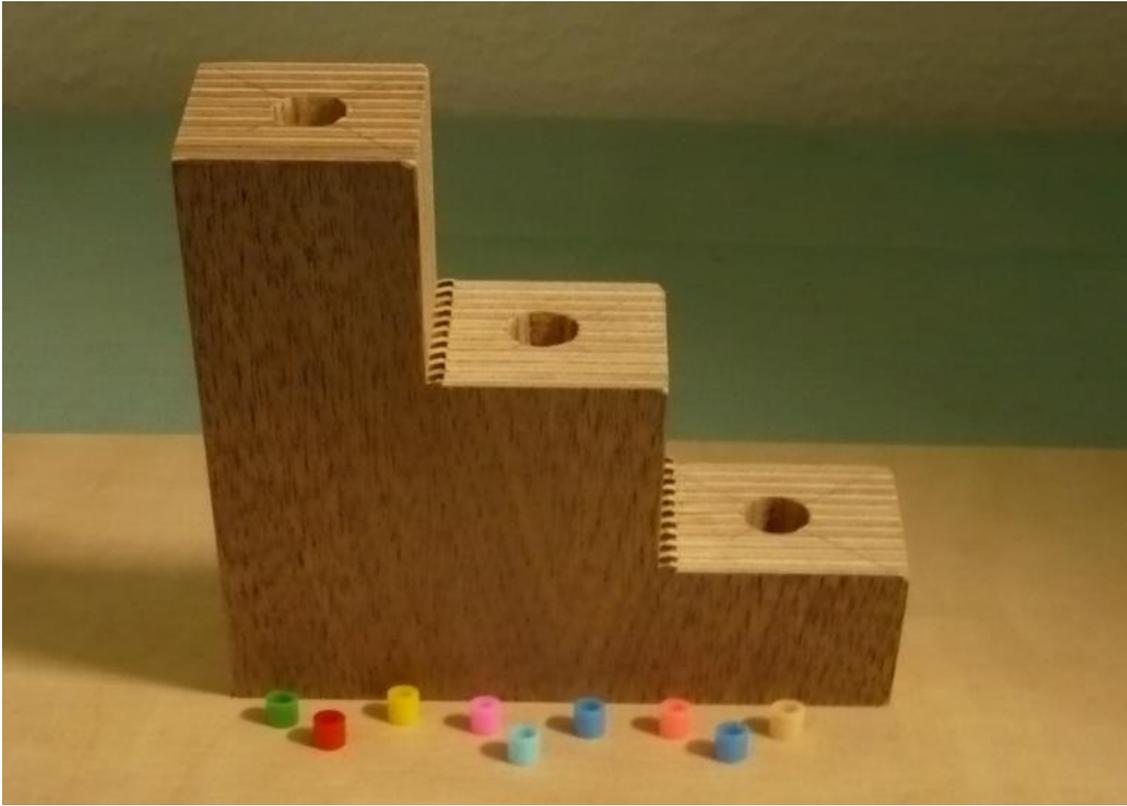


Abbildung 11: Übung 2 – makroskopische Sicht oben, laparoskopische Sicht unten

2.1.4.5 Übung 3

In der folgenden Übung wurde den Probanden ein zufällig konfiguriertes Muster aus Haarlinien, das auf orangenes Papier gedruckt war, gezeigt. Die Aufgabe bestand darin alle sich schneidenden Linien mit einem beiliegenden Stift zu markieren. Die Haarlinien waren unterschiedlich dick, mit einer maximalen Breite von fünf und einer minimalen Breite eines Pixels bei einer Auflösung von 1200 Pixel pro Zoll. Dies bedeutet, dass die dünnste Linie, die genau einen Pixel dünn ist, 47,2-mal nebeneinander genauso breit ist, wie ein Millimeter.

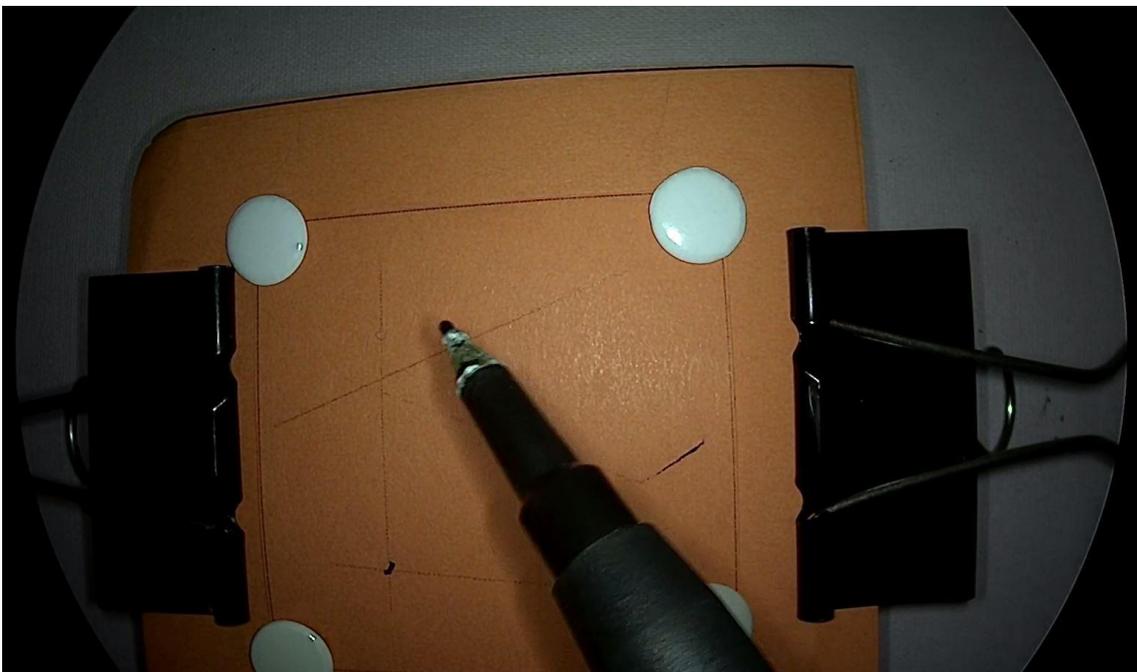


Abbildung 12: Übung 3 - laparoskopische Sicht

2.1.4.6 Übung 4

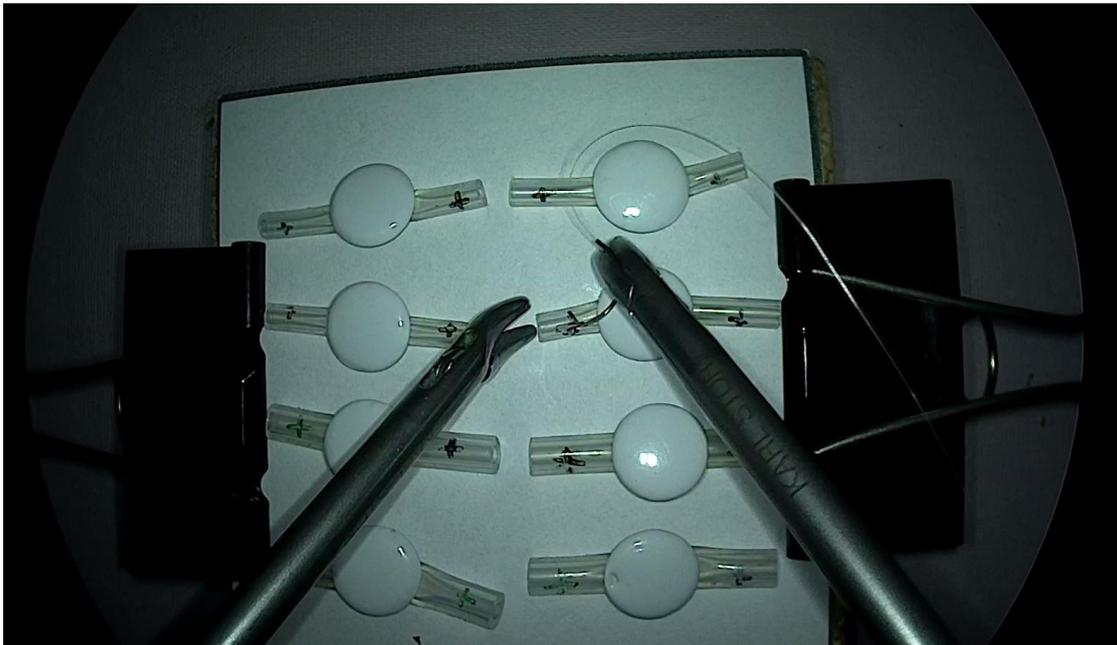
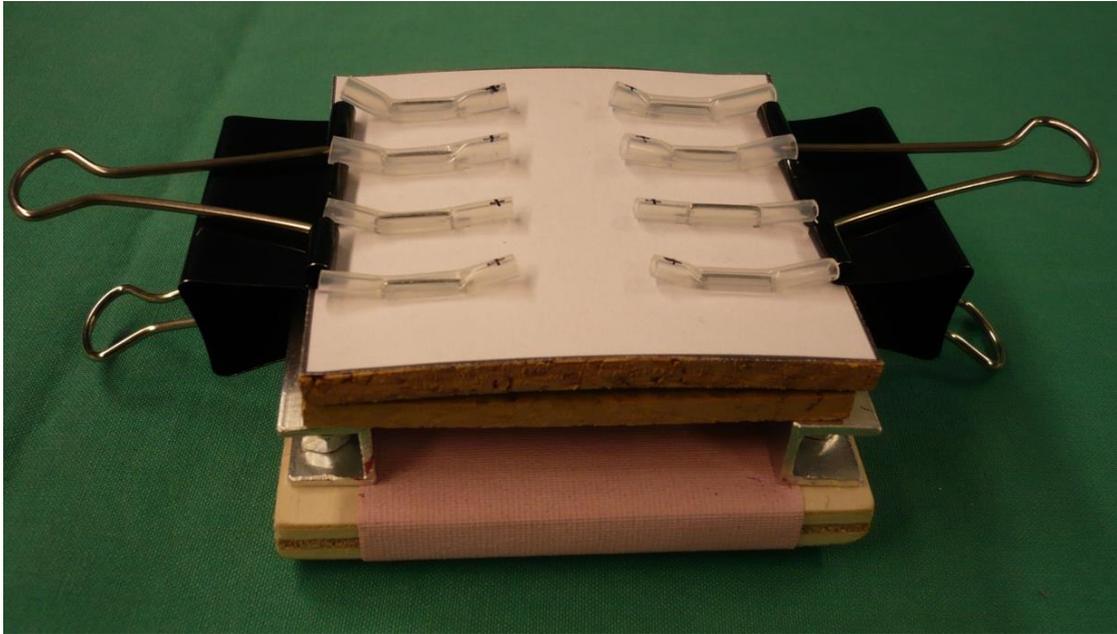


Abbildung 13: Übung 4 – makroskopische Sicht oben, laparoskopische Sicht unten

In der letzten Übung wurden den Probanden 8 Silikonschläuche präsentiert. Vier Schläuche hatten einen Innendurchmesser von 1,5 Millimeter und eine Wandstärke von 0,75 Millimeter, die anderen vier Schläuche hatten einen Innendurchmesser von 2 Millimeter und eine Wandstärke von 1 Millimeter. Die Schläuche waren nebeneinander auf zwei Korkplatten fixiert und hatten drei Millimeter vom nach Innen zeigenden Rand entfernt eine schwarze Markierung. Die Aufgabenstellung lautete, sich einen ungefärbten 6-0 Monocryl™ Faden der Firma Ethicon® in den Nadelhalter einzuspannen, in der schwarzen Markierung eines auf der rechten Seite gelegenen Schlauches einzustechen, im Lumen des Schlauches auszustechen, die Nadel umzuspannen, im Lumen des gegenüberliegenden Schlauches auf der linken Seite ein- und in der schwarzen Markierung des linken Schlauches wieder auszustechen. Dafür hatten die Probanden drei Minuten Zeit. Gewertet wurden die richtigen Ein- und Ausstiche innerhalb der schwarzen Markierung und des Lumens, als Fehler wurden Ein- oder Ausstiche abseits der schwarzen Markierung oder außerhalb des Lumens gezählt.

2.1.5 Instruktionsvideos

Um die Probanden nicht zu beeinflussen, gab es für die Dauer der Versuche keinen Kontakt zwischen der Studienleitung und den Probanden. Die Anweisungen zur Aufgabenbewältigung wurden den Probanden per PowerPoint-Präsentation auf einem mittig im Raum positionierten Monitor gezeigt. Die Aufgaben und die Handhabung der laparoskopischen Instrumente wurden jeweils als kurzes Video eingespielt, das im Vorfeld durch die Versuchsleiterin mit dem „AIDA DVD-M Image Management System with Smart Screen“ der Firma Storz (Art.-Nr. 202045 20) laparoskopisch aufgenommen wurde.

Insgesamt gab es fünf verschiedene Videos, die in folgender Reihenfolge abgespielt wurden:

- 1) Begrüßung, Visustest und Aufwärmübung
- 2) Übung 1
- 3) Übung 2
- 4) Übung 3
- 5) Übung 4

Für die Aufwärmübung und die Übungen 1, 2 und 4 hatten die Probanden jeweils drei Minuten Zeit. Diese drei Minuten wurden über einen Countdown, der in die PowerPoint-Präsentation eingebettet war, angezeigt. Bevor der Countdown begann, wurden fünf Sekunden eingezählt, sodass die Probanden immer Zeit hatten, sich auf den Start vorzubereiten. Auf diese Weise hatten die Probanden jederzeit die Möglichkeit sich über die vergangene und verbliebene Zeit zu informieren

2.1.6 Fragebogen

Nach Beendigung der Übungen wurden die Probanden gebeten, einen Fragebogen auszufüllen. Dieser beinhaltete Fragen zur subjektiven Einschätzung und zu persönlichen Merkmalen. Gefragt wurde:

- 1) Sind Sie Brillenträger oder tragen sie Kontaktlinsen?
- 2) Welches Geschlecht haben Sie?
- 3) Welche Händigkeit haben Sie?
- 4) Haben Sie bereits Erfahrungen mit laparoskopischem Operieren?
- 5) War subjektiv eines der beiden Bilder besser?

2.2 Ärztstudie – zweiter Teil

2.2.1 Probandenkollektiv

Für den zweiten Teil dieser Pilotstudie wurden sieben Ärzte gebeten zwei laparoskopische Cholezystektomien (=lap. CHE) und zwei transabdominale präperitoneale Plastiken (=TAPP) durchzuführen. Diese sieben Ärzte sind allesamt in der Allgemein- und Viszeralchirurgie am Universitätsklinikum Tübingen tätig. Unter Ihnen befanden sich vier Assistenzärzte in unterschiedlichem Ausbildungsstand und drei Fachärzte mit umfassender Erfahrung bezüglich der beiden OP-Verfahren.

2.2.2 Studienaufbau

An beiden in Kapitel 2.1.3.1 bereits beschriebenen Kameratürmen wurden jeweils eine laparoskopische CHE und eine TAPP durchgeführt, sodass jeder Teilnehmer in einer Sitzung beide Operationen zwei Mal absolvieren musste. Die CHE wurde mit dem Tübinger MIC-Trainer (siehe Abbildung 14), den die Arbeitsgruppe zusammen mit der Firma Richard Wolf GmbH entwickelt hatte (Waseda et al. 2005), durchgeführt. In dem Trainer können Tierorgane an einem Metallgitter befestigt werden, damit eine realitätsgetreue Operationssituation simuliert werden kann (Richard Wolf GmbH 2012). Zur Verwendung kamen Schweinelebern aus Schlachtabfällen. Die TAPP wurde an einem, von einem 3D-Drucker hergestellten, Leistenmodell mit austauschbarem Stoffeinsatz durchgeführt. Dieses Modell entstand im Jahr 2016 im Rahmen der Bachelorarbeit von Raab, welche von der AG CTT betreut wurde (Raab 2016). Die Studie war einfach verblindet, daher wussten die Probanden nicht, an welchem Kameraturm sie beginnen würden und welcher der Türme welches Auflösungsvermögen besaß. Mit den Ärzten wurde, bevor sie mit den laparoskopischen Eingriffen beginnen durften, ein Visustest mittels Landolt-Ringen durchgeführt.

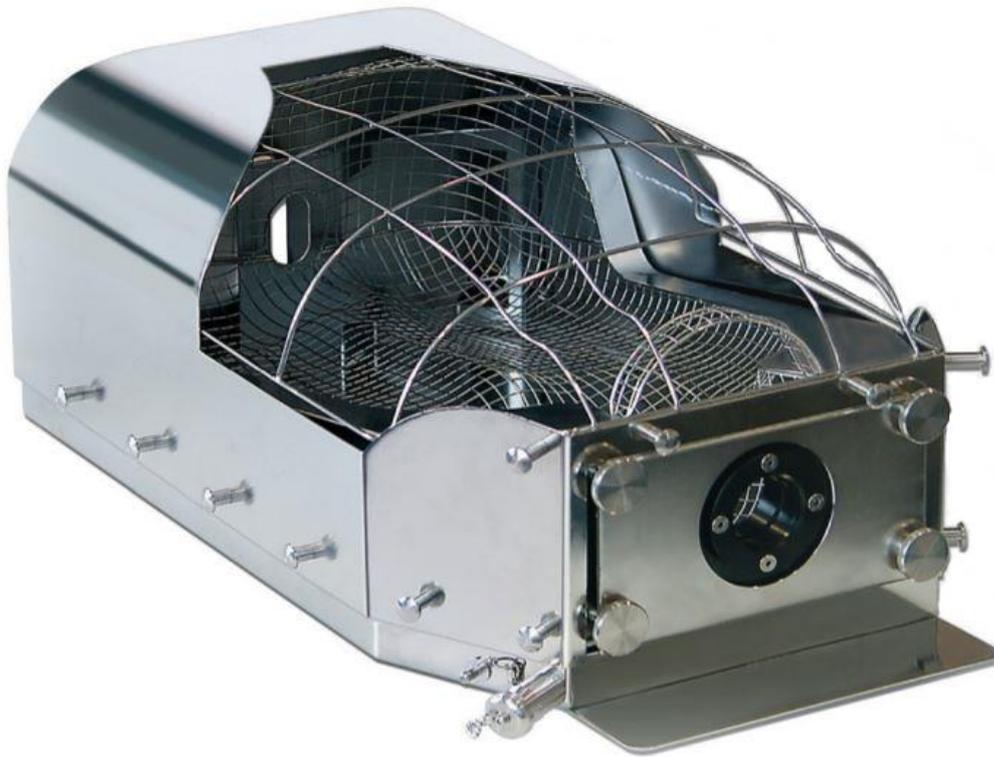


Abbildung 14: Tübinger MIC Trainer (modifiziert nach: Richard Wolf GmbH, 2015)

2.2.3 Fragebogen der Ärztstudie

Nach Beendigung der Aufgaben mussten die Experten folgende Fragen beantworten:

- 1) Sind Sie Brillenträger oder tragen sie Kontaktlinsen?
- 2) Welches Geschlecht haben Sie?
- 3) Hatten Sie den Eindruck, dass Sie heute eine bessere Bildqualität hatten, als Sie es sonst von laparoskopischen Operationen gewohnt sind?
- 4) Wenn ja, bei welchem Bild?
- 5) Haben Sie heute flüssiger gearbeitet als sonst?

- 6) Falls ja: Was glauben Sie, woran das gelegen haben könnte?
- 7) Haben Sie das Gefühl, dass Sie bei einem der beiden Monitore eine bessere Orientierung im Operationsfeld hatten?
- 8) Falls ja: Bei welchem Monitor?
- 9) Wie viele laparoskopische Cholezystektomien haben Sie geschätzt bereits durchgeführt?
- 10) Wie viele Leistenoperationen haben Sie geschätzt bereits durchgeführt?
- 11) Haben Sie schon einmal ein Training zu einem der beiden Eingriffe absolviert?
- 12) Falls ja: Zu welchem Eingriff haben Sie bereits ein Training absolviert?
- 13) Sind Ihnen bei dem Eingriff gerade Fehler aufgefallen, die Ihnen unterlaufen sind?

