Aus der Klinik für Allgemein-, Viszeral- und Transplantationschirurgie der
Ludwig-Maximilians-Universität München
Direktor: Univ.-Prof. Dr. med. Jens Werner

Laparoskopie-Training mit gebogenen und geraden laparoskopischen Instrumenten- ist 3D-Visualisierung vorteilhaft?

Dissertation zum Erwerb des Doktorgrades der Zahnmedizin
an der Medizinischen Fakultät der
Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von
Dr. med. Johanna Hidding
aus Münster
2022

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät

der Universität München

Berichterstatter:	Prof. Dr. med. Dr. h.c. Konrad Karcz
Mitberichterstatter:	Prof. Dr. med. Matthias Anthuber
	Prof. Dr. med. Ekkehard Euler
Mitbetreuung durch den promovierten Mitarbeiter:	Dr. med. Julian Bucher
Dekan:	Prof. Dr. med. Thomas Gudermann
Tag der mündlichen Prüfung:	17.10.2022

Aus der Klinik für Allgemein-, Viszeral- und Transplantationschirurgie der
Ludwig-Maximilians-Universität zu München
Direktor: Univ.-Prof. Dr. med. Jens Werner
Berichterstatter: Prof. Dr. med. Dr. h.c. Konrad Karcz
Mitberichterstatter: Prof. Dr. med. Matthias Anthuber, Prof. Dr. med. Ekkehard Euler

ZUSAMMENFASSUNG

Laparoskopie-Training mit gebogenen und geraden laparoskopischen Instrumenten- ist 3D-Visualisierung vorteilhaft? Dr. med. Johanna Hidding

Minimalinvasive Chirurgie (MIC) gilt als Standard für eine Vielzahl an operativen Eingriffen. Im Vergleich zum offenen Vorgehen ist jedoch die Lernkurve deutlich flacher. Schwierigkeiten sind unter anderem die gestörte Tiefenwahrnehmung im zweidimensionalen Kamerabild. Der breite Einsatz der MIC führte zur Entwicklung neuer Technologien wie 3D-Visualisierungssystemen und der Roboter-assistierten Chirurgie. Wegen der hohen Kosten sind diese Systeme jedoch nicht überall verfügbar. Ein Vorteil von Chirurgierobotern ist die Artikulierbarkeit der Instrumentenspitzen. Gerade bei Prozeduren wie Nähen in schwierigen Winkeln zeigen die artikulierbaren Instrumente Überlegenheit gegenüber konventionellen Laparoskopie-Instrumenten. Artikulierbare Instrumente gibt es auch außerhalb von Robotersystemen. Deren Bedienung gestaltete sich allerdings mitunter schwierig. Eine Alternative könnten vorgebogene Instrumente sein, die ursprünglich für die Einzelschnittchirurgie entwickelt wurden.

Das Ziel der Arbeit bestand darin, (1) die Einsatzmöglichkeiten von vorgebogenen Instrumenten in der konventionellen Laparoskopie zu prüfen und gegebenenfalls einen Vorteil gegenüber konventionellen Laparoskopie-Instrumenten festzustellen. Da in Vorstudien gezeigt wurde, dass insbesondere komplexere Instrumente von 3D-Visualisierung profitieren, wurde (2) das vorgebogene Instrument im zwei- als auch im dreidimensionalen Visualisierungssetting getestet. 48 Novizen wurden in vier Gruppen (2D-gerade, 2D-gebogen, 3D-gerade, 3D-gebogen) eingeteilt und führten standardisiert im *multiple-repetition* Design drei Übungen aus dem *Fundamentals of Laparoscopic Surgery*-Kurrikulum und eine Transfer Übung, jeweils am Laparoskopiesimulator durch. Zur Beurteilung der Leistung wurden validierte Performance-Scores verwendet. Die Arbeitsbelastung wurden mit dem NASA TLX Fragebogen erhoben.

Es konnte gezeigt werden, dass Novizen mit 2D-Kamerasicht mit geraden Laparoskopie-Instrumenten eine bessere Performance erzielten, weniger Zeit zum Absolvieren der Übungen benötigten und weniger Fehler machten, als bei der Verwendung von gebogenen Laparoskopie-Instrumenten mit 2D-Kamerasystem. Die 3D-Visualisierung stellte keinen Vorteil gegenüber 2D-Sicht hinsichtlich der Performance, der Zeit und Fehlern beim Einsatz von geraden Laparoskopie-Instrumenten dar. Im Vergleich dazu konnte ein deutlicher Vorteil der 3D-Technik bei der Anwendung von gebogenen Instrumenten festgestellt werden. Bei der Verwendung von gebogenen Instrumenten unter 3D-Sicht zeigte sich auch eine bessere Performance, eine schnellere und akkuratere Durchführung der Übungen im Vergleich zum Einsatz der gebogenen Instrumente unter 2D-Sicht.

Insgesamt zeigte diese Studie also, dass insbesondere beim Einsatz von komplizierten Laparoskopie-Instrumenten die 3D-Sicht deutlich vorteilhaft ist.

Weitere Aspekte:

Vorstudien legen nahe, dass der Vorteil von 3D-Technologie und gebogenen Instrumenten insbesondere in komplexen Übungen zum Vorschein kommt. Aus diesem Grund wurde eine mehrstufige Transferaufgabe entwickelt und im Rahmen eines erweiterten FLS-Kurrikulums getestet. Die Performance in der Transfer Übung wurde mit einem Score (Performance-Score^{Transfer}) analog des etablierten MISTEL-Scores evaluiert. Zusätzlich wurde die Übung von vier verblindeten, erfahrenen Chirurgen subjektiv beurteilt. Diese subjektive Bewertung zeigte eine hoch signifikante Korrelation zu dem Performance-Score^{Transfer}, welches die Aussagekraft dieses neu entwickelten Performance-Scores untermauert.

Erhöhte Arbeitsbelastung führt zur Ermüdung und so zur Fehleranfälligkeit. Der Zusammenhang zwischen Arbeitsbelastung und Performance wurde anhand der komplizierten Transfer Übung evaluiert. Die Arbeitsbelastung sank im Trainingsverlauf und bei gesteigerter Performance. Die allgemeine Arbeitsbelastung, die Subskalen „physische Anstrengung“, „empfundene Frustration“ und „Zeitdruck“ zeigten eine signifikant negative Korrelation zur Performance. Diese Ergebnisse betonen die Dringlichkeit von Simulatortraining außerhalb von zusätzlichen Stressoren wie Lärmbelastung und Zeitdruck wie sie in der Patientenversorgung immanent sind.

Tag der mündlichen Prüfung: 17.10.2022

Für Marius, Philippa und Avi.

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis i

1 Einleitung und Hintergrund der Studie 2

1.1 Training in der Laparoskopie 3

1.1.1 Fundamentals of Laparoscopic Surgery 5

1.2 Neue Entwicklung in der Laparoskopie 6

1.2.1 3D-Laparoskopie 6

1.2.2 Komplexe Instrumente 8

1.3 Ziel der Studie 14

2 Materialien und Methoden 16

2.1 Studienaufbau 16

2.1.1 PEG Transfer 19

2.1.2 Pattern Cut 20

2.1.3 Intracorporeal Suture 21

2.1.4 Transfer Übung 21

2.1.5 NASA TLX 24

2.2 Material und Instrumenten-Setup 26

2.3 Datenerhebung 31

2.4 Statistische Auswertung 33

3 Ergebnisse 35

3.1 Demographische Daten 35

3.2 Konventionelle Laparoskopie mit geraden und gebogenen Laparoskopie-Instrumenten 37

3.3 Einfluss von 3D auf die laparoskopische Performance 44

3.4 3D-Visualisierung beim Einsatz von gebogenen Instrumenten 50

3.5 Weitere Ergebnisse 57

3.5.1 Korrelationsanalyse Transferaufgabe 57

3.5.2 Korrelationsanalyse der FLS-Übungen untereinander 61

3.5.3 Korrelation zwischen NASA TLX und der Transferaufgabe 62

4 Diskussion 70

4.1 Allgemein/Demographie 70

4.2 Ist die laparoskopische Performance mit geraden Instrumenten besser als mit gebogenen? 71

4.3 Ist das 3D-Visualisierungssystem vorteilhaft in der konventionellen Laparoskopie? 73
4.4 Wird der Umgang mit gebogenen Instrumenten erleichtert unter 3D-Visualisierung? 77
4.5 Weitere Ergebnisse 80
4.5.1 Korrelation der FLS-Übungen untereinander und zur Transfer Übung 80
4.5.2 Korrelation der Performance und NASA TLX 81
4.6 Stärken und Schwächen der Studie 81
4.7 Schlussfolgerung und Ausblick 83

5 Literaturverzeichnis 85

6 Abbildungs- und Tabellenverzeichnis 97
6.1 Abbildungen 97
6.2 Tabellen 101

7 Affidavit 106

8 Danksagung 107

9 Anhang I
9.1 Tabellarische Ergebnisse I
9.1.1 Demographie I
9.1.2 PEG Transfer VII
9.1.3 Pattern Cut X
9.1.4 Intracorporeal Suture XIII
9.1.5 Transfer Übung II
9.1.6 NASA TLX II
9.2 Ethikvotum VIII
9.3 Probandeninformation und Einverständniserklärung IX
9.4 Fragebogen zur Demographie XIII
9.5 Dokumentationsbogen XIV
9.6 NASA TLX XVI

Abkürzungsverzeichnis

Arbeitsb.	Arbeitsbelastung
FLS	Fundamentals of laparoscopic surgery
Frustr.	Frustration
M	Male (männliche Probanden)
Max.	Maximum
MD	Mental Demand
MIC	Minimalinvasive Chirurgie
Min.	Minimum
MW	Mittelwert
NASA TLX	National Aeronautics and Space Administration Task Load Index
OP	Operationssaal
Perf.	Performance
PD	Physical Demand
PR	Probanden
r	Korrelationskoeffizient nach Pearson
r_s	Korrelationskoeffizient von Spearman
SBT	Simulatorbasiertes Training
SD	Standardabweichung
T1-5	Trainingszeitpunkt 1-5
TD	Temporal Demand
VAS	Visuelle Analogscala
VBB	Verblindete Beurteilung
VR	Virtual Reality
2D	Zweidimensional
3D	Dreidimensional

1 Einleitung und Hintergrund der Studie

Minimalinvasives chirurgisches Vorgehen gilt heute als Standardverfahren für eine Vielzahl an Operationen. Heute wird die minimalinvasive Chirurgie (MIC) in nahezu allen operativen Fächern angewandt, vornehmlich in der Allgemeinchirurgie, Orthopädie und Unfallchirurgie, Urologie, Gynäkologie aber auch inzwischen in der Herzchirurgie [1]. Zunächst wurde die MIC vor allem bei vergleichsweise leichten chirurgischen Prozeduren wie der laparoskopischen Cholezystektomie [2] oder der laparoskopischen Appendektomie genutzt. Heute ist ihr Einsatzgebiet erheblich erweitert und in der Allgemeinchirurgie können Eingriffe wie bariatrische Operationen, Antirefluxchirurgie bis hin zu komplexeren Eingriffen der onkologischen Chirurgie wie Ösophagus-, Kolorektal-, Leber- und Pankreaschirurgie minimalinvasiv durchgeführt werden [3, 4]. Vorteile der MIC gegenüber dem offenen Vorgehen sind die reduzierten postoperativen Schmerzen durch kleinere Wundflächen, geringere Infektionsraten, weniger intraoperative Blutverluste, eine kürzere Krankenhausverweildauer und eine schnellere Genesung [2]. Doch für den Operateur entstehen beim minimalinvasiven Vorgehen neue Schwierigkeiten und Herausforderungen [1]. So wird die laparoskopische Chirurgie üblicherweise mit einem zweidimensionalen (2D) Visualisierungssystem durchgeführt. Hier ist insbesondere die Tiefenwahrnehmung erschwert und es kann zur räumlichen Desorientierung kommen [5]. Ein eingeschränktes Sichtfeld, eine unruhige Kameraführung [6], fehlendes Gewebegefühl [1], eingeschränkte Freiheitsgrade [7] und der Hebel- und Drehpunkteffekt [1] stellen weitere Schwierigkeiten der MIC dar. Aus diesen Gründen wurde in der MIC eine längere Lernkurve im Vergleich zur konventionellen Chirurgie beobachtet [1]. Viele Bewegungsabläufe sind kontraintuitiv zum offenen Vorgehen und sie benötigen demnach deutlich mehr Training [8].

Die oftmals übliche Herangehensweise in der chirurgischen Ausbildung nach William Halsted „*see one, do one, teach one*“ gilt als obsolet in der modernen Chirurgie [1]. Bei untrainierten Operateuren können höhere Komplikations- und Mortalitätsraten und längeren Operationszeiten auftreten [9]. Dieses erhöhte und grundlegend unethische

Risiko für den Patienten führte zur Einführung von simulatorbasiertem Training außerhalb des Operationssaals [10].

1.1 Training in der Laparoskopie

Viele laparoskopische Fähigkeiten können durch simulatorbasiertes Training auch außerhalb des Operationssaals gelernt werden. Der positive Effekt von Training im Trockenlabor in Bezug auf die anschließende Operationsdurchführung im Operationssaal (OP) konnte in einer Vielzahl von Studien gezeigt werden [11-14]. Gerade Novizen profitieren von Training, welches zu besseren laparoskopischen Fähigkeiten und somit zu einer reduzierten Operationszeit am Patienten [13, 15] und zunehmenden Patientensicherheit [1, 16] durch geringere intra- und postoperative Komplikationen führt [17]. Dieses senkt letztendlich auch Kosten für das Gesundheitssystem [9]. Zusammenfassend heißt das: Durch adäquates Training können Kosten reduziert werden, effizienter gearbeitet und insbesondere die Patientensicherheit verbessert werden [18].

Aktuell existieren verschiedene Trainingsmodelle und –möglichkeiten. Das Grundprinzip besteht darin, dass junge Chirurgen sich in einem kontrollierten Setting mit Instrumenten und Bewegungsabläufen vertraut machen [18]. Durch multiple Wiederholung von Bewegungen kann es zur Verinnerlichung der muskulären Abläufe kommen [18].