2.2.4 Die Operationen

2.2.4.1 Transabdominale präperitoneale Plastik

Mit etwa 300.000 Eingriffen pro Jahr in Deutschland zählt die operative Versorgung von Leistenhernien zu einer der häufigsten Operationen (Lorenz et al. 2015). Als laparoskopische Eingriffe werden weltweit die transabdominale präperitoneale Netz-Plastik (TAPP) und die total extraperitoneale Netz-Plastik (TEP) durchgeführt (Gerhardus et al. 2003).

Die TAPP kann in folgende Schritte unterteilt werden:

- 1) Einbringen der Trokare
- 2) Darstellen der Regio inguinalis
- 3) Sichelförmige Inzision des Peritoneums
- 4) Eröffnen des Peritoneums bis nach medial
- 5) Präparation des peritonealen Blattes
- 6) Präparation der Hernie
- 7) Identifikation des Ductus deferens

- 8) Komplettierung der medialen Präparation
- 9) Identifikation der epigastrischen Gefäße
- 10) Einbringen des Netzimplantats
- 11) Spannungs- und faltenfreies Auslegen des Netzes
- 12) Verschluss des Peritoneums
- 13) Abschlusskontrolle
- 14) Entfernen der Trokare unter Sicht

(nach: Kirschniak und Granderath 2017)

In den folgenden drei Abbildungen ist die laparoskopische Sicht dargestellt:



Abbildung 15: Schritt 2 - Darstellen der Regio inguinalis



Abbildung 16: Schritt 3 - Sichelförmige Inzision des Peritoneums



Abbildung 17: Schritt 10 - Einbringen des Netzimplantats

2.2.4.2 Laparoskopische Cholezystektomie

Die laparoskopische Cholezystektomie hat sich inzwischen als Goldstandard bei der Entfernung der Gallenblase etabliert und kann als eine der ersten Operationen in der Assistenzarztzeit eines Allgemeinchirurgen durchgeführt werden (Niwa et al. 2013). In Deutschland finden pro Jahr etwa 175.000 Cholezystektomien statt. Über 90% davon laparoskopisch (AQUA-Institut).

Die Operation kann in folgende Teilschritte untergliedert werden:

- 1) Einsetzen der Trokare
- 2) Retraktion der Leber
- 3) Präparation der Gallenblase
- 4) Critical View zum sicheren Identifizieren der A. und des D. cysticus
- 5) Ductus cysticus clippen
- 6) A. cystica clippen
- 7) Gallenblase aus ihrem Bett herauslösen
- 8) Gallenblase in einem Beutel intraabdominal bergen
- 9) Hämostase durchführen
- 10) Trokare herausnehmen

(nach: Niwa et al. 2013)

In den folgenden drei Abbildungen ist die laparoskopische Sicht dargestellt:



Abbildung 18: laparoskopische Sicht



Abbildung 19: Schritt 3 - Präparation der Gallenblase



Abbildung 20: Gallenblasenbett nach Herausnahme der Gallenblase

2.3 Auswertung

2.3.1 Besonderheiten der Auswertung bei Cross-over-Studien

Das Cross-over Studiendesign ist vor allem in der Arzneimittelforschung weit verbreitet. Es findet seinen Einsatz dann, wenn die Probandenmenge klein ist oder wenn davon ausgegangen werden kann, dass es keinen „Carry-over“-Effekt gibt (Schumacher und Schulgen-Kristiansen 2008). In Abbildung 4 wurde bereits das komplette Studiendesign im Flussdiagramm gezeigt.

Im Prinzip mussten alle Probanden alle Aufgaben an jedem der beiden Geräte durchführen. Nach einer Randomisierung begannen 20 Probanden mit dem HD-System und 20 Probanden begannen mit dem 4K-System. Nach einer Pause, auch „Wash-out“-Phase genannt, wurde das System getauscht und die

Probanden absolvierten die Übungen mit dem jeweils anderen Gerät. Zum Schluss mussten die Probanden den oben beschriebenen Fragebogen ausfüllen.

Der Vorteil von Cross-over-Studien liegt darin, dass eine geringere Probandenzahl vonnöten ist als bei anderen Studiendesigns. Dies lässt sich dadurch erklären, dass jeder Proband seine eigene Referenzgruppe bildet, da er in der Durchführung an jedem Gerät getestet wird (Wellek und Blettner 2012). Die Heterogenität einer jeden Probandengruppe fällt somit weniger ins Gewicht, da die intraindividuelle Variabilität geringer ausgeprägt ist, als es die interindividuelle sein kann (Schumacher und Schulgen-Kristiansen 2008). Somit kann dasselbe Ergebnis mit derselben Teststärke, aber unter Testung von weniger Probanden nachgewiesen werden (Held 2010).

Es muss darauf geachtet werden, dass die Probanden beim Bewältigen der Übungen in der zweiten Phase der Testung nicht deshalb verändert abschneiden, weil sie noch durch den ersten Durchgang beeinflusst wurden (Schumacher und Schulgen-Kristiansen 2008). Um dies zu verhindern, muss eine entsprechende Pause, „Wash-out“-Phase genannt, zwischen dem ersten und dem zweiten Durchgang liegen (Held 2010). Ist diese „Wash-out“-Phase nicht ausreichend lang, kann es zu einer Verzerrung des Ergebnisses beim zweiten Absolvieren der Übungen kommen. Um dies zu vermeiden, muss der Behandlungseffekt in einem Vorschalttest berechnet werden, der die Summe von gemessenen Werten bei beiden Durchgängen in beiden Gruppen vergleicht (Wellek und Blettner 2012). Ist dieser Vorschalttest statistisch signifikant, liegt ein „Carry-over“-Effekt vor und man muss mit den Ergebnissen des ersten Durchganges bei beiden Gruppen wie bei einem Parallelgruppen-Vergleich weiter verfahren. Ist der Vorschalttest statistisch nicht signifikant, wird der „Carry-over“-Effekt nicht verifiziert und der Mann-Whitney-U-Test für unabhängige Stichproben kann verwendet werden (Wellek und Blettner 2012; Schumacher und Schulgen-Kristiansen 2008).

2.3.2 Statistische Auswertung

Die Messergebnisse wurden zuerst in eine Tabelle in Microsoft Excel 2016 überführt. Es wurden zwei getrennte Tabellen für beide Versuchsgruppen angelegt. Diese wurden nach Beendigung der Datenerhebung zusammengeführt.

Zuerst wurde eine Bonferroni-Korrektur angewendet. Durch diese besteht die Möglichkeit, trotz mehrfacher statistischer Testung die Fehlerwahrscheinlichkeit für einen α -Fehler gering zu halten (Krummenauer et al. 2008). Benutzt man viele statistische Tests im Rahmen der Auswertung, ist es möglich versehentlich die Nullhypothese zu verwerfen, obwohl sie zutreffen hätte. Dies bezeichnet man auch als Fehler 1. Art. Bei einem gebräuchlichen Prozentwert von 5%, erreicht man durch häufigen Gebrauch von statistischen Tests und bei Vorhandensein von parallelen primären Endpunkten schnell einen Bereich, in dem das Auftreten des Fehlers 1. Art sehr wahrscheinlich wird (Krummenauer et al. 2008).

Da in der vorliegenden Studie viele Tests verwendet werden müssen, liegt es nahe mit einer Bonferroni-Korrektur zu arbeiten. Bei dieser muss das Signifikanzniveau (α_{glob}) durch die Testanzahl (n) geteilt werden. Ist der später berechnete p-Wert kleiner, als das neu angepasste Signifikanzniveau (α_{lok}), ist der Test signifikant.

$$\frac{\alpha_{\text{glob}}}{n} = \alpha_{\text{lok}}$$

Nach Empfehlung des biometrischen Institutes der Universität Tübingen wurde das α_{glob} mit 9% festgelegt. Um nicht durch unsinnige Testungen versehentlich einen Fehler 1. Art zu provozieren, wurde die Zahl der Tests auf 6 begrenzt. Inklusive Vorschalttest wurden also 3 Übungen getestet.

Für die weiteren Verfahren wurden Übung 1 mit Treffern und Fehlern und Übung 3 herausgesucht.

Die Gründe dafür werden in der Diskussion erläutert. Es ergibt sich Folgendes:

$$\frac{9}{6} = 1,5\%$$

Da $\alpha_{\text{lok}} = 1,5\%$ ist, muss der p-Wert in den Mann-Whitney-U-Testungen für die Übungen 1 und 3 kleiner als 1,5% sein, um ein signifikantes Ergebnis abzubilden.

Die statistische Auswertung, Tests und alle folgenden Diagramme und Boxplots wurden mit dem Programm IBM SPSS® Statistics 24 vorgenommen.

2.3.3 Fragebögen

Da die zu beantwortenden Fragen vor allem geschlossener Art waren, konnten die Ergebnisse in tabellarischer Form in Microsoft Excel 2016 vermerkt werden. Anschließend wurden diese mit dem Programm IBM SPSS® Statistics 24 im Rahmen der deskriptiven, statistischen Erhebung berechnet.

2.3.4 Gruppenbildung

Die Teilnehmer wurden randomisiert in zwei Gruppen eingeteilt. Gruppe 1 begann mit dem 4K-System und wechselte nach der Pause zu dem HD-System. Gruppe 2 begann mit dem HD-System und wechselte nach der Pause zum 4K-System.

Tabelle 1: Festlegung der Reihenfolge, Einteilung je nach Gruppe

	erster Durchgang = Erstversuch	zweiter Durchgang = Zweitversuch
Gruppe 1	4K	HD
Gruppe 2	HD	4K

3. Ergebnisse

3.1 Probandenstudie

3.1.1 Deskriptive Statistik

Die Studie wurde mit 40 Probanden durchgeführt. Darunter befanden sich 23 Frauen und 17 Männer.

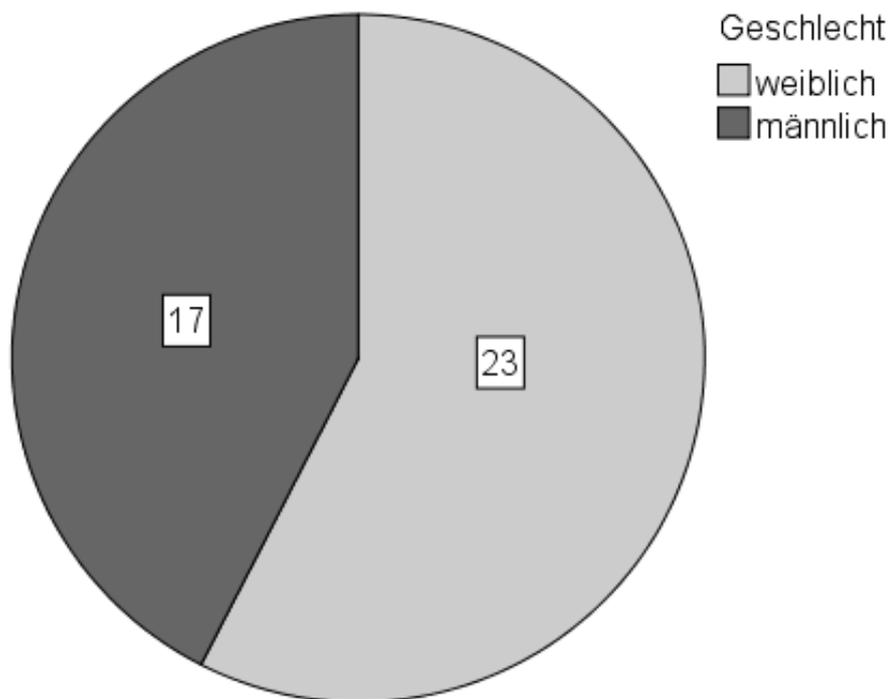


Abbildung 21: Verteilung der Probanden nach Geschlecht

36 Probanden gaben als dominante Hand rechts und 4 Probanden gaben als dominante Hand links an. 20 Probanden trugen keine Brille, die andere Hälfte trug entweder eine Brille oder Kontaktlinsen. 28 Probanden erreichten im Visustest 100% für jedes Auge. 6 Probanden hatten unter 100% Sehschärfe auf jedem Auge und 7 Probanden erzielten auf einem Auge 100% und auf dem Partnerauge weniger.

Insgesamt gaben 30 Teilnehmer an, keinerlei laparoskopische Erfahrung zu haben, 10 Teilnehmer stufen ihre laparoskopische Erfahrung als „wenig“ ein.

Die Probanden befanden sich zum größten Teil im klinischen Abschnitt des Studiums. In Abbildung 22 ist die genaue Verteilung der Probanden nach Semester zu sehen.

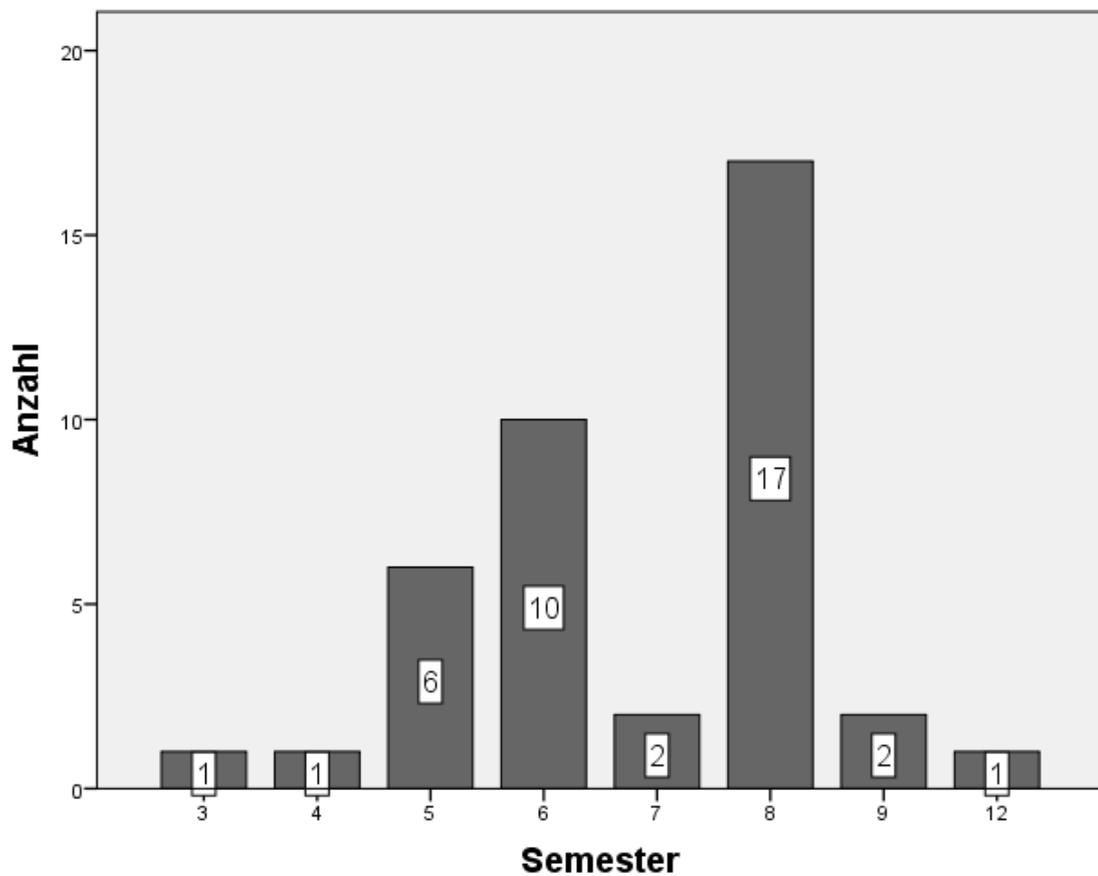


Abbildung 22: Verteilung der Probanden nach Semester

Auf die Frage, welches Bild subjektiv das bessere sei, antworteten 25 Probanden mit 4K (= 62,5%), vier mit HD (=10%) und elf Teilnehmer (=27,5%) fanden keinen Unterschied zwischen den auf 4K und HD angebotenen Bildern. In Abbildung 23 ist dies als Balkendiagramm aufgezeigt.

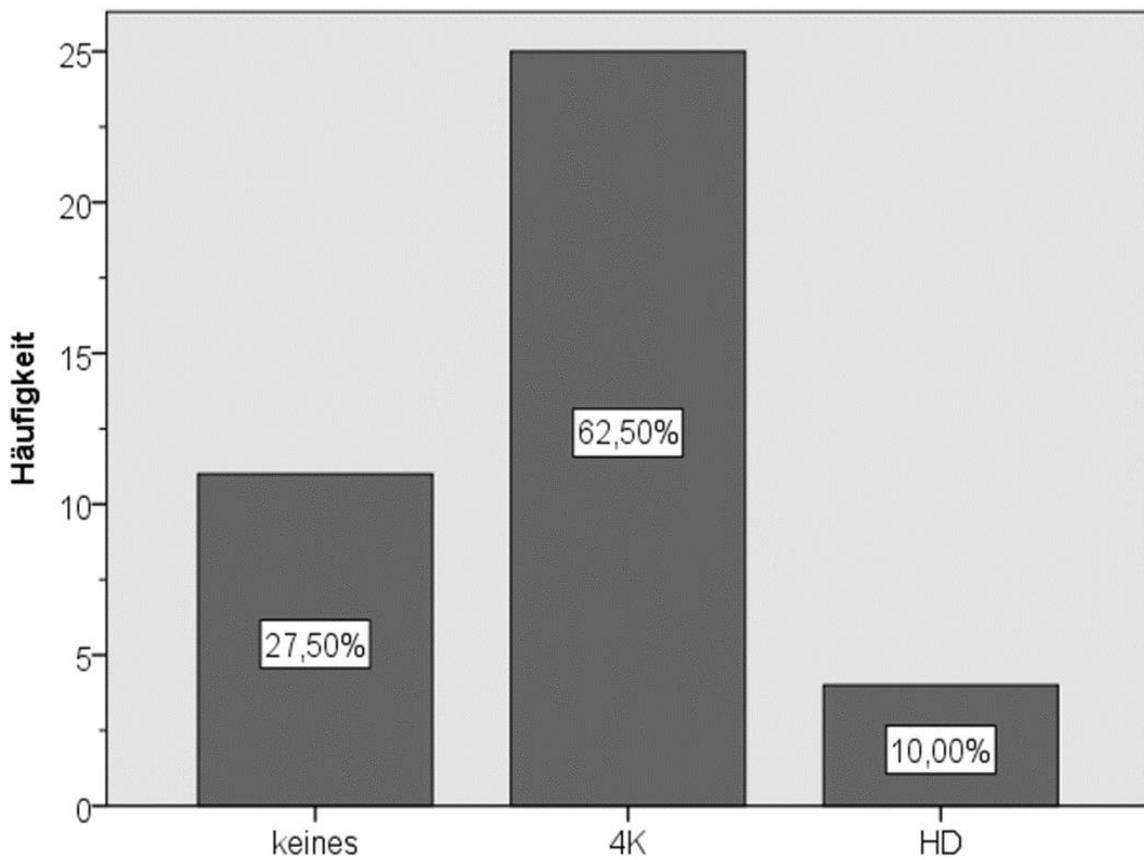


Abbildung 23: Antwort auf die Frage "Welches Bild war besser?"

3.1.1.1 Übung 1

In Übung 1 wurden die richtig auf die Metallstifte gesteckten Bügelperlen als Treffer und die heruntergefallenen Bügelperlen als Fehler gewertet. Gruppe 1, die in 4K begann, erreichte im Median 3,5 Treffer mit dem Minimum bei 0 und dem Maximum bei 8. Im Zweitversuch, der in HD durchgeführt wurde, erreichte Gruppe 1 im Median 5 Treffer, Minimum und Maximum sind mit 0 bzw. 8 gleichbleibend.