Die Trainingsmöglichkeiten reichen von Lebendtiermodellen, Training an tierischen und menschlichen Kadavern, Training an Boxtrainern (auch Videotrainer oder *pelvic trainer* genannt) bis zu *virtual reality*-Trainern (VR-Trainer) [13]. Allgemein lassen sich die Laparoskopietrainer nach Papanikolaou in zwei Gruppen einteilen: (a) die „physischen Trainer“ zu denen die Boxtrainer gehören, und (b) die VR-Trainer, die ähnlich einem Flugsimulator, ein Computerbild kreieren [18]. Boxtrainer können als Lebendtiermodelle oder Kadaver-Organpakete genutzt werden [19, 20] Je nach Vorerfahrungen und –kenntnissen der Trainierenden können an Boxtrainer und VR-Trainern einfache Basisfähigkeiten erlernt oder ganze Operationsabläufe trainiert werden [1, 18] (siehe Abbildung 1).

(a) Grundsätzlich können Boxtrainer in Basisausstattung vorliegen, oder über die gleiche Ausstattung mit Kamera, Monitor und Laparoskopieinstrumenten wie im Operationssaal verfügen [18].

Am Realistischen ist das Lebendtiermodell, doch es ist nicht generell verfügbar, teuer und ethisch kontrovers [21]. Insbesondere beim Training mit Novizen ist es zum Erlernen von Grundlagen nicht notwendig [21]. Wichtig bei der Auswahl der geeigneten Trainingsmodalität ist insbesondere der Ausbildungsstand der Trainierenden [1]. Für Novizen oder Berufsanfänger mit wenig laparoskopischer Erfahrung sind beispielsweise Boxtrainer geeignet.

(b) Bei VR-Trainern kann der Trainierende Computerbilder durch im Trainer integrierte Arbeitsinstrumente manipulieren [18]. VR-Trainer verfügen über verschiedene Softwares und können zum Erlernen von Basisfähigkeiten aber auch für komplexere Operationsabläufe genutzt werden [22]. VR-Trainer sind jedoch deutlich teurer als Boxtrainer, haben eine hohe Fehleranfälligkeit, unrealistische Computerbilder und realitätsfernes haptisches Feedback [18, 22]. Insbesondere durch die hohen Anschaffungskosten ist ihre Verfügbarkeit begrenzt [19].

Im direkten Vergleich der beiden Trainingsmodalitäten, Boxtrainer und VR-Trainer, zeigte keines der beiden Systeme Überlegenheit zum Erlernen von laparoskopischen Fähigkeiten bei Novizen [23].

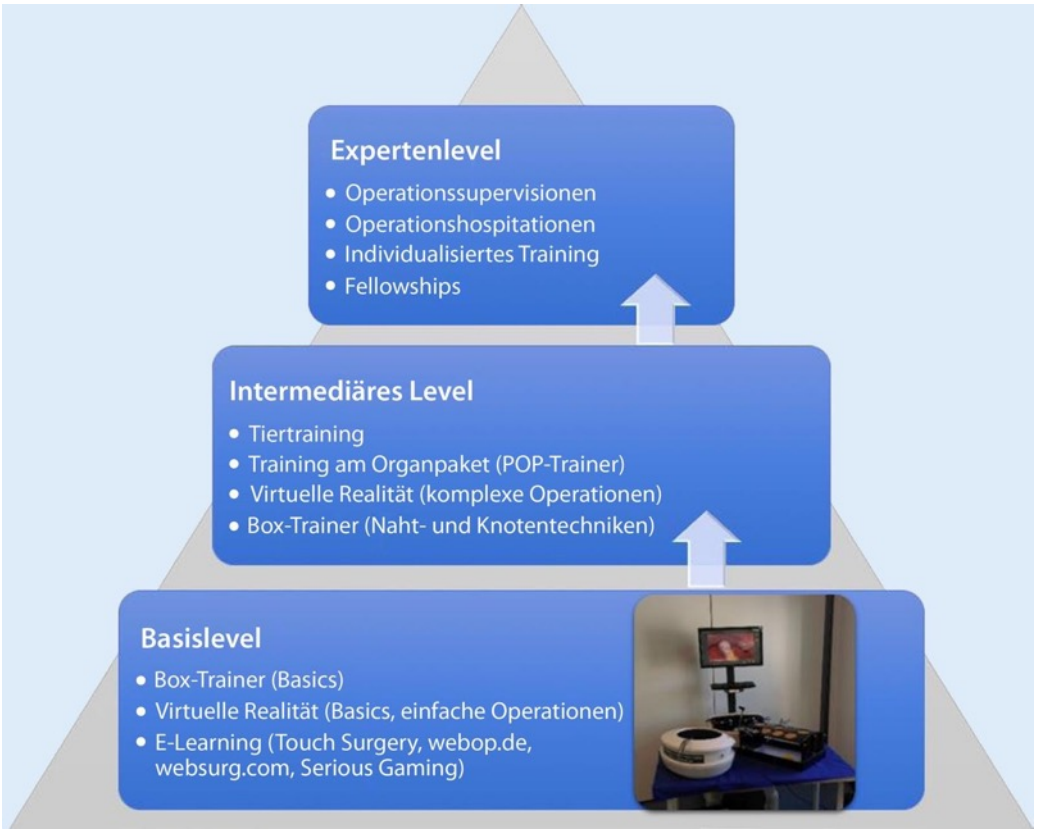


Abbildung 1: Trainingsmodalitäten [1]; POP: *pulsatile organ perfusion*.

1.1.1 Fundamentals of Laparoscopic Surgery

Neben den unterschiedlichen Trainingsmodalitäten zum Erlernen von laparoskopischen Fähigkeiten existieren eine Vielzahl an verschiedenen Trainingskurrikula, die auf unterschiedlichen Übungen (beispielsweise [24-27]) im Boxtrainer oder VR-Trainer basieren [22]. Die Trainingskurrikula wurden von den unterschiedlichen Disziplinen wie Allgemeinchirurgie, Urologie und Gynäkologie entwickelt [28-32]. Das am weitesten verbreitete Kurrikulum ist *Fundamentals of Laparoscopic Surgery* (FLS) [28].

Das FLS ist ein strukturiertes Trainingskurrikulum, welches in den späten 1990er Jahren in den USA zum Erlernen von laparoskopischen Fähigkeiten entwickelt wurde [33]. Es umfasst eine didaktische Komponente, in der inhaltliches Wissen zu prä-, intra- und postoperativen Aspekten von üblichen laparoskopischen Eingriffen gelehrt werden [33]. Der Schwerpunkt des Kurrikulums liegt jedoch auf der Vermittlung von praktischen Fähigkeiten. In einem Boxtrainer werden Basisfertigkeiten der laparoskopischen Chirurgie gelehrt. Der Boxtrainer ist mit originalen Laparoskopie-Instrumenten und

Visualisierungssystem ausgestattet, um möglichst nah an der Situation im OP zu sein [31]. In vielen Vorstudien [8, 31, 34] wurden fünf Übungen für das FLS-Kurrikulum entwickelt, welche die spezifischen Bewegungsabläufe der laparoskopischen Chirurgie vermitteln sollen. Dazu gehören das bimanuelle Transferieren von Objekten (*PEG Transfer*), das präzise Schneiden (*Pattern Cut*), das Zuziehen einer Schlinge (*Ligating Loop*) sowie das Nähen mit intra- und extrakorporalen Knoten (*Intracorporeal Knot, Extracorporeal Knot*) [33, 35]. Die Performance in den praktischen Übungen wird mit einem Scoring-System beurteilt. Das Trainingsprogramm und Scoring-System wurde umfangreich validiert [31, 34, 36, 37]. So lässt sich der Score durch Training verbessern [36], korreliert mit dem Erfahrungsgrad der Trainierenden und kann so zwischen Novizen und Experten unterscheiden [34, 36]. Ebenso korreliert der Score mit der intraoperativen Performance im Operationssaal [38].