Gruppe 2, die mit HD begann, erreichte im Median 4 Treffer mit einem Minimum von 0 und einem Maximum von 6. Im zweiten Versuch in 4K erreichte Gruppe 2 einen Median von 5 Treffern und dort ein Minimum von 0 und ein Maximum von 9 Treffern.

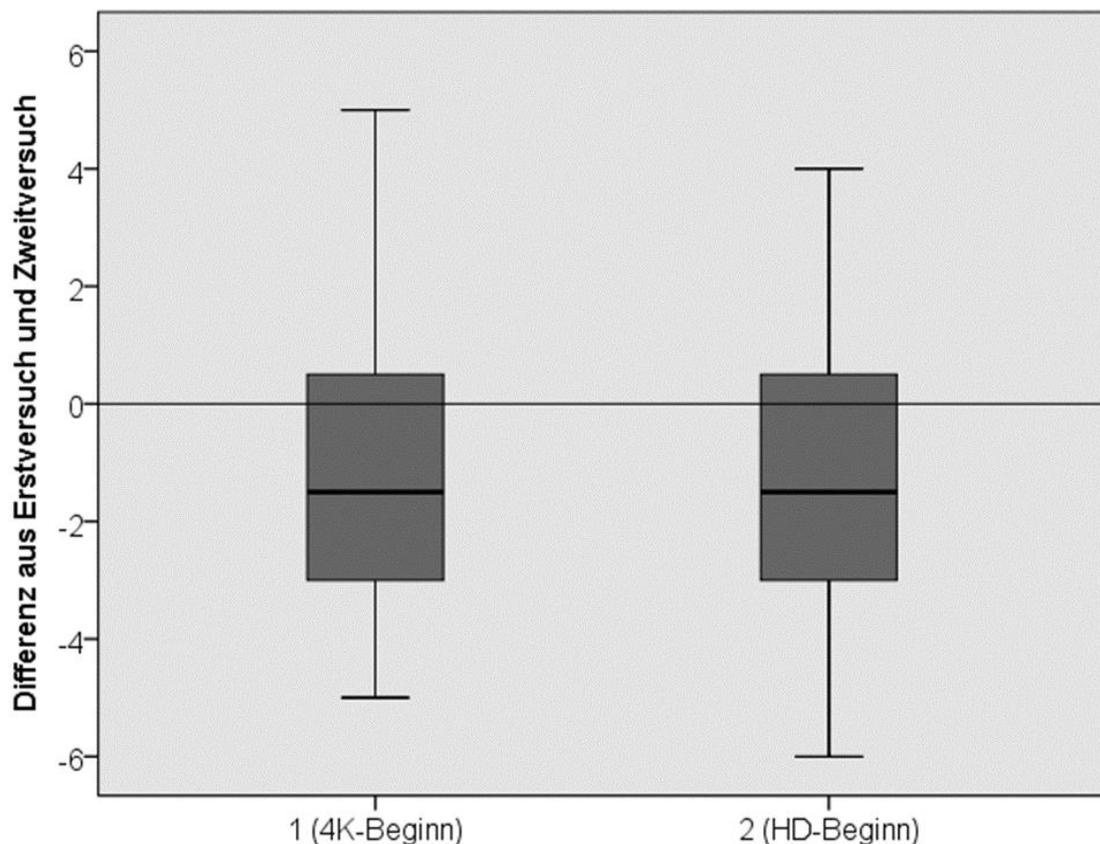


Abbildung 24: Deskriptive Statistik zu Übung 1 (Treffer)

Die Abbildungen 24 und 25 stellen jeweils die Treffer bzw. die Fehler in Relation zueinander. Sie gründen auf der Annahme, dass 4K das überlegene System der beiden ist. Deshalb ist zu erwarten, dass grundsätzlich im 4K Versuch jeweils mehr Treffer erzielt und weniger Fehler begangen werden.

Bildet man nun die Differenz auf den 4K und den HD-Durchgängen, muss – vorausgesetzt die Annahme der H_1 stimmt – Gruppe 1 bei den Treffern (Abb. 24) ein positives und bei den Fehlern (Abb. 25) ein negatives Ergebnis vorweisen. Mit Gruppe 2 verhält es sich genau umgekehrt, da diese die 4K-Versuche im Anschluss an die HD-Versuche hatte. Um zu veranschaulichen, ob diese Vermutungen zutreffen, wurde eine Nulllinie durch die y-Achse gelegt.

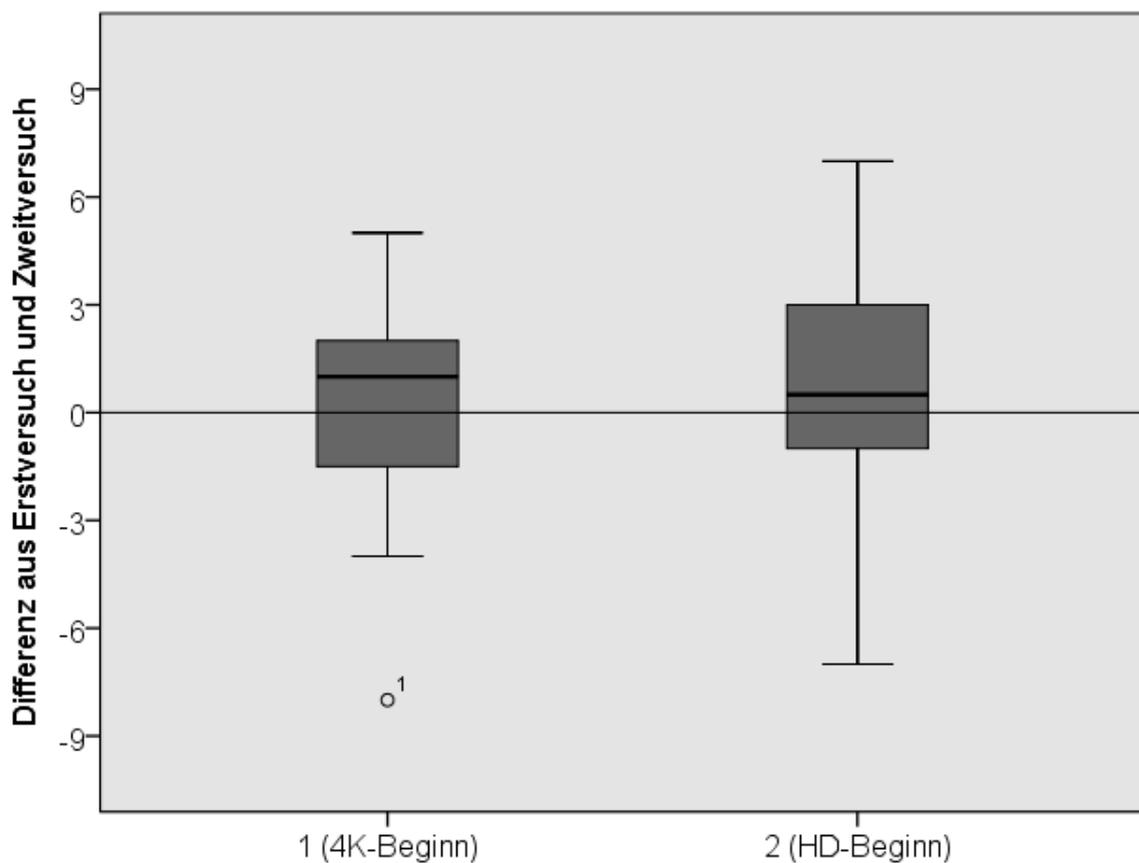


Abbildung 25: Deskriptive Statistik zur Übung 1 (Fehler)

Fehler unterliefen Gruppe 1 im Median 3 bei den Versuchen in 4K und 2,5 bei den Versuchen in HD. Das Minimum lag im ersten Durchlauf in 4K bei 1, das Maximum bei 8, im zweiten Durchlauf in HD bei 1 bzw. bei 10.

Gruppe 2 unterliefen im ersten Versuch in HD im Median 4 Fehler mit einem Minimum von 1 und einem Maximum von 8. Im Zweitversuch in 4K erfolgten 3,5 Fehler mit einem Minimum von 0 und einem Maximum von 9.

Für den Vorschalttest in der Fragestellung Treffer zeigte sich $p = 0,503$.

Der Vorschalttest für die heruntergefallenen Perlen ergab $p = 0,345$
Es liegt also in keinem Fall ein Carry-over-Effekt vor.

Zusätzlich konnte im Haupttest ein p-Wert von 0,412 bei den Treffern und $p = 0,371$ bei den Fehlern errechnet werden.

3.1.1.2 Übung 2

Bei Übung 2 wurde analog zur Übung 1 jede abgelegte Bügelperle als Treffer und jede heruntergefallene Bügelperle als Fehler gewertet. In Gruppe 1, die in 4K begannen, gibt es im Median 3 Treffer mit einem Minimum von 0 und einem Maximum von 6. In deren Zweitversuch in HD erreichte Gruppe 1 einen Median von 3,5 Treffern mit einem Minimum von 1 und einem Maximum von 7. Gruppe 2, die in HD begann, erreichte dort im Median 2 Treffer mit einem Minimum von 0 und einem Maximum von 6. Im zweiten Durchgang in 4K ergab sich ein Median von 3 Treffern, ein Minimum von 0 und ein Maximum von 7 Treffern.

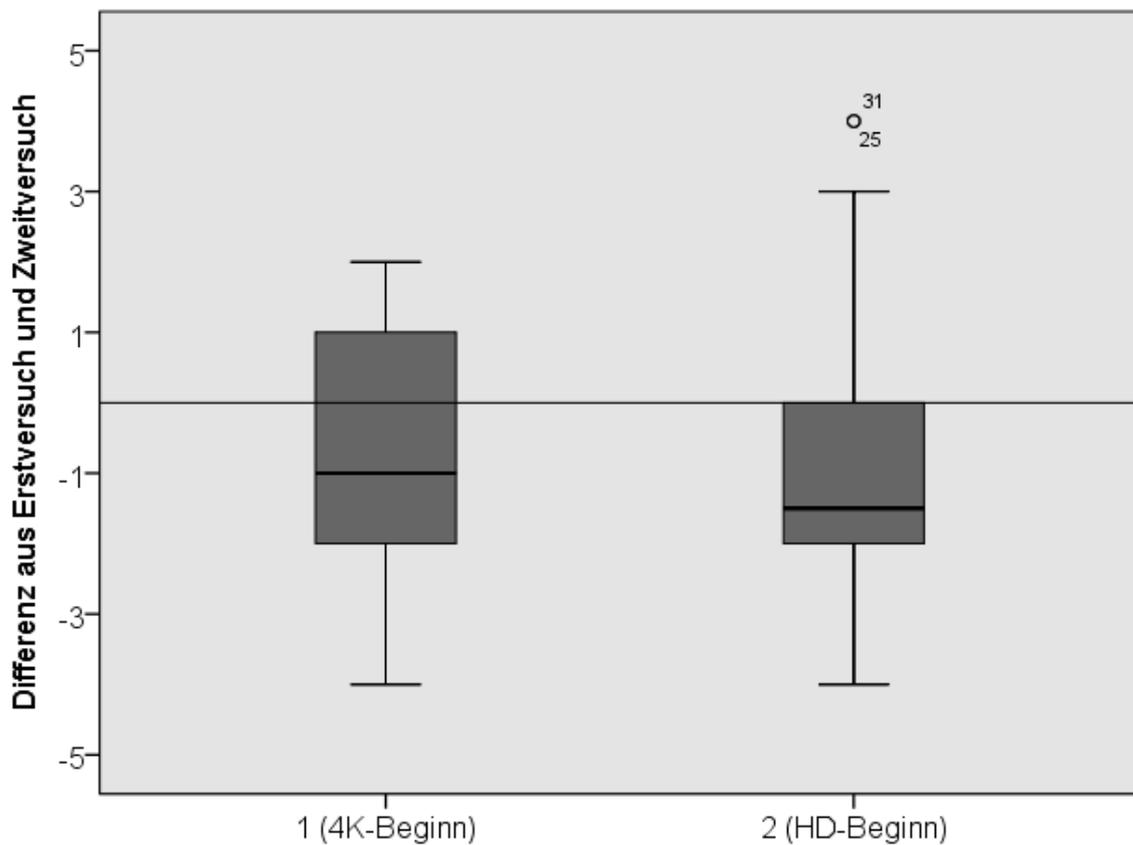


Abbildung 26: Deskriptive Statistik zur Übung 2 (Treffer)

Heruntergefallen waren in Gruppe 1 im 4K-Erstversuch im Median 4 Perlen mit einem Minimum von 1 und einem Maximum von 9, im zweiten Durchgang in HD gab es einen Median von 3,5 Fehlern mit einem Minimum von 1 und einem Maximum von 9 Fehlern. Bei Gruppe 2 ergaben sich im Median 4 Fehler, ein Minimum von 1 und ein Maximum von 10 im HD-Versuch und im 4K Versuch ein Median von 3,5 Fehlern mit einem Minimum von 1 und einem Maximum von 8 heruntergefallenen Bügelperlen.

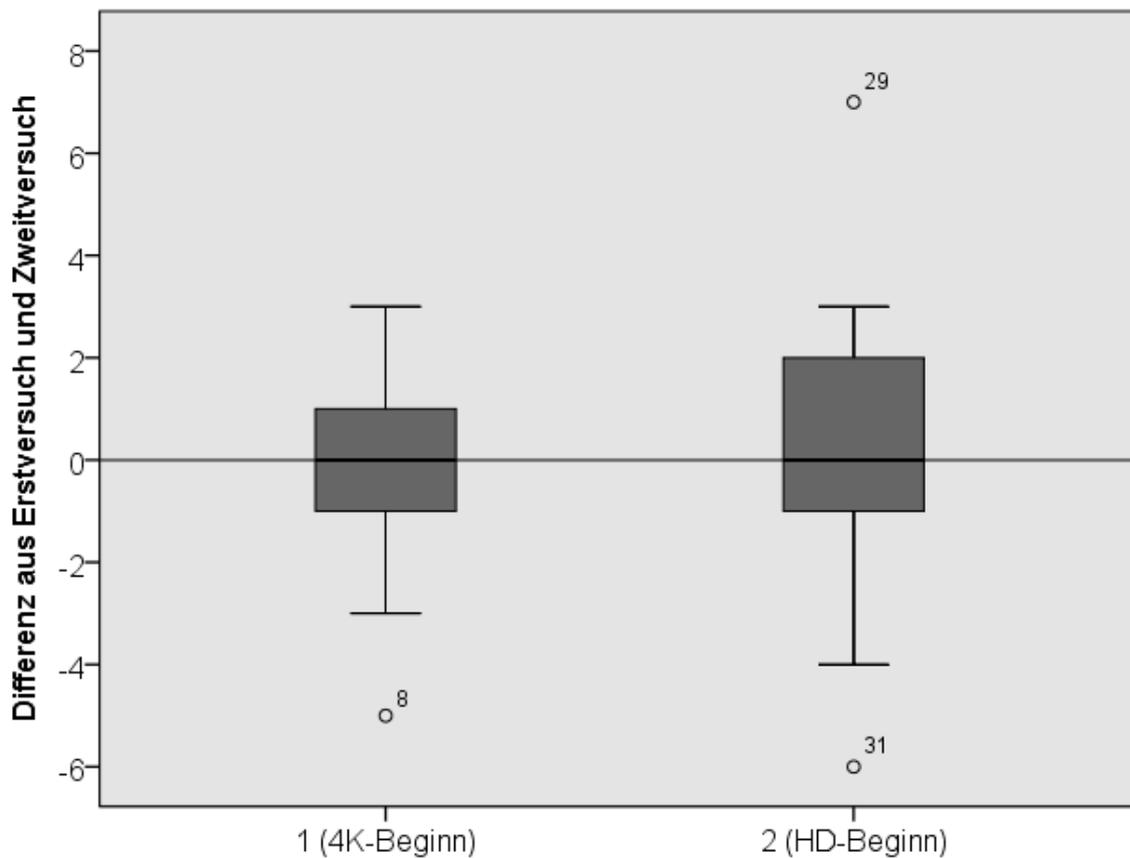


Abbildung 27: Deskriptive Statistik zur Übung 2 (Fehler)

Auch hier wurden die Versuche in Relation gesetzt. Wie in Übung 1 erläutert, wurde erwartet, dass Gruppe 1 positive Treffer (Abb. 26) und negative Fehlerdifferenzen (Abb.27) erzielt, während Gruppe 2 negative Treffer (Abb. 26) und positive Fehlerdifferenzen (Abb. 27) aufweist.

3.1.1.3 Übung 3

Da in Übung 3 maximal 7 Treffer erreicht werden können, erübrigte es sich, diese Übung in Treffer und Fehler bzw. Gesehen und Übersehen zu teilen. Gruppe 1 sah im ersten Durchgang in 4K im Median 6 Kreuzungen mit einem Minimum von 0 und einem Maximum von 7, im zweiten Durchgang in HD sah Gruppe 1 im Median 4 Kreuzungen mit einem Minimum von 4 und einem Maximum von 6.

Gruppe 2 sah im Erstversuch in HD im Median 4 Kreuzungen, ein Minimum von 4 und ein Maximum von 6 und im Zweitversuch in 4K im Median 6 Kreuzungen mit einem Minimum von 4 und einem Maximum von 7.

Wie bereits in den vorhergehenden Übungen wurde auch hier die Differenz ins Verhältnis zueinander gesetzt, sodass für Gruppe 1 positive und für Gruppe 2 negative Werte hinweisend für eine Überlegenheit von 4K wären.

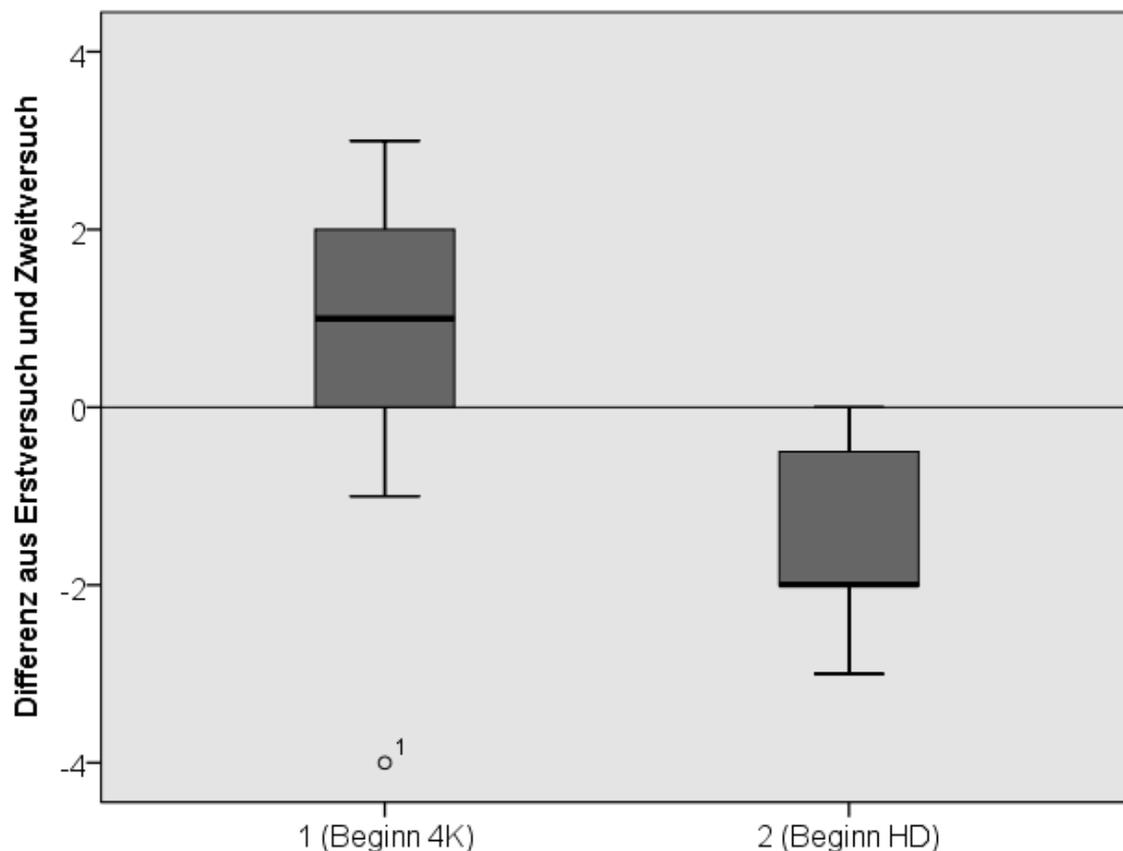


Abbildung 28: Deskriptive Statistik zur Übung 3

Der Vorschalttest für die gesehenen Kreuzungen ergab $p = 0,249$.

Es lag also kein Carry-over-Effekt vor, daher darf nun mit dem Mann-Whitney-U-Test weiter verfahren werden. Hier ergibt sich $p < 0,001$, was eine statistische Signifikanz zeigt.

3.1.1.4 Übung 4

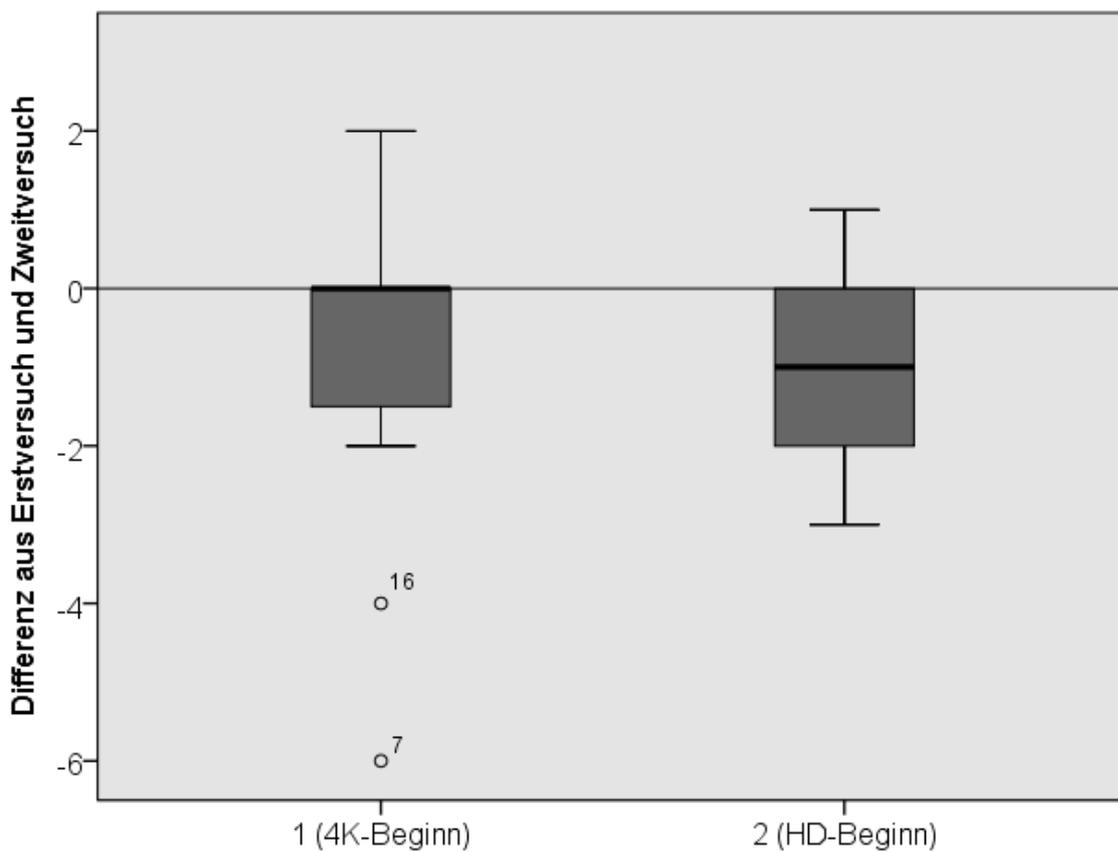


Abbildung 29: Deskriptive Statistik zur Übung 4 (Einstich)

In Gruppe 1 gab es im Median im ersten Versuch unter 4K 2 Treffer mit einem Minimum von 1 und einem Maximum von 4. Im zweiten Versuch mit HD ergaben

sich im Median 3 Treffer mit Minimum und Maximum von 1 bzw. 8.

Gruppe 2 erzielte im ersten Versuch mit HD im Median 2 Treffer bei einem Minimum von 0 und einem Maximum von 4. Im zweiten Versuch in 4K erzielte sie im Median 3 Treffer mit einem Minimum von 0 und einem Maximum von 6.

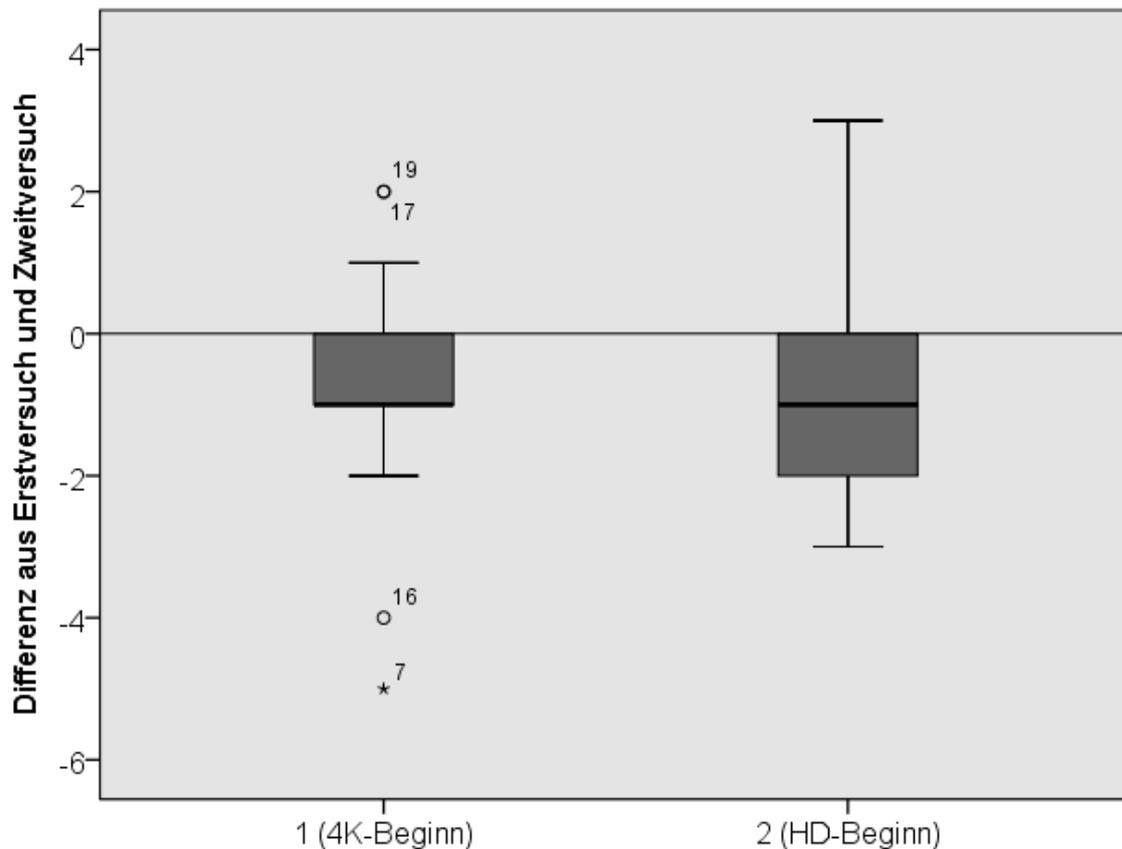


Abbildung 30: Deskriptive Statistik zur Übung 4 (Ausstich)

Gruppe 1 erreichte im 4K-Erstversuch im Median 2 richtige Ausstiche (= Treffer) und dort ein Minimum von 0 und ein Maximum von 4. Im HD-Zweitversuch gab es im Median auch 2 Treffer bei einem Minimum von 0 und einem Maximum von 7. Gruppe 2 setzte im Erstversuch in HD im Median 2 richtige Treffer bei einem Minimum von 0 und einem Maximum von 4.

Im Zweitversuch mit 4K ergaben sich im Median 3 Treffer mit einem Minimum von 0 und einem Maximum von 6.

Immer noch unter der Annahme, dass 4K überlegen war, folgte sich daraus, dass Gruppe 1 beim Ein- und Ausstich positive Werte (Abb. 29 und 30) und Gruppe 2 negative Werte (Abb. 29 und 30) erzielen müsste.

3.2 Pilotstudie Teil 2

Die Gruppe der Teilnehmer des zweiten Teils der Pilotstudie setzte sich aus sechs Ärzten und einer Ärztin zusammen, die allesamt in der Allgemeinchirurgie des Universitätsklinikums Tübingen tätig waren. Zwei von ihnen waren Brillenträger oder Kontaktlinsenträger, fünf nicht.

Bei einer laparoskopischen Cholezystektomie assistiert hatten alle Teilnehmer. Eine laparoskopische Cholezystektomie operiert hatten nur fünf Teilnehmer. Bei einer TAPP assistiert hatten fünf Teilnehmer, als Operateur waren zum Zeitpunkt der Datenerhebung nur drei tätig gewesen. Alle hatten aber bereits Trainingseinheiten zur laparoskopischen Cholezystektomie absolviert.

Nach der Durchführen der lap CHE und der TAPP, mussten die Teilnehmer einen Fragebogen ausfüllen. Auf die Frage „Haben Sie heute flüssiger gearbeitet, als sonst?“ antworteten drei (42,86%) mit „Ja“ und vier (57,14%) mit „Nein“.

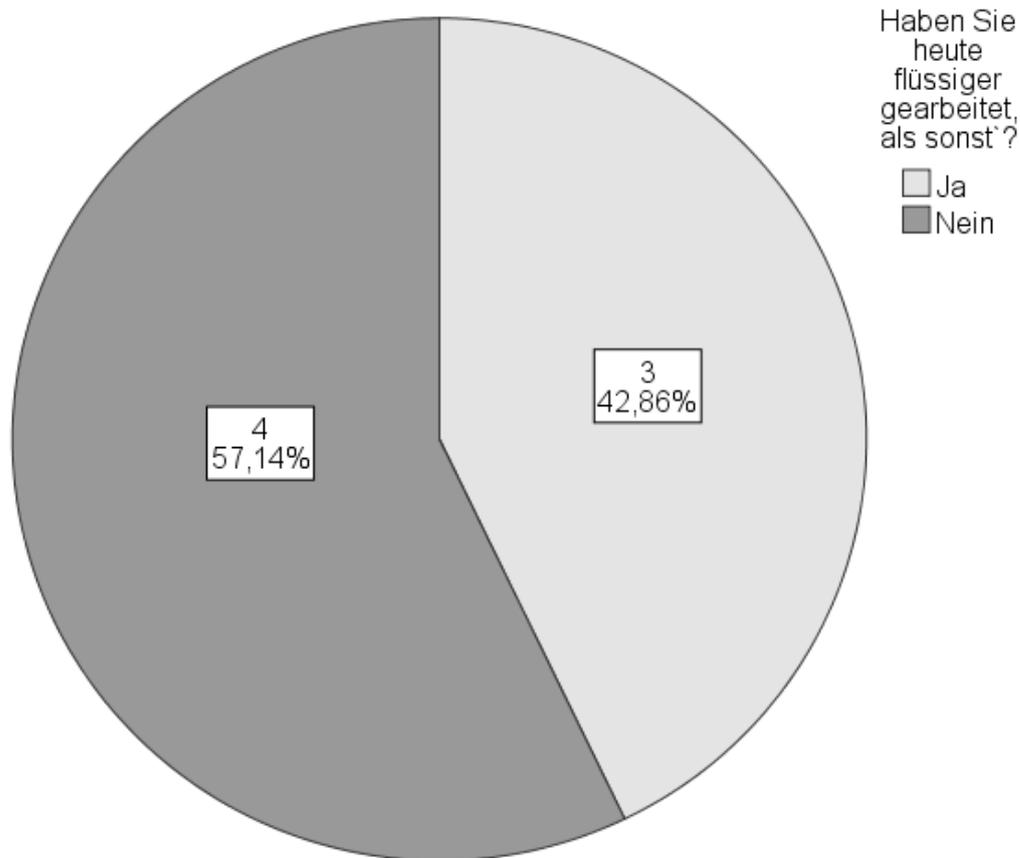


Abbildung 31: Expertenbefragung – 1 „Haben Sie heute flüssiger gearbeitet als sonst?“

Zudem wurde gefragt „War bei einem der beiden Schirme die Orientierung im OP-Feld besser?“. Drei Teilnehmer (42,86%) fanden, dass bei beiden Monitoren die Orientierung gleich gut war. Vier Teilnehmer (57,14%) fanden die Orientierung im 4K-Bildschirm besser.

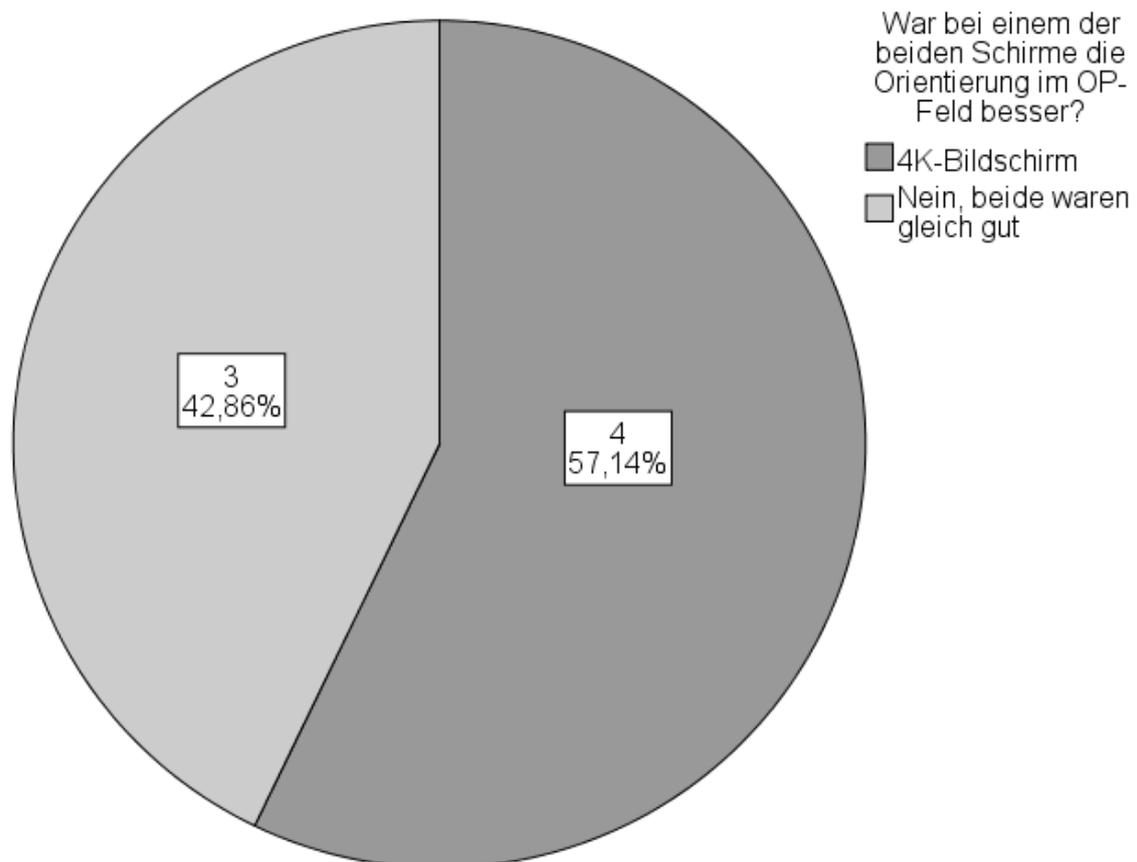


Abbildung 32: Expertenbefragung – 2 „War bei einem der beiden Schirme die Orientierung im OP-Feld besser?“

Zusätzlich dazu wurde die reine Operationsdauer gestoppt.

Nachfolgend nun die Ergebnisse:

3.2.1 Laparoskopische Cholezystektomie

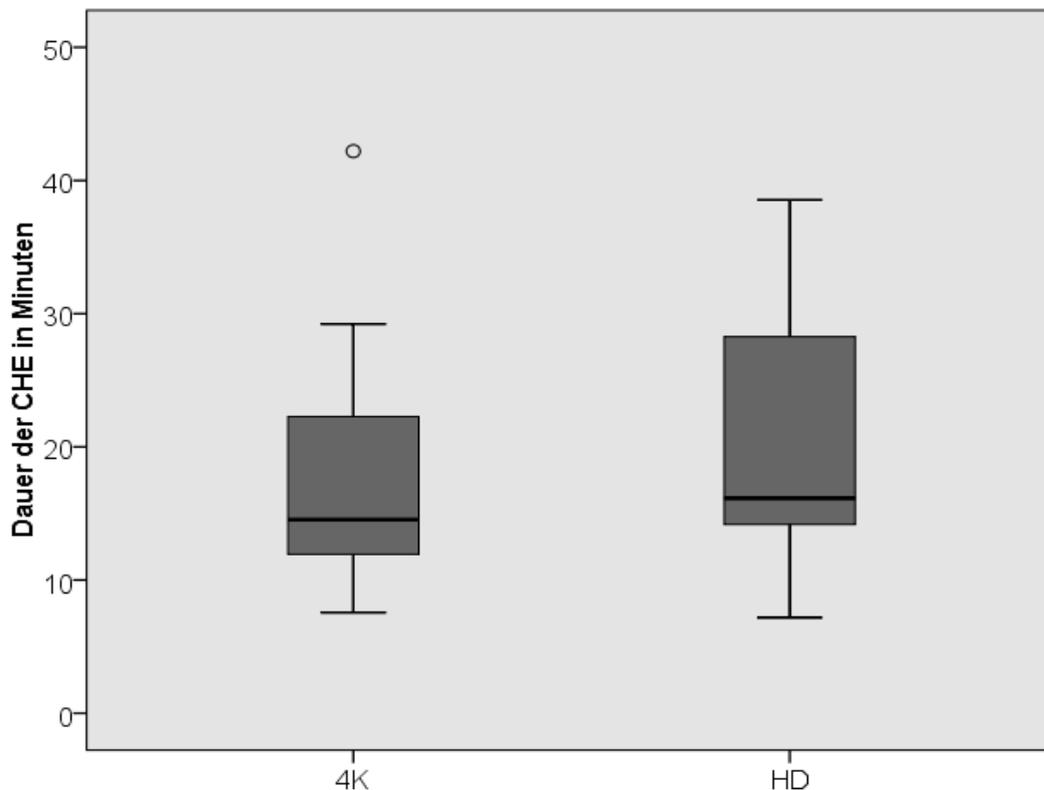


Abbildung 33: Dauer der laparoskopischen CHE im Vergleich

Die längste (42 Min. 02 Sek.) Operationsdauer für eine lap. CHE wurde in 4K gemessen. Die kürzeste (7 Min. 18 Sek.) Operationsdauer wurde unter HD-Bedingungen erbracht. Im Durchschnitt dauerte die lap. CHE in 4K-Bedingungen, unabhängig davon, ob es der Erst- oder Zweitversuch war, ca. 18 Minuten. Der Median lag bei 14 Min. 53 Sek.