Seit 2008 ist das FLS-Kurrikulum durch das *American Board of Surgeons* zum verpflichtenden Bestandteil in der Ausbildung aller chirurgischen Assistenzärzte in den USA geworden [1, 33]. Das FLS-Kurrikulum gilt als Standard zum Erlernen von laparoskopischen Fähigkeiten [33, 39].

1.2 Neue Entwicklung in der Laparoskopie

1.2.1 3D-Laparoskopie

Im menschlichen Auge entsteht Stereoskopie durch Querdisparation. Diese beschreibt den leicht verschobenen Bildunterschied zwischen rechten und linken Auges [40]. Durch Fixation auf das Objekt, Konvergenz und Akkommodation der Augen fallen die unterschiedlichen Bilder auf korrespondierende Netzhautstellen und fusionieren im Gehirn zu einem stereoskopischen Gesamtbild [40]. Durch die leicht unterschiedlichen Bildinformationen des rechten und linken Auges kann das Gehirn ein dreidimensionales (3D) Bild entstehen lassen.

In der MIC wird traditionell mit einer zweidimensionalen Optik gearbeitet, welche die Einschätzung des Instruments im Raum und die Tiefenempfindung im Situs für den Operateur erschwert [41]. Eine Einschätzung des Objekts im Raum wird bei 2D-

Visualisierungssystemen über monoskopische Raummerkmale wie Schatten, Perspektive, Interposition der Objekte, Größe, Bewegung, Erwartung und Erfahrung des Betrachters, ermittelt [40, 42].

Wie entsteht ein 3D-Bild in der 3D-Laparoskopie? Das 3D-Visualisierungssystem besteht aus Stereolaparoskop, Stereokamerakopf, Stereomonitor und –brille [40]. Bei dem Stereokamerakopf sind zwei Kameras integriert (Abbildung 2), die Videosignale aus zwei unterschiedlichen Perspektiven gewinnen, ähnlich der menschlichen Stereopsis. Diese Bilder werden auf den Stereomonitor projiziert und mit der Stereobrille betrachtet [40]. Die Stereobrille bewirkt, dass das jeweilige Auge idealerweise nur visuelle Informationen aus der korrespondierenden Kamera erhält [43]. Die Bilder der rechten Kamera werden durch die Stereobrille vor dem linken Auge geblockt und umgekehrt [43].

Abbildung 2: Ein Stereolaparoskop mit zwei Stablinsenoptiken. Diese sind im Hüllrohr nebeneinander angebracht (Bildrechte: Richard Wolf GmbH).

In den 1990er Jahren wurde die 3D-Visualisierungssyssteme erstmals bezüglich ihres Einsatzes in der MIC untersucht. Gerade die Tiefenwahrnehmung im stereoskopischen Kamerabild versprach den entscheidenden Vorteil [6]. Die erste Generation an 3D-Systemen führte aufgrund ihrer schlechten Bildqualität zu Übelkeit, Schwindel, Kopfschmerzen und Ermüdung der Augen [6, 42, 44]. Erst die Entwicklung von hochauflösenden passiv-polarisierenden 3D-Systemen bewirkte den weiteren Einsatz in der Laparoskopie [6, 41, 42, 45, 46].

In Studien zeigte sich bei Anwendung von 3D-Systemen eine schnellere Durchführung der Übungen und eine akkuratere Arbeitsweise im Vergleich zu konventionellen 2D-Laparoskopiesystemen [47]. Gerade bei Novizen mit fehlender oder minimaler Vorerfahrung mit Laparoskopie konnte der Vorteil von 3D-Visualisierungssystemen gegenüber 2D gezeigt werden [6, 45, 48, 49]. Im Bereich der MIC-Forschung besteht ein hohes Interesse an 3D-Technologie. Doch warum ist das 3D-Visualisierungssystem nach wie vor kein Standard in den Krankenhäusern [6, 50, 51]? Gründe hierfür waren zu Beginn der 3D-Technik die vielen negativen Begleiterscheinungen [51, 52]. Bei zunehmender Verbesserung der Technik kann es unter Umständen an den hohen Kosten für 3D-Systeme liegen [50], den 3D-Brillen [47] und der Gewohnheit an das 2D-System [51]. Chirurgen, die daran gewöhnt sind mit einem 2D-Visualisierungssystem zu arbeiten, präferieren es auch [51].

1.2.2 Komplexe Instrumente

Weitere Schwierigkeiten der MIC entstehen durch die eingeschränkten Freiheitsgrade der Bewegungen [24], begründet durch den begrenzten Platz im Situs und durch die limitierte Bewegungsspanne [53], da gerade und starre Laparoskopie-Instrumente durch die Inzision in der Bauchdecke einen definierten Drehpunkt haben [54]. Dieses führte schon früh zur Entwicklung von abwinkelbaren Instrumenten wie beispielsweise laparoskopischen Linearstapler, die sich manuell über den Handgriff abwinkeln lassen so eine Angulation zwischen zwei Instrumentenspitzen ermöglichen. Tabelle 1 gibt einen Überblick über eine Auswahl an komplexen Laparoskopie-Instrumenten.

Ein Höhepunkt der laparoskopischen Entwicklung stellen roboterbetriebenen Systeme wie der DaVinci® Roboter dar. Der DaVinci® Roboter verfügt über sieben Freiheitsgerade und der Handtremor kann durch den Computer eliminiert werden [55]. Limitierend wirkt dabei, dass Robotersysteme sehr teuer und nicht überall verfügbar sind [24]. Aus diesem Grund kam es zur Entwicklung von artikulierenden Instrumenten zum Einsatz auch in der konventionellen Laparoskopie [24, 56, 57] (siehe Tabelle 1). Artikulierende Instrumente wie Kymerax© zeigten eine längere Lernkurve gegenüber konventionellen Laparoskopie-Instrumenten und führten aufgrund ihrer Komplexität zur schnelleren Ermüdung des Operateurs [24]. Die artikulierenden Instrumente zeigten gegenüber den

konventionellen Laparoskopie-Instrumenten Überlegenheit beim Schneiden entlang von komplexen Strukturen und Nähen in schwierigen Winkeln [24]. Der bewegliche Schaft bei artikulierenden Instrumenten scheint allerdings einen Nachteil darzustellen, da das Instrument als zu flexibel empfunden werden kann [54]. Dieses führe zu schlechterer Performance und einer erhöhten Zahl an unkontrollierten Bewegungen [54]. Eine Alternative könnten vorgebogene aber rigide Instrumente sein, die ursprünglich zum Einsatz in der Einzelschnittlaparoskopie (*single-incision laparoscopic surgery*) entwickelt wurden [58-60] (siehe Tabelle 2). Diese Instrumente sollten Probleme aufgrund fehlender Angulierbarkeit beim parallelen Zugang der Instrumente zur Bauchhöhle beheben. Bei der Einzelschnittlaparoskopie kommt es bei der Verwendung von geraden Laparoskopie-Instrumenten zur erschwerten bis fehlenden Triangulation und es fehlt die Möglichkeit einen Gegenzug aufzubauen [61]. Verschiedene vorgebogene Laparoskopie-Instrumente sind inzwischen erhältlich und sollen die Probleme der geraden Instrumente überwinden. Das DuoRotate ist eines dieser einfach gebogenen Instrumente. Laut Hersteller sei es intuitiv zu bedienen und könnte somit ähnlich wie die artikulierbaren Instrumente vor allem bei komplexen Aufgaben auch außerhalb der Einzelschnittlaparoskopie von Vorteil sein, ohne zur schnellen Ermüdung zu führen. Der rigide Schaft des DuoRotate verspricht überdies ein haptisches Feedback.