Im Durchschnitt dauerte die lap. CHE unter HD-Bedingungen unabhängig davon, ob es der Erst- oder Zweitversuch war mit ca. 20 Minuten länger. Der Median lag bei 26 Min. 18 Sek. und damit auch etwas über dem Median der 4K-Operationen. In Abbildung 33 ist sichtbar, dass die Spanne der Operationsdauer in HD viel weiter ist, als in 4K, wenn man den Ausreißer nach oben außer Acht lässt.

3.2.2 TAPP

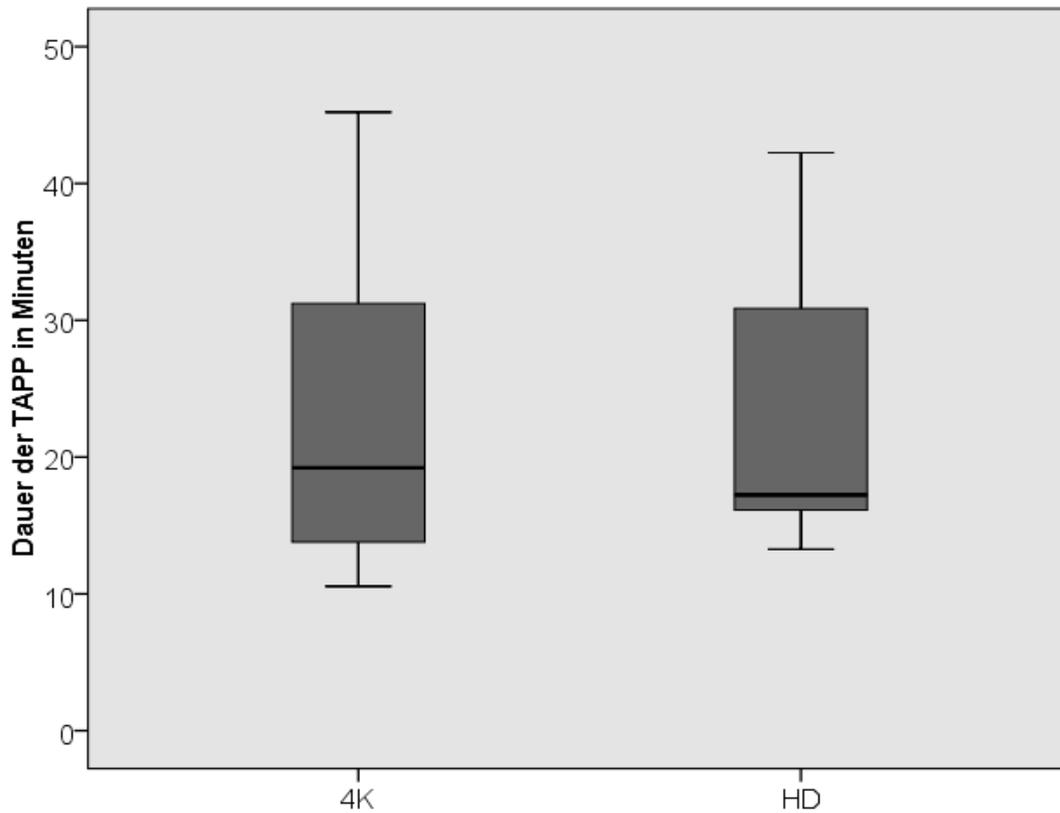


Abbildung 34: Dauer der TAPP im Vergleich

Bei der TAPP fanden der längste Versuch mit 45 Min. 21 Sek und der kürzeste Versuch mit 10 Min. 55 Sek. unter 4K-Bedingungen statt. Im Durchschnitt dauerten die Operationen in 4K ca. 23 Minuten, unabhängig davon, ob es der Erst- oder Zweitversuch war.

Der Median lag bei allen 4K-Versuchen insgesamt bei 19 Min. 21 Sek. Unter HD-Bedingungen dauerten die Operationen 23 Minuten, unabhängig davon, ob es der Erst- oder Zweitversuch war.

Der Median lag bei allen HD-Versuchen insgesamt bei 17 Min 23 Sek, also etwas unter dem Median der 4K-Versuche.

4. Diskussion

4.1 Interpretation der Ergebnisse der Probandenstudie

Zusammengefasst ist zu sagen, dass in den Übungen 1 und 2, die beide die Hand-Auge-Koordination getestet haben, keine der beiden Gruppen signifikant besser abgeschnitten hat. Übung 3 überprüfte das Auflösungsvermögen der beiden Systeme und damit genau den technischen Vorteil, der durch das 4K-System zu erwarten ist. Hier konnte ein signifikanter Unterschied bewiesen und unter dem 4K-System eine höhere Trefferquote erzielt werden. Bei Übung 4 zeigte sich, dass insgesamt der zweite Durchgang der erfolgreichere war, unabhängig davon, ob dieser in HD oder 4K durchgeführt wurde.

Die Alternativhypothese H1, welche einen Unterschied zwischen den beiden Systemen und eine Überlegenheit von 4K gegenüber HD annahm, muss also verworfen werden.

Die erhobenen Ergebnisse stimmen nur teilweise mit den erwarteten überein: In Übung 1 und 2 haben die Probanden unter 4K-Sicht keine besseren Ergebnisse erzielt. Auch die Fehleranzahl hat sich nicht signifikant reduziert. Erwartet man, dass Gruppe 1 im Erstversuch unter 4K-Bedingungen die Übungen besser absolviert als im Zweitversuch unter HD-Bedingungen, müssten mehr Treffer im Erstversuch (4K) und weniger Treffer im Zweitversuch (HD) gezählt werden.

Die Treffersumme jeder Übung i (T_i) errechnet sich aus den summierten Einzeltreffern (t_p) jedes Probanden P innerhalb einer Gruppe (4K oder HD): Für Gruppe 1, deren Teilnehmer alle mit ungeraden Zahlen nummeriert wurden, bedeutet das:

$$[1] \quad T_{1i} := \sum_{p=0}^{19} t_{2p+1,i}$$

Analog muss die Treffersumme (T_i) jeder Übung von jedem Probanden P der Gruppe 2, die in HD begann und mit geraden Zahlen durchnummeriert wurde, folgendermaßen lauten:

$$[2] \quad T_{2i} := \sum_{p=1}^{20} t_{2p,i}$$

Genauso verhält es sich mit der Fehlersumme für jede Übung.
Die Fehlersumme jeder Übung i (F_i) errechnet sich aus den summierten Einzelfehlern (f_p) jedes Probanden (P) innerhalb einer Gruppe (4K oder HD):
Für Gruppe 1, deren Teilnehmer alle mit ungeraden Zahlen nummeriert wurden, bedeutet das:

$$[3] \quad F_{1i} := \sum_{p=0}^{19} f_{2p+1,i}$$

Analog für Gruppe 2, die mit geraden Zahlen durchnummeriert wurde:

$$[4] \quad F_{2i} := \sum_{p=1}^{20} f_{2p,i}$$

Zieht man bei Gruppe 1 die Gesamtzahl der Treffer im Zweitversuch (= $T_{1_{ges,HD}}$) von der Gesamtzahl der Treffer im Erstversuch (= $T_{1_{ges,4K}}$) ab, müsste eine positives Restergebnis (= $+\Delta$) vorhanden bleiben. Für Gruppe 1 gilt also:

$$[5] \quad T_{ges,4K} - T_{ges,HD} = +\Delta$$

(Summe der Treffer Erstversuch in 4K) – (Summe der Treffer Zweitversuch in HD) = $+\Delta$

Zusätzlich wird bei einer Überlegenheit von 4K erwartet, dass unter HD-Bedingungen mehr Fehler passieren als unter 4K. Um dies zu verifizieren, wurden in Gruppe 1 die Summe der Fehler im Zweitversuch (= $F_{1_{ges,HD}}$) von der Summe der Fehler im Erstversuch (= $F_{1_{ges,4K}}$) subtrahiert. Unter der Annahme,

dass 4K überlegen ist, müsste sich hieraus ein negatives Restergebnis (= - Δ) ergeben.

Es gilt zusätzlich:

$$[6] \quad F1_{\text{ges},4K} - F1_{\text{ges},HD} = - \Delta$$

$$(\text{Summe der Fehler}_{\text{Erstversuch in 4K}}) - (\text{Summe der Fehler}_{\text{Zweitversuch in HD}}) = - \Delta$$

Analog gilt für Gruppe 2:

$$[7] \quad T2_{\text{ges},HD} - T2_{\text{ges},4K} = - \Delta$$

$$(\text{Summe der Treffer}_{\text{Erstversuch in HD}}) - (\text{Summe der Treffer}_{\text{Zweitversuch in 4K}}) = - \Delta$$

Und:

$$[8] \quad F2_{\text{ges},HD} - F2_{\text{ges},4K} = + \Delta$$

$$(\text{Summe der Fehler}_{\text{Erstversuch in HD}}) - (\text{Summe der Fehler}_{\text{Zweitversuch in 4K}}) = + \Delta$$

Summiert man die als richtig gewerteten Treffer in beiden Gruppen und zieht diese voneinander ab, müsste bei Gruppe 1 (Beginn in 4K) ein positives Restergebnis (= + Δ) herauskommen, wohingegen in Gruppe 2 (Beginn in HD) ein negatives Resultat (= - Δ) erwartet werden muss. Im Gegensatz dazu müsste die Fehlerdifferenz bei Gruppe 1 negative und bei Gruppe 2 positive Werte aufweisen.

Betrachtet man die Boxplots für Übung 1 (Abbildung 24 und 25), ist ersichtlich, dass dies nicht den gemessenen Ergebnissen entspricht. Der Boxplot der Gruppe 1 (4K-Beginn) in Abbildung 24 ist nicht über der Nulllinie, der Boxplot der

Gruppe 2 (HD-Beginn) in Abbildung 24 ist unter der Nulllinie. Beide Boxplots schneiden die Nulllinie innerhalb des oberen Quartils.

Für die Fehler der Übung 1 ergeben sich keine aussagekräftigen Boxplots, siehe Abbildung 25. Die Boxplots beider Gruppen schneiden die Nulllinie innerhalb des unteren Quartils.

Im Vorschalttest zur Übung 1 zeigte sich, dass es keinen Carry-over-Effekt gibt. Die beiden p-Werte im Haupttest für die Treffer und die Fehler ($p=0,412$, bzw. $p=0,371$) lassen auf keine statistische Signifikanz deuten. Da der p-Wert in beiden Fällen $> 0,015$ war, muss für die Übung 1 die Nullhypothese angenommen werden.

Die Boxplots der Übung 2 (Abbildung 26 und 27) müssen analog den Boxplots der Übung 1 betrachtet werden. So sollte in Abbildung 26 Gruppe 1 bei den Treffern ein positives Endergebnis und Gruppe 2 ein negatives Endergebnis erzielen. Dies konnte nicht gezeigt werden. Die Fehlerboxplots (Abbildung 27) müssten bei einer Überlegenheit von 4K umgekehrt, also Gruppe 1 mit negativen Werten und Gruppe 2 mit positiven Werten, erscheinen. Diese Annahme konnte nicht gezeigt werden, stattdessen schneiden beide Boxplots die Nulllinie im Median.

Übungen 1 und 2 testeten als Handlingübung dieselben Attribute. Da sich beide Übungen von der Ergebnisverteilung ähnelten, wurde darauf verzichtet, Übung 2 als eigenstehende Übung in die Testung aufzunehmen, um keinen Fehler der 1. Art zu provozieren.

Bei Übung 3 ging es um gesehene bzw. übersehene sich schneidende Linien. Hierbei sollte die visuelle Leistungsfähigkeit der beiden Systeme getestet werden. Da die maximale zu sehende Anzahl Kreuzungen auf 7 begrenzt war, erübrigt sich eine Messung der übersehenen Kreuzungen. Hier hätten erwartungsgemäß bei Gruppe 1 im Erstversuch mit 4K mehr Punkte gesehen

werden müssen als im zweiten Durchgang. Gruppe 2 hätte im Erstversuch mit HD weniger, als im Zweitversuch sehen müssen.

Bildet man wieder Summen aus den gesehenen Kreuzungen und zieht diese – analog zu Übung 1 und 2 – voneinander ab, müsste Gruppe 1 = + Δ und Gruppe 2 = - Δ sein. Deshalb müsste in Abbildung 28 Gruppe 1 über der Nulllinie im positiven Bereich und Gruppe 2 unter der Nulllinie im negativen Bereich sein. Diese Erwartung hat nur Gruppe 2 erfüllt. Der Boxplot von Gruppe 2 liegt komplett unter der Nulllinie. Der Boxplot von Gruppe 1 liegt zwar mit beiden Quartilen über der Nulllinie, doch gibt es ein Minimum, das in den negativen Bereich ragt.

Des Weiteren zeigt der Vorschalttest, dass es keinen Carry-over-Effekt gibt, daher scheint die Wash-Out-Phase ausreichend gewesen zu sein und auf eine Veränderung des Bildes wurde verzichtet. Im Haupttest zeigt sich $p < 0,001$.

Bei Übung 3 kann also angenommen werden, dass es einen statistisch signifikanten Unterschied gibt.

In Übung 4 wurden die richtigen Ein- und Ausstiche gewertet. Die ursprüngliche Idee war, dass richtige und falsche Ein- und Ausstiche gezählt werden. Da es aber annähernd keiner der Probanden schaffte, genau die Markierungen zu treffen und weil es anhand der Silikonschläuche und der Videos im Nachhinein oft auch nicht völlig nachzuvollziehen war, ob es sich um einen korrekt durchgeführten oder einen fehlerhaften Ein- oder Ausstich handelte, wurde beschlossen die falschen Ein- und Ausstiche in der Datenerhebung nicht zu berücksichtigen. Jeder Ein- oder Ausstich, der in der Nähe der Markierung war und offensichtlich in die richtige Richtung geführt wurde, wird als richtig gewertet. Zusammenfassend ist hier zu sagen, dass die Übung für das Probandenkollektiv zu anspruchsvoll war.

Deshalb wurde Übung 4 nicht in die statistische Auswertung einbezogen.

Bei beiden Abbildungen (29 und 30) war zu erwarten gewesen, dass sich in Gruppe 1 ein positives Ergebnis (= + Δ) über der Nulllinie und Gruppe 2 ein negatives Ergebnis (= - Δ) unter der Nulllinie präsentiert.

Vorliegend ist nun zu sehen, dass sich alle Boxplots der beiden Gruppen mit der 75%-Quartile unter der Nulllinie befinden. Da kein wirklicher Unterschied zwischen Gruppe 1 und Gruppe 2 oder zwischen dem HD- und dem 4K-Versuchen gesehen wird, kann von einer Überlegenheit des 4K-Systems nicht ausgegangen werden.

Grundsätzlich kann über Übung 4 gesagt werden, dass der zweite Versuch der bessere von beiden war, unabhängig davon, ob er in 4K oder in HD unternommen wurde. Dies könnte dadurch erklärt werden, dass die Probanden durch den ersten Durchgang schon geübter im Bearbeiten der Aufgabe waren.

Anscheinend profitieren Novizen mit keiner oder wenig Erfahrung bei Aufgaben, die die Hand-Auge-Koordination prüfen, nicht so sehr von einer verbesserten Visualisierung, wie erwartet.

Diese Erkenntnis stimmt mit den Ergebnissen von Harada et al. aus dem Jahr 2018 überein, wonach 4K zumindest bei komplexen laparoskopischen Übungen nicht den erwarteten Vorteil brachte (Harada et al. 2018). Grundlage der Studie war die Tatsache, dass inzwischen sowohl die 3D-, als auch die 4K-Technologie als Weiterentwicklung der bisher gebräuchlichen HD-Visualisierung in der Laparoskopie ihre Verwendung finden (Kunert et al. 2013a; Aoki et al. 2017). Die Probandengruppe bei Harada et al. bestand aus 11 Chirurgen, die 3 verschiedene laparoskopische Aufgaben (Nähen, Knoten und Nähen auf engstem Raum) absolvieren sollten. Alle Probanden begannen mit dem HD-Monitor. Als Cross-over-Studie konzipiert, mussten 6 Probanden die drei Aufgaben anschließend unter 3D-Sicht und 5 Probanden die Aufgaben mit dem 4K-Monitor bewältigen. Danach wurden die Systeme getauscht, sodass jeder Chirurg sowohl in 3D, als auch in 4K gearbeitet hatte (Harada et al. 2018). In die anschließende Auswertung flossen die Operationsdauer, die mit dem Instrument zurückgelegte Wegstrecke und die Fehler, die den Probanden bei der Aufgabenbewältigung unterlaufen waren, ein. Harada et al. nahmen an, dass 3D bei einfachen Übungen keinen großen Vorteil bringen würde. Eine einfache Übung ist beispielsweise Nähen, was alle teilnehmenden Chirurgen bereits im Arbeitsalltag sicher und effektiv unter HD durchführen konnten.

Interessanterweise verringerte sich aber die Durchführungszeit unter 3D im Gegensatz zum 4K-System signifikant.

Zusätzlich konnte in der Studie von Harada et al. gezeigt werden, dass der Weg mit den laparoskopisch zurückgelegten Instrumenten beim Bearbeiten der Aufgabe deutlich verkürzter war, als unter 4K-Sicht. Beim Nähen auf engstem Raum erwies sich 4K allerdings dem 3D-System nicht unterlegen. Anscheinend ist die gewonnene Tiefeninformation durch die 3D-Sicht nur bedingt gewinnbringend, bzw. scheint die verbesserte Bildschirmauflösung vom 4K-System zumindest teilweise gleichwertig zur 3D-Sicht zu sein (Harada et al. 2018).

Dies ist die erste Veröffentlichung, die 3D gegen 4K testet. Kritikpunkte dieser Studien sind, dass die Probandenanzahl mit 11 sehr klein war und dass es zwischen dem Wechsel von 3D zu 4K bzw. von 4K zu 3D keine Pause gab. So kann ein Wash-out Effekt nicht sicher ausgeschlossen werden. In jedem Fall konnte aber gezeigt werden, dass die technologischen Weiterentwicklungen die Möglichkeit bieten, Operationen schneller durchzuführen (Khanna und Sama 2018). Dass diese dann auch durch detailgetreuere Darstellung des Situs sicherer sind, ist anzunehmen (Kunert et al. 2013a; Zhang et al. 2017).

Trotzdem ist es bisher in keiner größeren Studie gelungen, einen signifikanten Vorteil der 4K-Auflösung bei laparoskopischen Eingriffen aufzuzeigen (Harada et al. 2018).

4.1.1 3D – ein weiterer Versuch die Visualisierung in der Laparoskopie zu verbessern

Die Weiterentwicklung der Visualisierungstechnik wird ein enormer Gewinn für die Laparoskopie sein. Einen weiteren Versuch die Visualisierung bei laparoskopischen Operationen zu verbessern stellt die 3D-Technik dar. Auf dem europäischen Markt wurden im letzten Jahr zwar etwa 70% der neu verkauften Laparoskopiesysteme mit 3D-Technologie verkauft, dennoch ist der Gebrauch von 3D-Technologie noch nicht flächendeckend verbreitet (Buia und Farkas 2018; Kunert et al. 2018). Die Grundlage der 3D-Technologie ist die Tatsache, dass der Mensch stereoskopisch sieht (Dodgson 2013). Dies bedeutet, dass für den Seheindruck jedes Auge ein Bild aus unterschiedlicher Perspektive, um etwa 3 Winkelminuten horizontal voneinander versetzt, an den visuellen Cortex sendet und dieser daraus ein dreidimensionales Bild errechnet (Szold 2005). Der stereoskopische Effekt wird auch durch die Stereobasis und die Entfernung zwischen Objekt und Laparoskop beeinflusst (Kunert et al. 2018). Die Stereobasis, also die interpupillare Distanz führt dazu, dass jedes Auge einen unterschiedlichen Seheindruck erhält (Kunert et al. 2013a).