Die Rotatip- und DuoRotate-Instrumente können eine doppelte Rotation durchführen (siehe Abbildung 3). Bei dem DuoRotate wird der distale Schaft über ein Rad am Handgriff gedreht. Der Instrumentenkopf kann individuell gedreht werden. Diese doppelte Rotationsmöglichkeit führt zu einer 360° Drehung [62], einer großen Präzision der Bewegungsausführung [63] und verhindert bei der Einzelschnittchirurgie räumliche Konflikte und „Gedränge der Instrumente“ (*Crushing)* [63]. Gerade in Prozeduren mit größerer Komplexität zeigten speziell designte Instrumente (gebogen, artikulierend) Überlegenheit zu konventionellen Laparoskopie-Instrumenten (in der Einzelschnittchirurgie) [60].

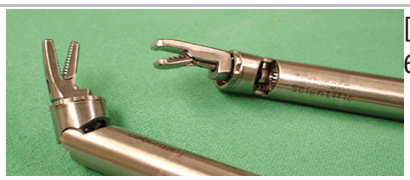
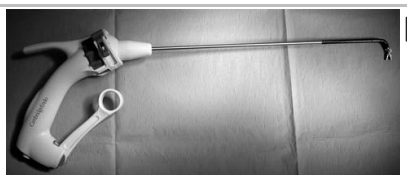
Instrumentenart	Beispiele	Publikationen
Artikulierende Instrumente		
manuell	• SILS™ Dissect, Covidien, Mansfield, MA, USA	[59]
	• Radius Surgical System®, Tübingen Scientific, Tübingen, Deutschland	 [56, 57, 64, 65]
	• Real Hand™; Novare Surgical Systems, Cupertino, CA, USA	[66]
	• Autonomy Laparo-Angle Laparoscopic Instrument, Cambridge Endoscopic Devices, Inc. Framington, MA, USA	 [67]
motorisiert	• Kymerax©, Terumo, Tokyo, Japan	[24, 68]
	• Dextérité (DEX) Arm, Dextérité Surgical™, Dexterite Surgical Inc, Annecy, Frankreich	[69]
	• JAIMY™, Endocontrol, La Tronche, Frankreich	[70]

Tabelle 1: Auswahl an komplexen Instrumenten: artikulierende Instrumente. Bei den artikulierenden wird zwischen motorisierten und manuell zu bewegenden Instrumenten differenziert. SILS™ Dissect aus: https://www.medtronic.com/content/dam/covidien/library/global/en/product/hand-instruments-and-ligation/sils-dissect-f.jpg, Radius Surgical System aus: [56], RealHand aus: http://www.micro-co.com/2008/06/04/1752/, Autonomy Laparo Angle aus: [67], Kymerax© aus: [24], Dextérité (DEX) Arm aus: [69], JAIMY™ aus: [70].

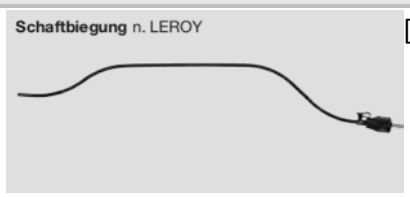
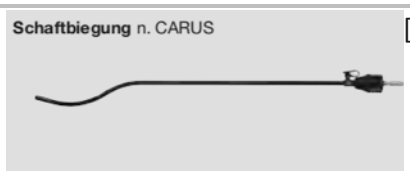
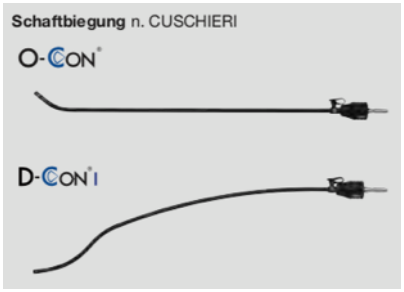
Instrumentenart	Beispiele	Publikationen	
Gebogene Instrumente			
Doppelt gebogene Instrumente	• ROTATIP®, S-portal Clickline, Schaftbiegung nach Leroy		[58, 59]
Einfach gebogene Instrumente	• DuoRotate	siehe Abb. 3	[62, 63, 71-73]
	• ROTATIP®; S-portal Clickline, Schaftbiegung nach Carus oder Cuschieri, Karl Storz, Tuttlingen, Deutschland		[66]
	• Pre-bent Instrument, Olympus, Hamburg, Deutschland		
Abwinkelbare Stapler			
	• ECHELON FLEX Powered Vascular Stapler, Ethicon Inc. Somerville, NJ, USA		

Tabelle 2: Auswahl an komplexen Instrumenten: Gebogene Instrumente und abwinkelbare Stapler. Die vorgebogenen Instrumente sind rigide und können über eine einfache oder doppelte Biegung verfügen. ROTATIP: https://www.karlstorz.com/cps/rde/xbcr/karlstorz_assets/ASSETS/3331342.pdf, Stapler aus: http://de.ethicon.com/healthcare-professionals/Unsere-Produkte/Klammernahtinstrumente/Endoskopische-Linear-Cutter/ECHELON-FLEX-powered-vascular-Endo-Cutter.

Der Einsatz des DuoRotate Instruments wurde in 5 Studien beschrieben [62, 63, 71-73]. In allen Studien wurde ein umbilikaler Einzelschnittzugang mit „*KeyPort* System“, einem Portsystem mit drei Öffnungen, durchgeführt. Bei einem Großteil der berichteten Fälle wurde die Einzelschnittchirurgie um einen zusätzlichen Zugang erweitert, um Nähbewegungen durchzuführen [73]. Die Hauptvorteile der DuoRotate Instrumente waren die Möglichkeit der Durchführung von präzisen Bewegungen ohne Verlust der stabilisierenden Eigensteifigkeit *rigidity loss* [62], deutlich reduziertem *Crushing* und Platzkonflikte [63] und die enorme Kosteneffizienz gegenüber der robotorisierten Alternativen [72].
Miernik und Kollegen untersuchten unterschiedliche Instrumentensätze in der Einzelschnittlaparoskopie. Sie sahen eine Tendenz der Überlegenheit in der Kombination von gebogenen und geraden Instrumenten [58]. Sanchez-Margallo und Kollegen hatten einen ähnlichen Ansatz und konnten beim Vergleich von unterschiedlichen Instrumentensätzen im Trockenlabor ebenfalls eine Überlegenheit der gebogenen Instrumente in Kombination mit konventionellen Laparoskopie-Instrumenten zeigen, auch gegenüber artikulierenden Instrumenten [59]. Aus diesem Grund wurde für unseren Versuchsaufbau ebenfalls die Kombination aus einem geraden Instrument und einem gebogenen Instrument gewählt. Die von Sanchez-Margallo und Kollegen verwendeten gebogenen Instrumente hatten noch keine zusätzliche Rotationsmöglichkeit der Instrumentenspitze [59], wie es die DuoRotate Instrumente ermöglichen. Aus diesem Grund lässt sich bei unseren Ergebnissen eine noch höhere Präzision erwarten.

Abbildung 3: DuoRotate Instrumente (Bildrechte: Richard Wolf GmbH).

1.3 Ziel der Studie

Ziel der Studie war es, basierend auf vier Übungen (FLS-Übungen *PEG Transfer, Pattern Cut, Intracorporeal Suture* und einer neu entwickelten Transfer Übung) in einem Laparoskopie-Boxtrainer, den Einsatz von DuoRotate-Instrumenten mit traditionellen Laparoskopie-Instrumenten zu vergleichen. Hierzu trainierten Medizinstudenten ohne Vorerfahrung im Bereich der MIC die Übungen des FLS-Kurrikulums im Trainingslabor.
Da es sich bei den FLS-Übungen um Übungen zum Erlernen von laparoskopischen Grundlagen handelt, wurde das Kurrikulum um eine neu entwickelte Transferaufgabe mit einem Schaumstoffphantom ergänzt. Die Transferaufgabe sollte die Situation eines dynamischen dreidimensionalen Operationssitus´ vereinfacht nachempfinden. Zum Absolvieren der Transfer Übung war die Bewegung des mobilen Objektes notwendig und so sollte eine neue realitätsnähere Übung kreiert werden.
Es sollte ermittelt werden, ob DuoRotate-Instrumente Vorteile bringen im Hinblick auf Präzision und Geschwindigkeit beim Durchführen der Übungen.
Vorstudien zeigten, dass das Erlernen von Laparoskopie mit gebogenen Instrumenten zeitaufwendiger ist [24]. Kann die Anwendung eines komplexen Instrumentes durch 3D-Visualisierungssysteme erleichtert werden? Aus diesem Grund wurden die DuoRotate-Instrumente im zwei- als auch dreidimensionalen Visualisierungssetting getestet.
Folgende Fragestellungen sollten evaluiert werden:

1. Wie wirkt sich die Verwendung von komplexen Laparoskopie-Instrumenten im Vergleich zu konventionellen Laparoskopie-Instrumenten auf die laparoskopische Performance von Novizen aus?
2. Ergibt sich ein Vorteil der 3D- anstatt 2D-Visualisierungstechnik bei der konventionellen Laparoskopie?
3. Ist 3D-Visualisierung vorteilhaft beim Einsatz von komplexen Laparoskopieinstumenten?

Hypothese	**Experimentelles Setting im Trockenlabor**
Die Anwendung von komplexen Laparoskopie-Instrumenten ist für Novizen schwieriger als die von geraden, konventionellen Laparoskopie-Instrumenten und geht demnach mit einer schlechteren Performance einher.	Vergleich der Performance von Novizen an 2D-Laparoskopietrainern mit dem komplexen Instrument DuoRotate im Vergleich zu konventionellen Laparoskopie-Instrumenten. • 2D-gerade vs. 2D-gebogen
Novizen zeigen eine bessere Performance unter Anwendung von 3D-Visualisierungstechnik in der konventionellen Laparoskopie.	Vergleich der Performance von Novizen beim Training mit konventionellen Laparoskopie-Instrumenten mit 2D- und 3D-Visualisierungssystem. • 2D-gerade vs. 3D-gerade
3D-Visualisierungstechnik ist insbesondere vorteilhaft beim Einsatz von komplexen Laparoskopie-Instrumenten und führt zu einer besseren Performance der Novizen.	Vergleich der Performance von Novizen unter Anwendung von komplexen Instrumenten (DuoRotate) mit 2D- und 3D-Visualisierungssystem. • 2D-gebogen vs. 3D-gebogen

Tabelle 3: Hypothese und dazugehöriges experimentelles Setting im Trockenlabor.

2 Materialien und Methoden

2.1 Studienaufbau

48 Medizinstudenten der klinischen Semester ohne Erfahrung in minimalinvasiver Chirurgie oder Simulator-basiertem Laparoskopie-Training (≤ 2 Stunden) wurden in die Studie eingeschlossen. Ausschlusskriterien für die Studie waren Erfahrung mit Laparoskopie-Training (>2 Stunden) und fehlendes Einverständnis. Die Teilnahme an der Studie war freiwillig und die Studienteilnehmer konnten die Studie zu jedem Zeitpunkt verlassen. Die Genehmigung der lokalen Ethikkommision lag vor (Ethikvotum 17-534). Vor der Versuchsdurchführung und Erhebung der Daten erfolgte eine mündliche und schriftliche Aufklärung der Studienteilnehmer über die Studie, mit der sich die Teilnehmer schriftlich einverstanden erklärten (siehe Anhang 9.3).

Visuelle Probleme lagen bei keinem der Versuchsteilnehmer vor oder diese waren mithilfe einer Brille korrigiert. Vor Einschluss in die Studie wurden alle Teilnehmer auf stereoskopisches Sehen getestet, indem sie den Lang II Test absolvierten (Lang II, Lang-Stereotest AG, Switzerland) [74]. Zwei Versuchsteilnehmer hatten Schwierigkeiten beim stereoskopischen Sehen. Da sie jedoch nach der Randomisierung der 2D-Gruppe angehörten, führte es nicht zum Studienausschluss.

Alle Versuchsteilnehmer füllten vor Studieneinschluss einen Fragebogen bezüglich Demographie, bisheriger Erfahrung mit Laparoskopie und Simulatoren, der Nutzung von Virtual Reality Produkten, Video-Computerspielen, Fähigkeiten im sportlichen und musikalischen Bereich sowie zur räumlichen Orientierung und stereoskopischer Sicht, aus.

Einstufungstest und Randomisierung: Nach Einschluss in die Studie erhielten die Teilnehmer ein Lernvideo zu den Trainingsaufgaben *Pattern Cut* und *Intracorporeal Suture* sowie eine kurze Einführung zur Handhabung der Laparoskopie-Instrumente. Anschließend hatten die Teilnehmer fünf Minuten Zeit, um sich mit den Instrumenten vertraut zu machen. Nach Anpassung der Lichtintensität und Durchführung des Weißabgleichs wurden folgend als Einstufungstest die beiden FLS-Übungen *Pattern Cut* und *Intracorporeal Suture* an einem 2D Storz Box-Trainer mit geraden Laparoskopie-Instrumenten absolviert. Entsprechend ihrer Performance wurden die Teilnehmer stratifiziert

randomisiert (siehe Abbildung 5). Ziel dieser Randomisierung war es, gleich starke Gruppen zu erhalten. In Studien konnte gezeigt werden, dass gerade zwischen untrainierten Individuen große Unterschiede innerhalb der laparoskopischen Performance bestehen [75, 76]. Für die beiden Übungen des Einstufungstests wurden für *Pattern Cut* und *Intracorporeal Suture* der Performance-Score ermittelt (analog zu s.u. 2.1.2. und 2.1.3.). Beide Performance-Scores wurden addiert (Performance-Score^{Pattern} + Performance-Score^{Suture} = Performance-Score^{Einstufung}) und anhand der Summe wurde eine Rangliste erstellt. In 4er-Bündel wurden die Probanden nun auf vier verschiedene Gruppen randomisiert (2D-gerade, 2D-gebogen, 3D-gerade, 3D-gebogen). Hierfür wurde ein Online-Randomisierungstool verwendet (https://rechneronline.de/zufallszahlen/).