In der zweidimensionalen Laparoskopie gibt es keine Stereoskopie, daher benötigt der Operateur neben seiner Erfahrung andere Hilfsmittel, um Informationen zur Tiefenwahrnehmung zu erhalten: Größenrelationen verschiedener Objekte zueinander oder Schattenwürfe wären hierfür Beispiele (Hagiike et al. 2007). Weil der Operateur aber nur basierend auf visuellen Informationen ohne haptisches Feedback operieren muss, ist die Bildqualität extrem wichtig (Aoki et al. 2017). Eine realitätsgetreuere Darstellung der intraoperativen Gegebenheiten - zum Beispiel durch eine stereoskopische Visualisierung - wäre sehr wünschenswert (Kunert et al. 2013a). Obwohl 3D-Monitore mit HD-Auflösung kontinuierlich weiterentwickelt worden sind, bereiten intraoperative Visualisierungen ihnen oftmals noch Schwierigkeiten (Kunert et al. 2013b).

Kunert et al führten 2018 eine randomisierte, prospektive einfach-verblindete Studie durch, deren Ziel es war, den Einfluss des stereoskopischen Effektes auf die Aufgabenbewältigung von laparoskopischen Novizen zu untersuchen. Das

Ergebnis war, dass bei einer Reduktion des stereoskopischen Effektes die Zeit zur Aufgabenbewältigung steigt (Kunert et al. 2018). Zusätzlich zeigte sich, dass die Darstellung der Tiefeninformation am 3D-Monitor fehleranfällig ist, da sich der Abstand zum abgebildeten Objekt indirekt proportional zur Veränderung der Stereobasis ändert. Die Tiefensensibilität kann beispielsweise dadurch gestört werden, dass sich die Kamera zu nah an den abgebildeten Objekten befindet. Bei Nahaufnahmen verstärkt sich also der stereoskopische Effekt (Kunert et al. 2018). Außerdem zeigte sich, dass ein größerer stereoskopischer Effekt, zum Beispiel beim Knoten unter Nahsicht zu einer schnelleren Ermüdung der Probanden führte. Dies ist für Arbeiten auf engstem Raum relevant und beweist, dass der optimale Arbeitsabstand eingehalten werden muss, um einen angemessenen stereoskopischen Effekt zu erzielen (Kunert et al. 2018).

Eine weitere Studie der Arbeitsgruppe von Storz et al. aus dem Jahr 2012 zeigte einen signifikanten Vorteil von 3D gegenüber 2D-Visualisierung (Storz et al. 2012). Obwohl Novizen wohl mehr von 3D profitieren als Erfahrene, konnten auch in der Laparoskopie trainierte Ärzte unter 3D-Visualisierung dieselben Aufgaben mit einer geringeren Fehleranzahl bearbeiten (Storz et al. 2012). Die Visualisierung unter 3D verbessert die Effizienz bei der Aufgabenbewältigung im Vergleich zur zweidimensionalen HD-Auflösung. Vor allem beim Bearbeiten von komplexeren Aufgaben ist 3D scheinbar überlegen (Storz et al. 2012).

Auch in anderen operativen Fächern ist 3D schon in Erprobung. So werden in der Schädelbasischirurgie bereits erfolgreich 3D-Endoskope getestet und ihr Einsatz wird den operativen Alltag sicherlich verändern (Spetzger 2018). Dennoch muss beachtet werden, dass etwa 10% der Weltbevölkerung nicht stereoskopisch sehen können (Buia und Farkas 2018). Diese werden natürlich nicht von der 3D-Visualisierung profitieren können (Storz et al. 2012).

4.1.2 4K und Narrow Band Imaging

Dass Übung 3, die einzige Übung bei der Probanden direkt von einer verbesserten Bildqualität profitieren, einen signifikanten Unterschied zeigt, deckt sich mit einigen Beispielen aus der Literatur:

So wurden 2017 drei Studien veröffentlicht, die sich mit 4K und dem „narrow band imaging“ (NBI) beschäftigten. NBI benutzt einen Filter, mit dem nur Wellenlängen von 415 bis 540 nm emittiert werden können. Dadurch wird die Identifikation von hypervaskularisiertem Gewebe und Dysplasien vereinfacht (Zhang et al. 2017). Zhang et al. haben 2017 in einer Machbarkeitsstudie untersucht, ob die intraoperative Darstellung des Mittelohres mit 4K in Kombination mit dem „narrow band imaging“ (NBI) ein besseres Operationsergebnis liefert (Zhang et al. 2017). Dafür wurden 30 verschiedene Operationen am Mittelohr mit verschiedenen Indikationen durchgeführt (unter anderem chronische Otitis media mit oder ohne Cholesteatom oder Otosklerose). Es scheint, dass 4K eine bessere Differenzierung von gesundem und krankem Gewebe erlaubt und dass durch die bessere Sicht sensible Strukturen, wie zum Beispiel die Chorda tympani sicherer identifiziert und geschont werden konnten. Da dies die erste Studie dieser Art darstellt und die Versuchsanzahl mit 30 Operationen eher gering ausfiel, muss der beschriebene Trend in Zukunft mit größeren Fallzahlen validiert werden.

4K in Kombination mit NBI war auch Gegenstand der Forschung von Tirelli et al. 2017 (Tirelli et al. 2017). Nachuntersucht wurden 20 Patienten mit Zustand nach oralem Plattenepithelcarcinom. Bei einem Patienten konnte aufgrund der besseren Visualisierung eine Läsion entdeckt und abgetragen werden. In der histologischen Untersuchung fand sich eine höhergradige Dysplasie, die in der vorherigen Untersuchung in HD übersehen wurde. Die Autoren kommen zu dem Schluss, dass 4K in Verbindung mit NBI einen Durchbruch in der bisherigen Hals-Nasen-Ohrenheilkunde darstellen könnte. Da dies die erste Studie ihrer Art war, plädieren die Autoren dafür die Vorteile in größeren Studien eingehender zu untersuchen.

Rigante et al. untersuchten 2017 die Verwendung von 4K in Kombination mit NBI bei neurochirurgischen Operationen mit transssphenoidalem Zugang an der Schädelbasis (Rigante et al. 2017). Es wurden 22 Patienten mit

Hypophysenadenom operiert. Von Vorteil war hier die vereinfachte Diskriminierung von pathologischem und gesundem Hypophysengewebe, die durch die bessere Bildqualität möglich war. Rigante et al. kommen zu dem Ergebnis, dass durch die neue Art der Visualisierung Operationen effektiver und sicherer werden.

Ob dies auch 4K ohne NBI zu schaffen vermag, wurde in diesen drei genannten Studien nicht untersucht. Die überarbeitete digitale Zoomfunktion ohne Verschlechterung der Bildqualität und die Möglichkeit, den Situs mit Weitwinkel in der Übersicht zu betrachten geben dem Operateur zusätzliche Ausstattungsmerkmale, die die Arbeit mit 4K angenehmer und risikoärmer gestalten (Zhang et al. 2017). Trotzdem scheint die Operationsdauer unter 4K nicht anders als unter HD-Bedingungen zu sein (Rigante et al. 2017). Anscheinend gibt die bessere Auflösung zwar mehr Information über intraoperative Gegebenheiten, doch kann damit keine Operationszeit eingespart werden.

Die Gemeinsamkeit aller drei Studien ist, dass sie kleine Fallzahlen haben und jeweils die ersten ihrer Art in unterschiedlichen operativen Fachgebieten waren. Wie in unserer Pilotstudie ist die externe Validität also eher gering. Zwar kann aus allen Studien ein Trend für die Überlegenheit von 4K gesehen werden, doch gibt es bisher noch keine Veröffentlichung mit großer Fallzahl und hoher Evidenz.

4.2 4K in der Lehre

Auch in der Lehre scheint 4K eine vielversprechende Bereicherung zu sein: Ichihashi et al. beschäftigten sich 2017 mit der Frage, ob die Ausbildung von operierenden Augenärzten durch die Verwendung von 4K verbessert werden kann (Ichihashi et al. 2017). In Japan werden Ophthalmologen an das Operieren herangeführt, indem sie durch ein zusätzliches Okular an dem Operationsmikroskop, dem Mitbeobachtertubus den Operationsverlauf verfolgen können. Diese Operationen werden zusätzlich aufgezeichnet. Die Operationsmitschnitte wurden mit Operationsmitschnitten in bisheriger HD-Qualität verglichen. Es bestätigte sich, dass das 4K-System eine bessere Visualisierung im Vergleich zu den herkömmlichen Bildern bietet. Die Autoren berichten, dass durch die genaueren Bilder die operative Ausbildung der Ophthalmologen signifikant verbessert werden kann. So können durch die überlegene Darstellung kleinste Details, wie das juxtakanaliculäre Gewebe oder Sklerafasern, intraoperativ besser identifiziert werden als mit der bisher verwendeten Technik. Dieser Vorteil ergibt einen erheblichen Vorteil für den Operateur und macht die Operation an sich sehr viel sicherer.

An der Avans Universität in den Niederlanden wurden 2015 die Gewebeschnitte und Blutausstriche mit 4K digitalisiert (Maier et al. 2015). Da die Universität drei verschiedene Lehrsäle in verschiedenen Gebäuden besitzt, welche über ein privates Netzwerk verbunden sind, war es nötig, sämtliche anfallende Daten im Vorlesungsbetrieb von einem Saal in die anderen zu übertragen. Die Autoren lobten die Nützlichkeit der 4K-Aufnahmen, die nicht nur durch ihre Bildschärfe, sondern auch durch die Detailliertheit bestachen. Für histologische Schnitte von großem Vorteil war auch die Möglichkeit, unter 4K ohne Qualitätsverlust von der Übersichtsaufnahme in die Nahansicht zu wechseln und dieses ohne Probleme ins private Netz zu streamen. So hatten die Studenten unabhängig von ihrem Aufenthaltsort die Möglichkeit die Präparate zu studieren, solange sie sich im privaten Netzwerk der Universität befanden. Leider haben Maier et al. im Rahmen des Projektes keine flächendeckende Befragung der Studenten oder der Lehrkräfte durchgeführt, um ein breiteres Meinungsbild zu erheben. In der

Evidenz ist diese Veröffentlichung, als Schilderung der individuellen Eindrücke von 4K, als gering einzustufen.

4.3 8K - Die Weiterentwicklung von 4K

Da die Technik der Bildgebung in den letzten Jahren rasant weiterentwickelt wurde, ist inzwischen mit 8K schon der Nachfolger von 4K auf dem Markt (Khanna und Sama 2018; Maier et al. 2015). 8K zählt genauso wie 4K zur *ultra-high definition* (UHD) und es wird sehr wahrscheinlich nur eine Frage der Zeit sein, bis sich 8K zum neuen Standard etabliert. Die japanische Rundfunkgesellschaft NHK sendet bereits in 8K und hat sich zum Ziel gesetzt, die nächsten Olympischen Spiele komplett in 8K auszustrahlen (NHK Press Office, 2018). Aktuell (Stand: 2019) gibt es vier japanische Studien, die sich mit der Verwendung von 8K im medizinischen Umfeld beschäftigen. Yamashita et al. haben 2016 zum ersten Mal klinisch erfolgreich 8K-Technologie in ein endoskopisches System integriert (Yamashita et al. 2016). Hiermit wurden zwei laparoskopische Cholezystektomien durchgeführt. Die Operationsdauer war zwar weder verkürzt, noch hatten die Patienten eine geringere postoperative Krankenhausverweildauer, aber einen entscheidenden Vorteil konnten die Autoren feststellen. Die Arbeit unter 8K schien die Augen weniger zu ermüden. Durch die noch realitätsgetreueren Bilder hatte man das Gefühl, man stünde mitten im Situs, anstatt ihn durch eine Kamera auf einem Monitor zu betrachten. Die Gewebedifferenzierung fiel unter 8K sehr leicht und die Yamashita et al. kommen zu dem Schluss, dass vor allem die Mikrochirurgie von 8K profitieren wird. So könnten beispielsweise Anastomosen von dünnen Nerven in absehbarer Zukunft laparoskopisch genäht werden.

Yamashita et al. waren es auch, die 2018 die 8K-Technik an ein Operationsmikroskop für ophthalmologische Operationen ausprobierten (Yamashita et al. 2018). Da die okuläre Chirurgie hochpräzise und mit feinsten Instrumenten und Materialien arbeiten muss, ist es nur sinnvoll dort die hochleistungsfähigsten Mikroskope in Verbindung mit 8K auszuprobieren.

Hiermit wurden an Schweineaugen mehrere Standardoperationen des augenärztlichen Operationscurriculums durchgeführt, u.a. Glaukomoperationen oder Cataractoperationen. Zusätzlich wurde auf das sonst übliche Mikroskop verzichtet und die Operateure bekamen einen 70-Zoll Monitor. Es zeigte sich, dass die dort gezeigten Bilder einer Betrachtung durch das Mikroskop in nichts nachstanden, wobei sie den Vorteil hatten, dass durch den Bildschirm der Rest des Teams im Operationssaal direkter an der Operation teilhaben konnte. Ein Versuch an Menschen zu operieren wurde bisher noch nicht durchgeführt. Es ist denkbar, dass auch hier die bessere Auflösung dem Operateur einen entscheidenden Vorteil bringen wird.

Ohigashi et al. führten 2018 drei laparoskopische Operationen bei kolorektalem Carcinomen durch (Ohigashi et al. 2018). Hier ließen sich durch die hochauflösenden Bilder feinste anatomische Strukturen, wie zum Beispiel das autonome Nervengeflecht, problemlos identifizieren und schonen und auch das Auffinden der richtigen Schichten im kleinen Becken zur Präparation erschien leichter. Die Autoren hoben hervor, dass der stereoskopische Effekt nah an dem eines dreidimensionalen Bildes war und dass das Bild sogar auf einem großen Monitor gestochen scharf dargestellt werden konnte. Zusätzlich vermuten die Autoren, dass durch die hohe Auflösung Ermüdung und Erschöpfung vorgebeugt werden könnte (Ohigashi et al. 2018).

Aoki et al. haben die erste laparoskopische Salpingo-Oophorektomie in 8K-Auflösung durchgeführt (Aoki et al. 2017). Der Versuchsaufbau ließ zu, dass intraoperativ zwischen dem 8K und dem HD Bild gewechselt werden konnte, sodass ein direkter Vergleich der beiden Systeme möglich war. Unter 8K erschien das Gewebe viel klarer als in HD und auch die für Endometriose typischen kleinsten Gefäße konnten sicher identifiziert werden. Obwohl ein zweidimensionales Bild dargestellt wurde, schien es fast so viele Tiefenschärfe zu enthalten, wie ein dreidimensionales. Ein großer Vorteil von 8K ist, dass jedes aufgenommene Bild ohne Qualitätsverlust vergrößert werden kann. Die Autoren schlagen daher vor, dass in Zukunft das Endoskop an einer festen Stelle fixiert werden und das Zielgewebe nur noch unter Heranzoomen des Operationsgebietes operiert werden könnte. Auf diese Weise wäre der Operateur

weniger von der Anwesenheit und Kompetenz des Assistenten abhängig. Zusätzlich schlussfolgern die Autoren, dass die bessere Bildauflösung eine höhere chirurgische Effektivität und diagnostische Sicherheit bringt, die dafür sorgen wird, dass sich 8K weitflächig etablieren wird (Aoki et al. 2017,)

Alle Veröffentlichungen sind sich einig, dass die hochauflösenden Bilder unter 8K eine enorme diagnostische Sicherheit geben. Vielversprechend ist der stereoskopische Effekt, der 8K in Zukunft vielleicht demjenigen Anwender eine Alternative bietet, der sich nicht zwischen Zwei- oder Dreidimensionalität entscheiden kann.

4.4 Operationsroboter und Virtual Reality

Die Aufgabe von Robotern ist es, den Operateur zu unterstützen und zum Beispiel einen Assistenten zu ersetzen (Bogdan 2018). In manchen operativen Fachdisziplinen ist der Einsatz eines Operationsroboters inzwischen nicht mehr wegzudenken (Heuss 2018). 1999 wurde das CyberKnife-System von der amerikanischen Food and Drug Administration (FDA) genehmigt. Dieses System besteht aus einem robotisch geführtem Linearbeschleuniger, der für die stereotaktische Bestrahlung von Schädelbasistumoren zum Einsatz kommt (Spetzger 2018). Inzwischen ist das CyberKnife-System eine etablierte radiochirurgische Behandlungsmöglichkeit von Gehirntumoren. Das wohl bekannteste Robotersystem auf dem Markt ist das Da-Vinci-System. Weltweit bekannt wurde der Da-Vinci spätestens, als die erste telemedizinische Operation transatlantisch erfolgte, bei der sich der Operateur in New York befand und einen Patient in Straßburg cholezystektomierte (Kirschniak et al. 2018). Bemerkenswert am Da-Vinci-System ist die hervorragende Visualisierungsmöglichkeit. So ist es nicht nur möglich, das OP-Gebiet bei zehnfacher Vergrößerung zu betrachten, sondern auch in 3D (Kesch und Hohenfellner 2018).

Operationsroboter haben viele Vorteile und durchliefen in den letzten 20 Jahren eine kontinuierliche Weiterentwicklung (Rivas und Díaz-Calderón 2013). Ein

weiterer Vorteil ist der Tremorfilter, mit dem der Roboter überschießende oder ungewollte Bewegungen des Operateurs verhindern kann und auch die Ausführung kleinster Bewegungen hochpräzise gelingt (Kesch und Hohenfellner 2018; Bogdan 2018). Zusätzlich ist der Operationsroboter in der Lage, einen ruhigen Bildeindruck zu liefern, da ihn lange statische Haltearbeit nicht ermüdet, wie sie einen Menschen ermüden würde (Rivas und Díaz-Calderón 2013). Durch den Einsatz von Operationsrobotern oder robotergestützten Technologien wird es möglich sein, in Zukunft noch präziser und genauer zu operieren und die Implementierung robotischer Operationssysteme wird langfristig nicht aufzuhalten sein (Spetzger 2018; Bogdan 2018).

Etablieren wird sich sicherlich der Einsatz von Virtual Reality (VR) in der Ausbildung von laparoskopisch tätigen Ärzten. VR kommt inzwischen erfolgreich in der Ausbildung von Piloten oder Fallschirmspringern zum Einsatz. So können diese virtuell die ersten Erfahrungen sammeln und beispielsweise mit gefährlichen Situationen konfrontiert werden, bevor sie unter Realbedingungen agieren müssen (Bogdan 2018). Aber auch in der medizinischen Lehre wird VR inzwischen erfolgreich genutzt und so wird sich durch VR vor allem die operative Ausbildung verändern (Spetzger 2018). Nagendran et al. konnten nachweisen, dass nach Training unter VR-Bedingungen die Operationsdauer in der Realität verkürzen kann (Nagendran et al. 2013). Vorteil von VR für den Patienten ist, dass durch vorheriges Üben am virtuellen Situs weniger Komplikationen auftreten und ein besseres postoperatives Outcome erzielt werden kann (Bogdan 2018). Dabei macht es scheinbar keinen Unterschied, ob diese in 3D oder in 2D simuliert wird (Kneist et al. 2016). In einer prospektiven Pilotstudie von Kneist et al. wurden die Leistungen von Studenten und Ärzten in 3D oder 2D am VR-Simulator verglichen. Hierbei konnte in beiden Gruppen keine Überlegenheit der 3D-VR gegenüber der 2D-VR gezeigt werden (Kneist et al. 2016).

Durch die oben genannten Weiterentwicklungen der Visualisierungstechnik ergeben sich neue Möglichkeiten für die Laparoskopie der Zukunft. So wäre es zudem nützlich, wenn neben der hervorragenden Bildqualität auch andere Hilfsmittel einen Beitrag zur Patientensicherheit leisten würden.