Die Gruppe 2D-gerade (n=12) trainierte an einem Laparoskopie-Trainer n. SZABO-BERCI-SACKIER (Storz) mit 2D-Visulaisierungsystem mit geraden Laparoskopie-Instrumenten. Die Gruppe 2D-gebogen (n=12) trainierte ebenfalls an den 2D Trainern, verwendete für die Übungen jedoch ein gerades Laparoskopie-Instrument in Kombination mit einem gebogenen DuoRotate Instrument. Die Gruppen 3D-gerade (n=12) und 3D-gebogen (n=12) absolvierte die Übungen ebenfalls am Boxtrainer jedoch mit einem 3D-Visualisierungssystem (Wolf). Dafür verwendete die Gruppen analog zu den beiden Gruppen mit 2D-Visualisierungssystem zum einen gerade Laparoskopie-Instrumente (3D-gerade) und die Gruppe 3D-gebogen ein gebogenes und ein gerades Instrument (siehe Abbildung 4 und 5).

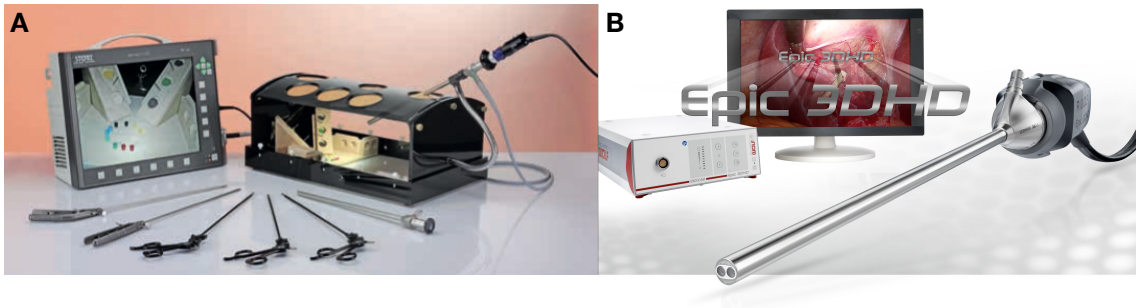


Abbildung 4: Trainingsplätze (A) Laparoskopietrainer nach Szabo-Berci-Sackier mit 2D-Optik und –Monitor (B) 3D-Optik mit Monitor; dieser wurde ebenfalls mit dem Box-Trainer nach Szabo-Berci-Sackier kombiniert. (Bildrechte A: https://www.karlstorz.com/cps/rde/xbcr/karlstorz_assets/ASSETS/2532460.pdf; B: Richard Wolf GmbH)

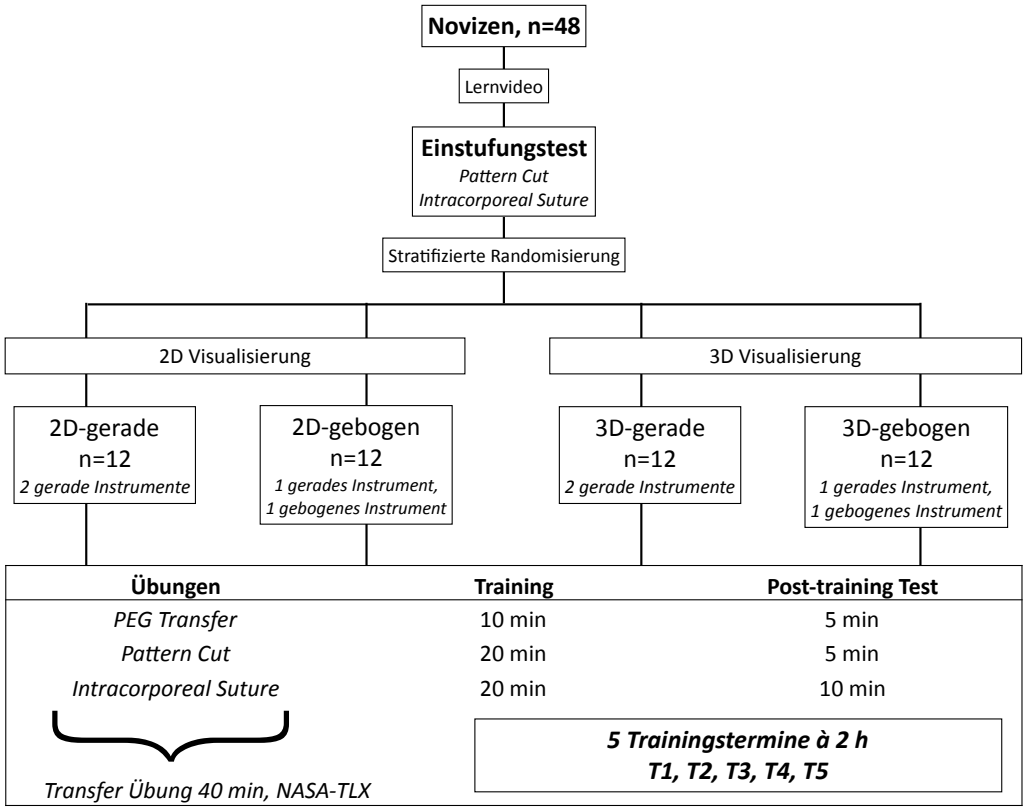


Abbildung 5: Studienaufbau. Die Novizen wurden in vier Gruppen (2D-gerade, 2D-gebogen, 3D-gerade, 3D-gebogen) randomisiert. Im Anschluss führten sie mit unterschiedlichen Visualisierungssystemen und unterschiedlichen Instrumenten-Settings das gleiche Trainingskurrikulum durch.

Nach der Randomisierung trainierten alle Studenten drei Übungen analog des etablierten FLS-Kurrikulums (*PEG Transfer*, *Pattern Cut, Intracorporeal Suture*) [35]. Hierfür wurden Lernvideos verwendet. Alle Studenten hatten 5 Trainingstermine à 2 Stunden, in denen sie in festgeschriebener Reihenfolge zunächst *PEG Transfer* (10 min Training, 5 min Testung), dann *Pattern Cut* (20 min Training, 5 min Testung) und anschließend *Intracorporeal Suture* (20 min Training, 10 min Testung) im *multiple-repetition* Design [50] trainierten. Innerhalb der vorgegebenen Trainingszeit wiederholten sie möglichst oft die zu trainierende Übung. Die FLS-Testungen wurden, unter Aufsicht des beobachtenden Versuchsleiters, für jede Übung durchgeführt. Hierbei wurden die Zeit und Performance-Parameter sowie Fehler erhoben (siehe Dokumentationsbogen 10.5). Im Anschluss an

die FLS-Übungen absolvierten alle Studenten eine 40-minütige Transferaufgabe. Die Transfer Übung wurde im Anschluss direkt durch den Versuchsleiter ausgewertet.
Während der Trainingssitzungen hatten die Versuchsteilnehmer die Möglichkeit, sich die Lernvideos erneut anzusehen.
Alle Trainingstermine eines Versuchsteilnehmers sollten innerhalb von 14 Tagen absolviert werden. Zwischen den einzelnen Terminen sollten mindestens 24 Stunden liegen. Die maximale Trainingszeit pro Termin lag bei zwei Stunden.