Befragt man Experten, scheint es wünschenswert, präoperativ erhobene Informationen des Patienten zum Beispiel CT- oder MRT-Bilder so in die Darstellung des Situs zu integrieren, dass der Operateur intraoperativ darauf zurückgreifen kann (Kirschniak et al. 2018). Anatomische Landmarken oder das Aufmerksam machen auf Pathologika oder wichtige Strukturen könnten mit dem Interface verbunden werden und so intraoperativ bei Orientierung im Situs oder bei Entscheidungen bezüglich der Resektionsgrenze unterstützen (Kirschniak et al. 2018).

4.5 Allgemeine Überlegungen zu den Ergebnissen der Probandenstudie

Da diese Studie von Anfang an als Pilotstudie geplant war, können die hier erhobenen Daten dazu genutzt werden, die Grundlage einer Fallzahlanalyse zu sein. Eine weitergehende, größer konzipierte Studie mit ähnlichem Studieninhalt wäre wünschenswert. Trotz Inhomogenität in den Testergebnissen, ist eine leichte Tendenz zur Überlegenheit von 4K gegenüber HD abzuleiten. Eine Testung von in der Laparoskopie erfahreneren Teilnehmern gegenüber Novizen wird zeigen können, ob unerfahrene Teilnehmer mehr von der besseren Bildqualität profitieren. Beispielsweise ob sich unter 4K-Bedingungen eine steilere Lernkurve einstellt, denn auch in der Lehre könnte 4K einen wichtigen Stellenwert einnehmen.

Als Thema der aktuellen Forschung zeigt sich, dass nicht nur die Allgemeinchirurgie von den technischen Fortschritten profitiert. Auch andere operative Disziplinen, wie zum Beispiel die Urologie, die Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde oder die Ophthalmologie, könnten durch eine optimierte Visualisierung bessere Arbeit leisten. Die bisher verfügbare Datenlage zeigt, dass es einen Trend gibt, der 4K einen Vorteil einräumt. Jedoch sind alle vorhandenen Studien mit kleiner Fallzahl durchgeführt worden und daher nur begrenzt aussagekräftig bzw. in ihrem Evidenzgrad als gering einzustufen.

Als Kritik der im Rahmen dieser Dissertation durchgeführten Pilotstudie ist anzumerken, dass die „Wash-out-Phase“ kurz war. Dies erhöht das Risiko eines „Carry-over-Effektes“, welcher allerdings mittels des angewandten Vorschalttests ausgeschlossen werden konnte. Die Probanden hätten sicherheitshalber den zweiten Durchlauf an einem anderen Tag absolvieren sollen. Ob man diesen mit geänderter Reihenfolge der Aufgaben oder mit minimal modifizierten Übungen durchführen sollte, könnte überlegt werden.

Möglich wäre auch, den Probanden durch mehrmaliges Üben an verschiedenen Tagen eine gewisse Routine im Umgang mit den Instrumenten zu geben. Durch gezieltes Trainieren der Probanden, hätte sich vielleicht eine bessere Differenzierung der Ergebnisse gezeigt.

4.6 Interpretation der Ergebnisse der Ärztstudie

Da es sich um eine Pilotstudie handelte, wurde auf eine Fallzahlanalyse verzichtet. Die unterschiedlichen Ausbildungs- und Erfahrungsgrade der Teilnehmer sowie die Arbeit an tierischen Schlachtabfällen erschwerten einen Vergleich der Testergebnisse. Um ein möglichst breites Meinungsbild zu erhalten, wurde auf Ausschluss verschiedener Ausbildungsstufen verzichtet.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Teilnehmer den 4K-Monitor als den besseren Monitor erkannten. Angesichts der Studienergebnisse von Yamashita et al. 2016 bezüglich der Arbeit an 8K-Systemen, wäre es interessant zu sehen, ob das laparoskopische Arbeiten insgesamt in 4K angenehmer empfunden wird.

Ich ermutige dazu, die hier verwendeten Zahlen als Grundlage für eine Fallzahlanalyse zu verwenden, sollte eine weitere Studie mit Chirurgen bezüglich der Vorteile von 4K in der Laparoskopie geplant werden.

Als zusätzlicher Aspekt sollte die Lehre, insbesondere das Trainieren mit laparoskopischen Simulatoren oder Trainingsboxen nicht außer Acht gelassen werden. Gut ausgebildete Ärzte sind in der Lage Patienten besser zu betreuen

und daher ist eine gute Ausbildung des Personals eine sinnvolle Investition einer jeden Klinik (Scott und et al. 2000; Stefanidis et al. 2012). Die Möglichkeit neueste chirurgische Techniken oder Vorgehensweisen als Video aufgenommen und so in bester Qualität mit Kollegen weltweit zu teilen, verbessert die Patientenversorgung und die chirurgische Ausbildung (Jusufbegovic et al. 2016). Dennoch gibt es, trotz der weitverbreiteten Methode angehende Chirurgen im Simulatortraining an die Laparoskopie heranzuführen, noch keinen einheitlichen Konsens über den optimalen Trainingskatalog, die richtige Anzahl von Wiederholungen oder die optimale Trainingsmethode (Korndorffer et al. 2005). Vor dem Hintergrund, dass die endoskopische Chirurgie schon längst ein wichtiger Zweig der Chirurgie geworden ist und die Einführung der Laparoskopie in den letzten Jahren einen gewaltigen Einfluss auf die moderne Chirurgie hatte (Szold 2005; Aggarwal et al. 2004), scheint das längst überfällig.

5. Zusammenfassung

Diese Dissertation beschäftigte sich mit der Frage, ob die 4K-Technik so herausragend ist, wie sie beworben wird und ob deren Implementierung in den operativen Alltag ratsam wäre. Dafür wurden 40 Medizinstudenten im Rahmen einer Pilotstudie gebeten, 4 Übungen an einer Trainingsbox zu absolvieren, an der laparoskopische Fähigkeiten, wie zum Beispiel Hand-Auge-Koordination, geübt und verbessert werden. Im Rahmen des Cross-over-Studiendesigns mussten alle Probanden jede Übung bei gleichem Setup mit einem 4K-Monitor und an einem HD-Monitor durchführen. Zusätzlich zu den 40 Medizinstudenten wurden 7 in der Allgemeinchirurgie tätige Ärzte gebeten, jeweils eine laparoskopische CHE am Schweinemodell und eine TAPP am Modell der Arbeitsgruppe CTT des Universitätsklinikums an jedem der beiden Setups zu operieren.

Anschließend wurde ein Fragebogen ausgeteilt, in dem alle Teilnehmer gefragt wurden, welcher der bessere Monitor sei. Diese Fragebögen und die Ergebnisse der Übungen bildeten die Grundlage für die statistische Auswertung, die deskriptiv und bei Übung 1 und 3 mittels Vorschalttest und Mann-Whitney-U-Test auch statistisch durchgeführt wurde.

Eine komplette Überlegenheit des 4K-Systems wurde nicht bewiesen. Es zeigte sich die Tendenz, dass in bestimmten Situationen von der besseren Auflösung profitiert wird. In Übung 3, in der vor allem das Auflösungsvermögen der beiden Kameras direkt überprüft wurde, konnten signifikant bessere Ergebnisse in 4K erzielt werden. Übung 1 und 2 zeigten keine eindeutigen Ergebnisse. Auch Übung 4 zeigte keine Überlegenheit des 4K-Systems.

Das 4K-System erbringt, verglichen mit den gängigen HD-Systemen, nicht durchwegs bessere Ergebnisse.

In der Ärztstudie gab es aufgrund der unterschiedlichen laparoskopischen Vorkenntnisse ein sehr heterogenes Testergebnis. Die Dauer der Operationen konnten daher nicht als zuverlässiger Marker für ein besseres Arbeiten in 4K

hergenommen werden. Mithilfe der Fragebögen wurde erkannt, dass 4K der bessere Monitor ist, bzw. der Monitor mit dem flüssiger gearbeitet werden konnte. Die Prozentwerte zeigen mit 62,5% bei den Medizinstudenten und 57,14% bei den Experten keinen großen Meinungskonsens.

Abschließend ist zu sagen, dass die Verwendung von 4K in der laparoskopischen Chirurgie wohl ein unvermeidlicher Schritt in die Zukunft der Chirurgie ist, da 4K-Videosysteme in Zukunft überall weit verbreitet sein werden (Woo 2016).

Deshalb wäre es interessant zu sehen, ob Chirurgen auf demselben technischen Niveau Vorteile von 4K-Systemen entdecken oder ob der Einsatz von 4K-Systemen in der Lehre und Weiterbildung eine Verbesserung der aktuellen Umstände mit sich bringen würde.

6. Literaturverzeichnis

Abdelrahman, M.; Belramman, A.; Salem, R.; Patel, B. (2018): Acquiring basic and advanced laparoscopic skills in novices using two-dimensional (2D), three-dimensional (3D) and ultra-high definition (4K) vision systems: A randomized control study. In: *International journal of surgery (London, England)* 53, S. 333–338. DOI: 10.1016/j.ijso.2018.03.080.

Acharya S.; Petrin G. (2012): Ultra High Definition Television: Threshold of a new age. ITU Recommendations on UHDTV standards agreed. Genf. Online verfügbar unter http://www.itu.int/net/pressoffice/press_releases/2012/31.aspx#.WR2MJMakJP

Aggarwal, R.; Moorthy, K.; Darzi, A. (2004): Laparoscopic skills training and assessment. In: *The British journal of surgery* 91 (12), S. 1549–1558. DOI: 10.1002/bjs.4816.

Aoki, Yoichi; Matsuura, Masahiko; Chiba, Toshio; Yamashita, Hiromasa (2017): Effect of an 8K ultra-high-definition television system in a case of laparoscopic gynecologic surgery. In: *Wideochirurgia i inne techniki maloinwazyjne = Videosurgery and other miniinvasive techniques* 12 (3), S. 315–319. DOI: 10.5114/wiitm.2017.68830.

AQUA-Institut: Bundesauswertung zum Erfassungsjahr 2014. 12/1 Cholezystektomie.

Arens, C.; Betz, C.; Kraft, M.; Voigt-Zimmermann, S. (2017): "Narrow band imaging" zur Früherkennung epithelialer Dysplasien und mikroinvasiver Karzinome im oberen Luft-Speise-Weg. In: *HNO* 65 (Suppl 1), S. 5–12. DOI: 10.1007/s00106-016-0284-x.

Auer Thomas (2015): Bedeutung der Stereobasis bei laparoskopischen 3D-Videosystemen - prospektive Probandenstudie. Inaugural-Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der Medizin.

Bablekos, George D.; Michaelides, Stylianos A.; Analitis, Antonis; Charalabopoulos, Konstantinos A. (2014): Effects of laparoscopic cholecystectomy on lung function. A systematic review. In: *World journal of gastroenterology* 20 (46), S. 17603–17617. DOI: 10.3748/wjg.v20.i46.17603.

Barkun, Jeffrey S.; Barkun, Alan N.; Meakins, Jonathan L. (1993): Laparoscopic versus open cholecystectomy. The Canadian experience. In: *The American Journal of Surgery* 165 (4), S. 455–458. DOI: 10.1016/S0002-9610(05)80940-7.

Berci, G.; DAVIDS, J. (1962): Endoscopy and television. In: *British medical journal* 1 (5292), S. 1610–1613.

Berci, G.; Forde, K. A. (2000): History of endoscopy. What lessons have we learned from the past? In: *Surgical endoscopy* 14 (1), S. 5–15.

Bernheim, B. M. (1911): IV. Organoscopy. Cystoscopy of the Abdominal Cavity. In: *Annals of surgery* 53 (6), S. 764–767.

Bockholdt, Benjamin (2016): So findest Du den richtigen Sitzabstand zum Fernseher. Hg. v. Turn on - Das Saturn Magazin. Online verfügbar unter <https://www.turn-on.de/ratgeber/so-findest-du-den-richtigen-sitzabstand-zum-fernseher-30>, zuletzt aktualisiert am 16.10.2016, zuletzt geprüft am 16.10.2016.

Bogdan, Boris (2018): MedRevolution. Neue Technologien am Puls der Patienten. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-662-57506-2>.

Bühler P., Schlaich P., Sinner D. (Hg.) (2018): AV-Medien. Filmgestaltung - Audiotechnik - Videotechnik. 26 Bände: Springer Verlag (Bibliothek der Mediengestaltung).

Buia, A.; Farkas, S. (2018): 3-D-Laparoskopie vs. 2-D-Laparoskopie. Eine aktuelle Bewertung. In: *Der Chirurg; Zeitschrift für alle Gebiete der operativen Medizen* 89 (10), S. 777–784. DOI: 10.1007/s00104-018-0693-3.

Bünthe, Oliver (2015): Der optimale Abstand zum Full-HD- und 4K/UHD-TV. Online verfügbar unter <https://blog.notebooksbilliger.de/der-optimale-abstand-zum-full-hd-und-4kuhd-tv/>, zuletzt geprüft am 16.10.2016.

Campo, Rudi; Reising, Christoph; van Belle, Yves; Nassif, Joseph; O'Donovan, Peter; Molinas, Carlos Roger (2010): A valid model for testing and training laparoscopic psychomotor skills. In: *Gynecol Surg* 7 (2), S. 133–141. DOI: 10.1007/s10397-009-0547-6.

Cwach, Kevin; Kavoussi, Louis (2016): Past, present, and future of laparoscopic renal surgery. In: *Investigative and clinical urology* 57 (Suppl 2), S110-S113. DOI: 10.4111/icu.2016.57.S2.S110.

Dietz Nicolaus Otto (2014): Einfluss von 3D versus 2D-Visualisierung für das Training laparoskopischer Fertigkeiten. Inaugural-Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der Medizin.

Dodgson, Neil A. (2013): Optical devices. 3D without the glasses. In: *Nature* 495 (7441), S. 316–317. DOI: 10.1038/495316a.

entain.de: Der optimale Sitzabstand zum Flachbildfernseher. Online verfügbar unter <https://www.entain.de/wiki/bildschirmdiagonale-sitzabstand-flachbildfernseher-32-zoll-40-zoll-42-zoll-50-zoll-a24.html>, zuletzt geprüft am 16.10.2016.

Fröhlich Christoph (2013): Neues aus Nerdwana. Die größte Gadget-Messe der Welt ist eröffnet: Highlights der Technikmesse CES. Online verfügbar unter <http://www.stern.de/digital/homeentertainment/highlights-der-technikmesse-ces-neues-aus-nerdwana-3204388.html>, zuletzt geprüft am 01.09.2019.

Gagner, M.; Pomp, A.; Heniford, B. T.; Pharand, D.; Lacroix, A. (1997): Laparoscopic adrenalectomy. Lessons learned from 100 consecutive procedures. In: *Annals of surgery* 226 (3), 238-46; discussion 246-7.

Gerhardus, A.; Jalilivand, N.; Heintze, C.; Krauth, C. (2003): Ein Vergleich verschiedener chirurgischer Verfahren zur elektiven Leistenhernienoperation bei Erwachsenen. Ein Health Tehnology Assessment. Hg. v. A. Gerhardus und

C. Heintze. Deutsches Institut für Medizinische Dokumentation und Information. Sankt Augustin (30).

Gordon, A. G.; Magos, A. L. (1989): 1 The development of laparoscopic surgery. In: *Baillière's Clinical Obstetrics and Gynaecology* 3 (3), S. 429–449. DOI: 10.1016/S0950-3552(89)80003-3.

Hagiike, M.; Phillips, E. H.; Berci, G. (2007): Performance differences in laparoscopic surgical skills between true high-definition and three-chip CCD video systems. In: *Surgical endoscopy* 21 (10), S. 1849–1854. DOI: 10.1007/s00464-007-9541-0.

Harada, Hitoshi; Kanaji, Shingo; Hasegawa, Hiroshi; Yamamoto, Masashi; Matsuda, Yoshiko; Yamashita, Kimihiro et al. (2018): The effect on surgical skills of expert surgeons using 3D/HD and 2D/4K resolution monitors in laparoscopic phantom tasks. In: *Surgical endoscopy* 32 (10), S. 4228–4234. DOI: 10.1007/s00464-018-6169-1.

Hatzinger, M.; Badawi, J. K.; Häcker, A.; Langbein, S.; Honeck, P.; Alken, P. (2006): Georg Kelling (1866-1945). Der Erfinder der modernen Laparoskopie. In: *Der Urologe. Ausg. A* 45 (7), S. 868–871. DOI: 10.1007/s00120-006-1068-9.

Held, U. (2010): Welche Arten von Studiendesigns gibt es und wie werden sie korrekt eingesetzt? In: *Schweiz Med Forum* (10), S. 712–714.

Heuss, Sabina (2018): «Robotik wird sich durchsetzen, wo sie dem Patienten Vorteile bringt». In: *Schweiz Ärztztg.* DOI: 10.4414/saez.2018.17302.

Hickl, E.-J.; Berg, D. (1991): Gynäkologie und Geburtshilfe 1990. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-76124-9>.

Himal, H. S. (2002): Minimally invasive (laparoscopic) surgery. In: *Surgical endoscopy* 16 (12), S. 1647–1652. DOI: 10.1007/s00464-001-8275-7.

Huber, T.; Kirschniak, A.; Johannink, J. (2017): Umfrage zum Training laparoskopischer Fertigkeiten in Deutschland. In: *Zentralblatt für Chirurgie* 142 (1), S. 67–71. DOI: 10.1055/s-0042-116327.

Huber, T.; Paschold, M.; Bartsch, F.; Lang, H.; Kneist, W. (2016): Weiterbildungseingriff Appendektomie. Was hat sich in 10 Jahren geändert? In: *Der Chirurg; Zeitschrift für alle Gebiete der operativen Medizin* 87 (4), S. 326–331. DOI: 10.1007/s00104-015-0122-9.

Humke, W. (1971): Kuldoskopie mit einer Nahsichtoptik. In: *Arch. Gynak.* 211 (1-2), S. 405. DOI: 10.1007/BF00682997.

Ichihashi, Tsunetomo; Hirabayashi, Yutaka; Nagahara, Miyuki (2017): Potential Utility of a 4K Consumer Camera for Surgical Education in Ophthalmology. In: *Journal of ophthalmology* 2017. DOI: 10.1155/2017/4374521.

Jusufbegovic D.; Palacido A.; Schaal S. (2016): 4K Video Technology: Taking retina surgery to another level. In: *Retina Today* (8), S. 66–68. Online verfügbar unter http://retinatoday.com/2016/12/4k-video-technology-taking-retina-surgery-to-another-level?__hstc=134081617.0b46c44ed96d00611bc3d1deea207797.1480896000

053.1480896000054.1480896000055.1&__hssc=134081617.1.1480896000056
&__hsfp=998628806.

Kaiser, Andreas M. (2014): Evolution and future of laparoscopic colorectal surgery. In: *World journal of gastroenterology* 20 (41), S. 15119–15124. DOI: 10.3748/wjg.v20.i41.15119.

Kesch, Claudia; Hohenfellner, Markus (Hg.) (2018): Aktuelles aus Klinik und Praxis der Urologie. Urologische Universitätsklinik Heidelberg. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg (WissenKompakt Medizin). Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-662-55473-9>.

Khanna, Aman; Sama, Anshul (2018): New instrumentations in the operating room for sinus surgery. In: *Current opinion in otolaryngology & head and neck surgery* 26 (1), S. 13–20. DOI: 10.1097/MOO.0000000000000433.

Kirschniak, A.; Storz, P.; Dietz, C.; Auer, T.; Falch, C.; Kunert, W.; Müller, S. (2015): Training laparoskopischer Fertigkeiten unter 3D vs 2D- Visualisierung. Prospektive Probandenstudie. Online verfügbar unter https://www.medizin.uni-tuebingen.de/files/view/rmxoD5O2jl59priQVnyNq1GP/UKT_AllgChir_CTT_Poster_KirschniakA_Training_lap_Fertigkeiten_unter_3D_vs_2D%20-Visualisierung_2015.pdf. zuletzt geprüft am 12.12.2019.

Kirschniak, A.; Egberts, J.-H.; Granderath, F.-A.; Mees, S.; Mille, M.; Müller, B. P. et al. (2018): Augmented Reality, Cyber-Physical Systems and Robotic Surgery. Nice to Have or a Program with Future? In: *Visceral medicine* 34 (1), S. 60–65. DOI: 10.1159/000487209.

Kirschniak, A.; Granderath, F. A. (Hg.) (2017): Laparoskopie in der chirurgischen Weiterbildung. Grundtechniken und Standardeingriffe. 1. Aufl. Berlin: Springer-Verlag.

Kneist, W.; Huber, T.; Paschold, M.; Lang, H. (2016): Virtuelle 3-D-Laparoskopie-Simulation in der chirurgischen Aus- und Weiterbildung - Ergebnisse einer Pilotstudie. In: *Zentralblatt für Chirurgie* 141 (3), S. 297–301. DOI: 10.1055/s-0033-1350609.

Korndorffer, James R.; Scott, Daniel J.; Sierra, Rafael; Brunner, William C.; Dunne, J. Bruce; Slakey, Douglas P. et al. (2005): Developing and testing competency levels for laparoscopic skills training. In: *Archives of surgery (Chicago, Ill. : 1960)* 140 (1), S. 80–84. DOI: 10.1001/archsurg.140.1.80.

Krummenauer et al. (2008): Primäre klinische Endpunkte: Es sollte nur einen geben ... In: *Zeitschrift für Zahnärztliche Implantologie* (24), S. 215–217. Online verfügbar unter https://www.uni-wh.de/fileadmin/user_upload/03_G/07_Humanmedizin/05_Institute/IMBE/04_-_Multiples_Testen.pdf, zuletzt geprüft am 28.07.2019.

Kunert, W.; Storz, P.; Müller, S.; Axt, S.; Kirschniak, A. (2013a): 3-D in der Laparoskopie. Stand der Technik. In: *Der Chirurg; Zeitschrift für alle Gebiete der operativen Medizin* 84 (3), S. 202–207. DOI: 10.1007/s00104-012-2459-7.

Kunert, Wolfgang; Auer, Thomas; Storz, Pirmin; Braun, Manuel; Kirschniak, Andreas; Falch, Claudius (2018): How Much Stereoscopic Effect Does

Laparoscopy Need? Controlled, Prospective Randomized Trial on Surgical Task Efficiency in Standardized Phantom Tasks. In: *Surgical Innovation* 25 (5), S. 515–524. DOI: 10.1177/1553350618784801.

Kunert, Wolfgang; Storz, Pirmin; Kirschniak, Andreas (2013b): For 3D laparoscopy. A step toward advanced surgical navigation: how to get maximum benefit from 3D vision. In: *Surgical endoscopy* 27 (2), S. 696–699. DOI: 10.1007/s00464-012-2468-0.

Lau, W. Y.; Leow, C. K.; Li, A. K. (1997): History of endoscopic and laparoscopic surgery. In: *World journal of surgery* 21 (4), S. 444–453.

Laubert, T.; Esnaashari, H.; Höfer, A.; Renner, L.; Roblick, U. J.; Strik, M.; Bruch, H. P. (2006): Entwicklung eines standardisierten Trainingscurriculums für die minimalinvasive Chirurgie. Projekt Lübecker Toolbox. In: Unfallursachenforschung. Wiesbaden: DUV, S. 41–55.

Lindner, H. (1969): Fortschritte der Laparoskopie. In: *Endoscopy* 1 (01), S. 1–9. DOI: 10.1055/s-0028-1095536.

Litynski, G. S. (1998): Kurt Semm and the fight against skepticism. Endoscopic hemostasis, laparoscopic appendectomy, and Semm's impact on the "laparoscopic revolution". In: *JLS : Journal of the Society of Laparoendoscopic Surgeons* 2 (3), S. 309–313.

Lorenz, R.; Koch, A.; Köckerling, F. (2015): Ambulante und stationäre Hernienchirurgie in Deutschland. aktueller Stand. In: *CHAZ* 16 (5), S. 267–275.

Maier, Hans; Heer, Gert de; Ortac, Ajda; Kuijten, Jan (2015): Capturing and displaying microscopic images used in medical diagnostics and forensic science using 4K video resolution - an application in higher education. In: *Journal of microscopy* 260 (2), S. 175–179. DOI: 10.1111/jmi.12280.

Maier-Hein K.H., Deserno T.M., Handels H., Tolxdorff T. (Hg.) (2017): Bildverarbeitung für die Medizin 2017. Algorithmen, Systeme, Anwendungen. Proceedings des Workshops vom 12. bis 14. März 2017 in Heidelberg. Heidelberg, 12. - 14.03 2017. Gesellschaft für Informatik (IG): Springer Verlag.

Milsom, Jeffrey W.; Böhm, Bartholomäus; Nakajima, Kiyokazu (Hg.) (2006): Laparoscopic Colorectal Surgery. Second Edition. New York, NY: Springer Science+Business Media Inc. Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/0-387-33863-2>.

Molinas, Carlos Roger; Win, Gunter de; Ritter, Ortrun; Keckstein, Joerg; Miserez, Marc; Campo, Rudi (2008): Feasibility and construct validity of a novel laparoscopic skills testing and training model. In: *Gynecol Surg* 5 (4), S. 281–290. DOI: 10.1007/s10397-008-0391-0.

Mühe, E. (1986): 296. Die erste Cholecystektomie durch das Laparoskop. In: *Langenbecks Arch Chiv* 369 (1), S. 804. DOI: 10.1007/BF01274615.

Nagendran, Myura; Gurusamy, Kurinchi Selvan; Aggarwal, Rajesh; Loizidou, Marilena; Davidson, Brian R. (2013): Virtual reality training for surgical trainees in laparoscopic surgery. In: *The Cochrane database of systematic reviews* (8), CD006575. DOI: 10.1002/14651858.CD006575.pub3.

- Nano, M. (2012): A brief history of laparoscopy. In: *G Chir* (33), S. 53–57.
- NHK Press Office: The World's First 8K Broadcasting Service Begins. Online verfügbar unter <https://www.nhk.or.jp/corporateinfo/english/press/pdf/20181127.pdf>, zuletzt geprüft am 30.01.2019.
- Niwa U.C.; Axt, S.; Falch, C.; Müller, S.; Kreuzer, J. A.; Nedela, P.; Kirschniak, A. (2013): Die laparoskopische Cholezystektomie als standardisierter Lehreingriff zur Behandlung der symptomatischen Cholezystolithiasis. In: *Zentralblatt für Chirurgie* (138), S. 141–142. DOI: 10.1055/s-0032-1328396.
- Ohigashi, Seiji; Taketa, Takashi; Shimada, Gen; Kubota, Keisuke; Sunagawa, Hiroki; Kishida, Akihiro (2018): Fruitful first experience with an 8K ultra-high-definition endoscope for laparoscopic colorectal surgery. In: *Asian journal of endoscopic surgery*. DOI: 10.1111/ases.12638.
- Parusel, Olaf: Fernseher Betrachtungsabstand berechnen und ermitteln. Online verfügbar unter <http://www.fernseherkaufen.com/kaufberatung/fernseher-betrachtungsabstand-berechnen/>, zuletzt geprüft am 16.10.2016.
- Polychronidis, Alexandros; Laftsidis, Prodromos; Bounovas, Anastasios; Simopoulos, Constantinos (2008): Twenty years of laparoscopic cholecystectomy. Philippe Mouret--March 17, 1987. In: *JLS : Journal of the Society of Laparoendoscopic Surgeons* 12 (1), S. 109–111.
- Preyer, S. (2017): Endoskopische Ohrchirurgie - eine Weiterentwicklung der modernen Ohrchirurgie. In: *HNO* 65 (Suppl 1), S. 29–34. DOI: 10.1007/s00106-016-0268-x.
- Raab, Florian (2016): Entwicklung eines didaktischen Modells zur Übung der laparoskopischen Leistenhernienversorgung (TAPP). Bachelorarbeit zur Erlangung des Grades Bachelor of Sciences (B.Sc.) des Studiengangs Medizintechnik. Bachelorarbeit. Eberhard Karls Universität Tübingen; Universität Stuttgart.
- Rassweiler, Jens J.; Teber, Dogu (2016): Advances in laparoscopic surgery in urology. In: *Nature reviews. Urology* 13 (7), S. 387–399. DOI: 10.1038/nrurol.2016.70.
- Richard Wolf GmbH (2012): Transanale Endoskopische Mirko-Chirurgie 2012. Intensivkurse. Jahresprogramm. Richard Wolf Academy.
- Rigante, M.; La Rocca, G.; Lauretti, L.; D'Alessandris, G. Q.; Mangiola, A.; Anile, C. et al. (2017): Esperienza preliminare con endoscopio 4K. Analisi di pro e contro nella chirurgia del basicranio. In: *Acta otorhinolaryngologica Italica : organo ufficiale della Societa italiana di otorinolaringologia e chirurgia cervicofacciale* 37 (3), S. 237–241. DOI: 10.14639/0392-100X-1684.
- Rivas, Homero; Díaz-Calderón, Daniela (2013): Present and future advanced laparoscopic surgery. In: *Asian journal of endoscopic surgery* 6 (2), S. 59–67. DOI: 10.1111/ases.12028.
- Schirmmacher, Dennis (2013): Der perfekte Abstand zum TV. Die richtige Bildgröße für Ihr Wohnzimmer. Online verfügbar unter

<http://www.digitalfernsehen.de/Der-perfekte-Abstand-zum-TV.99358.0.html>, zuletzt geprüft am 16.10.2016.

Schumacher, Martin, Schulgen-Kristiansen, Gabriele (Hg.) (2008): Methodik klinischer Studien. Methodische Grundlagen der Planung, Durchführung und Auswertung. 3. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag (Statistik und ihre Anwendungen).

Scott, Daniel; et al. (2000): Laparoscopic Training on Bench Models: Better and More Cost Effective than Operating Room Experience? In: *Journal of the American College of Surgeons* (191; 3), S. 272–283. DOI: 10.1016/S1072-7515(00)00339-2.

Semm, K. (1983): Endoscopic appendectomy. In: *Endoscopy* 15 (2), S. 59–64. DOI: 10.1055/s-2007-1021466.

Shah, J.; Buckley, D.; Frisby, J.; Darzi, A. (2003): Depth cue reliance in surgeons and medical students. In: *Surgical endoscopy* 17 (9), S. 1472–1474. DOI: 10.1007/s00464-002-9178-y.

Spetzger, U. (2018): Zukünftige Entwicklungen in der Schädelbasischirurgie. In: Alexander König und Uwe Spetzger (Hg.): Schädelbasischirurgie. Therapiewahl und operatives Vorgehen. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 349–355.

Stefanidis, Dimitrios; Scerbo, Mark W.; Montero, Paul N.; Acker, Christina E.; Smith, Warren D. (2012): Simulator training to automaticity leads to improved skill transfer compared with traditional proficiency-based training: a randomized controlled trial. In: *Annals of surgery* 255 (1), S. 30–37. DOI: 10.1097/SLA.0b013e318220ef31.

Storz, Pirmin; Buess, Gerhard F.; Kunert, Wolfgang; Kirschniak, Andreas (2012): 3D HD versus 2D HD: surgical task efficiency in standardised phantom tasks. In: *Surgical endoscopy* 26 (5), S. 1454–1460. DOI: 10.1007/s00464-011-2055-9.

Suleman, Rabiya; Yang, Tong; Paige, John; Chauvin, Sheila; Alleyn, Jaime; Brewer, Martha et al. (2010): Hand-eye dominance and depth perception effects in performance on a basic laparoscopic skills set. In: *JSLs : Journal of the Society of Laparoendoscopic Surgeons* 14 (1), S. 35–40. DOI: 10.4293/108680810X12674612014428.

Szold, A. (2005): Seeing is believing: visualization systems in endoscopic surgery (video, HDTV, stereoscopy, and beyond). In: *Surgical endoscopy* 19 (5), S. 730–733. DOI: 10.1007/s00464-004-8272-8.

Tirelli, G.; Piovesana, M.; Gatto, A.; Boscolo Nata, F. (2017): Narrow-band imaging with 4K technology in the head and neck: preliminary experience and technical settings. In: *The British journal of oral & maxillofacial surgery* 55 (7), S. 740–741. DOI: 10.1016/j.bjoms.2017.06.009.

Wäger, Markus (2010): Grafik und Gestaltung. Das umfassende Handbuch. 1. Aufl.: Galileo Press.

- Waldruff, Thomas (2004): Digitale Bildauflösung. Grundlagen, Auflösungsbestimmung, Anwendungsbeispiele. Berlin, Heidelberg: Springer Verlag.
- Waseda, M.; Inaki, N.; Mailaender, L.; Buess, G. F. (2005): An innovative trainer for surgical procedures using animal organs. In: *Minimally invasive therapy & allied technologies : MITAT : official journal of the Society for Minimally Invasive Therapy* 14 (4), S. 262–266. DOI: 10.1080/13645700500273841.
- Wellek, Stefan; Blettner, Maria (2012): Vom richtigen Umgang mit dem Crossover-Design in klinischen Studien. Teil 18 der Serie zur Bewertung wissenschaftlicher Publikationen. In: *Deutsches Ärzteblatt* 109 (15), S. 276–281.
- Wentink, M.; Breedveld, P.; Stassen, L. P. S.; Oei, I. H.; Wieringa, P. A. (2002): A clearly visible endoscopic instrument shaft on the monitor facilitates hand-eye coordination. In: *Surgical endoscopy* 16 (11), S. 1533–1537. DOI: 10.1007/s00464-001-9214-3.
- Wesemann, W.; Schiefer, U.; Bach, M. (2010): Neue DIN-Normen zur Sehscharfebestimmung. In: *Der Ophthalmologe : Zeitschrift der Deutschen Ophthalmologischen Gesellschaft* 107 (9), S. 821–826. DOI: 10.1007/s00347-010-2228-2.
- Woo, Peak (2016): 4K Video-Laryngoscopy and Video-Stroboscopy: Preliminary Findings. In: *The Annals of otology, rhinology, and laryngology* 125 (1), S. 77–81. DOI: 10.1177/0003489415595639.
- Yamashita, Hiromasa; Aoki, Hisae; Tanioka, Kenkichi; Mori, Toshiyuki; Chiba, Toshio (2016): Ultra-high definition (8K UHD) endoscope: our first clinical success. In: *SpringerPlus* 5 (1), S. 1445. DOI: 10.1186/s40064-016-3135-z.
- Yamashita, Hiromasa; Tanioka, Kenkichi; Miyake, Goichiro; Ota, Ichiro; Noda, Toru; Miyake, Kensaku; Chiba, Toshio (2018): 8K ultra-high-definition microscopic camera for ophthalmic surgery. In: *Clinical ophthalmology (Auckland, N.Z.)* 12, S. 1823–1828. DOI: 10.2147/OPHTH.S171233.
- Zhang, Henry; Wong, Phui Yee; Magos, Tiarnan; Thaj, Jabin; Kumar, Gaurav (2017): Use of narrow band imaging and 4K technology in otology and neuro-otology: preliminary experience and feasibility study. In: *European archives of oto-rhino-laryngology : official journal of the European Federation of Oto-Rhino-Laryngological Societies (EUFOS) : affiliated with the German Society for Oto-Rhino-Laryngology - Head and Neck Surgery*. DOI: 10.1007/s00405-017-4783-5.

7. Anhang

Lieferumfang

grün = baugleiche Teile auf beiden Türmen,

rot = verschiedene Ausführungen desselben Artikels

HD - Artikelnummer	Artikel	4K - Artikelnummer
AR-5995-16 STI	Gerätewagen	AR-5995-16
KU.1996.903	Monitorarm	KU.1996.903
KU.1534.800	Schwenkarm für das Tablet	KU.1534.800
ZV.9663.999	Anschlussleitung EU/Schuko mit POAG Leitung	ZV.9663.999
AR-8011P	11“ Schutzabdeckung	AR-8011P
AR-8032P	32“ Schutzabdeckung	AR-8032P
AR-3290-0004	Insufflator Synergy	AR-3290-0004
AR-3240-5027	Wolf Lichtleitkabel (2,70 Meter)	AR-3240-5027

AR-3200-1040	Synergy System Integration Cable Kit (Kabelset zur Systemintegration)	AR-3200-1040
SYNERGY HD3 (AR-3210-0001)	Kamerakopf	Synergy UDH4 4K (AR-3210-0023)
Synergy HD3 (AR-3200-0001T)	Kamerakontrolleinheit („Konsole“)	Synergy UHD4 (AR-3200-0021)
In Kamerakontrolleinheit integriert	Tablet	Synergy UHD4 Tablet (AR-3200-1007)
Synergy HD 32“ (AR-3250-3206)	Monitor	Synergy UHD4 32“ (AR-3250-3207)
Arthroskop 30°, HD, 4 mm x 152,5 mm	Optik	4K Laparoskopocope 30°, 10 mm x 330 mm

8. Erklärung zum Eigenanteil

Die Arbeit wurde in der Universitätsklinik für Allgemeine, Viszeral- und Transplantationschirurgie Tübingen unter Betreuung von Prof. Dr. med. MBA Andreas Kirschniak durchgeführt.

Die Konzeption der Studie erfolgte durch Herrn Dr. med. Jonas Johannink und Herrn Dr. med. Manuel Braun in Zusammenarbeit mit der Firma Arthrex GmbH, die die Kameratürme zur Verfügung stellte.

Sämtliche Versuche wurden von mir nach Einarbeitung durch Frau Melissa Schneider und Herrn Wolfgang Kunert durchgeführt.

Die für Übung 1 und 2 konzipierten Holzfiguren wurden von Herrn Martin Rath gebaut. Die in Übung 3 als Unterlage genutzten Korkplatten wurden mir freundlicherweise zur Resteverwertung von Herrn Kirschner von „Teppichbodenmarkt Kirschner“ überlassen.

Alle in den Versuchen verwendeten Trainer und Instrumente sind Eigentum der Arbeitsgruppe Chirurgische Technologie und Training der Universitätsklinik.

Die statistische Auswertung erfolgte nach Beratung durch Frau Aline Naumann vom Institut für Klinische Epidemiologie und angewandte Biometrie durch mich. Die Darstellung der Formeln [1] – [8] wurde von Herrn Fabian Schneeweis empfohlen.

Ich versichere, das Manuskript selbständig verfasst zu haben und keine weiteren als die von mir angegebenen Quellen verwendet zu haben.

Tübingen, den

9. Danksagung

Zuerst möchte ich meinen Dank dem gesamten Team der Arbeitsgruppe Chirurgische Technologie und Training, allen voran Prof. Dr. Andreas Kirschniak aussprechen. Zu jeder Zeit konnte ich mich auf die Mitglieder der Arbeitsgruppe, besonders Jonas Johannink, Melissa Schneider und Wolfgang Kunert verlassen.

Des Weiteren danke ich der Firma Arthrex für die unentgeltliche Verleihung der Kameratürme.

Ein großes Dankeschön geht an Thomas Drasch und Lisa Mergner für das Korrekturlesen der Arbeit.

Außerdem gebührt mein Dank meiner Familie und Freunden, dich mich von nah und fern motiviert, moralisch unterstützt und durch alle Entstehungsphasen dieser Dissertation begleitet haben. Vor allem erwähnt werden müssen hier: Marianne und Klaus Drasch, ohne deren Hilfe sich die Korrekturphase sicherlich nicht so schnell hätte realisieren lassen. Johanna Miller, die mir immer mit Rat und Tat zur Seite stand und meine Eltern, ohne die ich nie so weit gekommen wäre. Salamat kaayo sa imong suporta!