2.1.1 PEG Transfer

Bei der Übung *PEG Transfer* (Abbildung 6 A) nahm der Versuchsteilnehmer nacheinander sechs ringförmige Objekte von einer Seite des *PEG Boards* mit einer Fasszange in der nicht-dominanten Hand auf, übergab sie in der Luft an die Fasszange der dominanten Hand, transferierte sie auf die gegenüberliegende Seite des *PEG Boards* und wiederholte diese Übung im Anschluss in die andere Richtung. Maximal standen 300 Sekunden Zeit zur Verfügung. Während dieser Übung dürften die einzelnen *PEGs* nicht herunterfallen oder aus dem Kamerablickfeld fallen [35]. Der Teilnehmer hatte für die Übung folgende Instrumente zur Verfügung: Die Gruppen 2D-gerade und 3D-gerade hatten zwei gerade Fasszangen, die Gruppen 2D-gebogen und 3D-gebogen eine gerade Fasszange und eine gebogenen DuoRotate Fasszange.
Der Performance-Score für *PEG Transfer* wurde folgendermaßen errechnet:
Performance-Score^{PEG} = maximal erlaubte Zeit (300 sec) - (benötigte Zeit zum Absolvieren der Übung in sec) – (10 x Anzahl an Fehlern)[28, 77]
Als ein Fehler wurde jeder Verlust eines *PEGs* gewertet. Fiel der *PEG* außerhalb des Gesichtsfeldes, so wurde dieses als zwei Fehler gewertet.

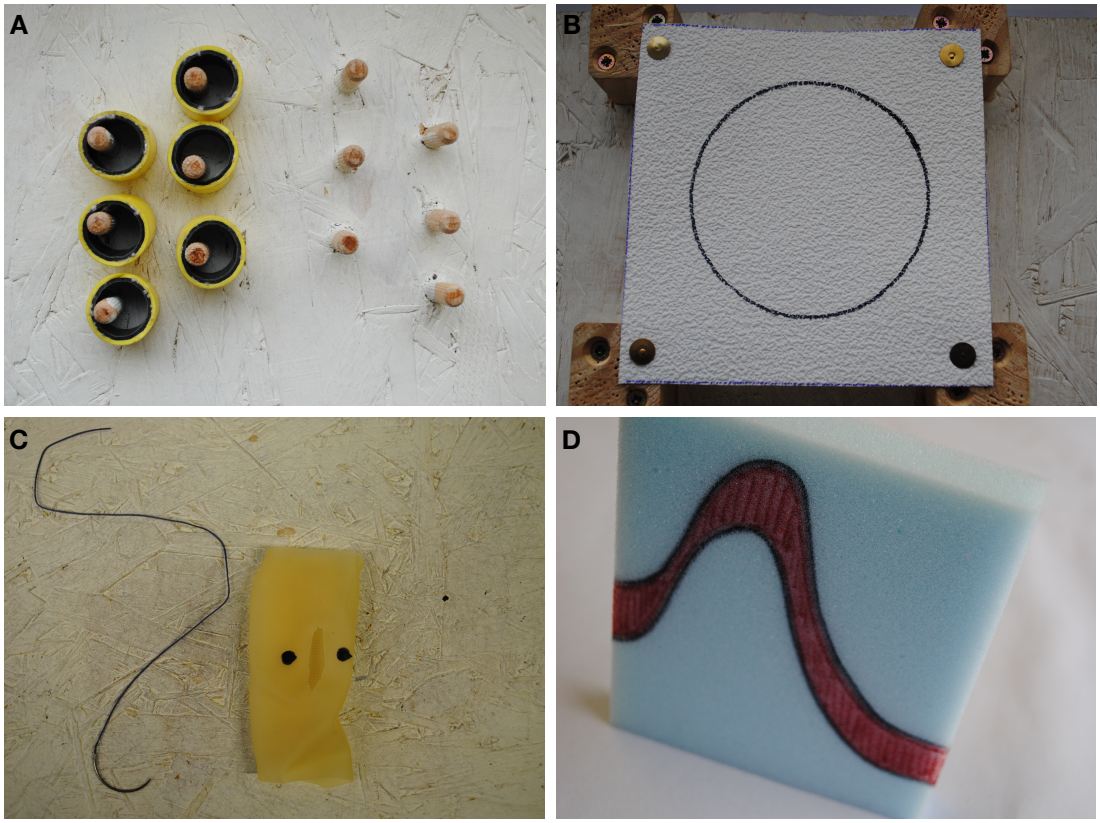


Abbildung 6: Übungen (A) *PEG Transfer* (B) *Pattern Cut* (C) *Intracorporeal Suture* (D) Transfer Übung.

2.1.2 Pattern Cut

Der Versuchsteilnehmer musste bei dieser Übung einen markierten Kreis mit einem Durchmesser von 7,4 cm aus einem aufgespannten zellulären Material ausschneiden (Abbildung 6 B). Die maximale Zeit zum Absolvieren dieser Übung lag bei 300 Sekunden. Zur Verfügung standen dem Teilnehmer folgende Instrumente: Gruppen 2D-gerade und 3D-gerade hatten jeweils eine gerade Fasszange und eine gerade Schere; die Gruppen 2D-gebogen und 3D-gebogen verwendeten eine gerade Fasszange in Kombination mit einer gebogenen Schere. Ziel der Übung war es, in möglichst kurzer Zeit einem möglichst akkuraten Kreis auszuschneiden [35]. Fehlschnitte über 5 mm sowohl innerhalb und außerhalb des markierten Kreises wurden gewertet.

Der Performance-Score wurde folgendermaßen berechnet:

Performance-Score^{Pattern} = maximal erlaubte Zeit (300sec) – benötigte Zeit zum Absolvieren der Übung (in sec) – [20x Fehler (Anzahl der Schnitte >5mm von dem markierten Kreis)][28]

2.1.3 Intracorporeal Suture

Ein 3 cm langes Gummiband mit einer schlitzförmigen Öffnung wurde innerhalb der Trainingsbox fixiert. Parallel zur schlitzförmigen Öffnung wurden zwei Zielpunkte markiert (Abbildung 6 C). Ziel der Übung war es, mit einem 19 cm langem Faden durch die markierten Punkte auf dem Gummiband zu nähen und anschließend einen chirurgischen Knoten durchzuführen. Dieser bestand aus einem doppelten Knoten, gefolgt von zwei einfachen Knoten, wobei mindestens einer der Knoten gegenläufig durchgeführt werden musste [35, 77]. Zum Absolvieren der Übung hatten die Versuchsteilnehmer maximal 600 Sekunden Zeit. Die Gruppen 2D-gerade und 3D-gerade nutzten für diese Übung einen geraden Nadelhalter und eine gerade Fasszange; die Gruppen 2D-gebogen und 3D-gebogen verwendeten einen geraden Nadelhalter und eine gebogene Fasszange.

Der Performance-Score wurde folgendermaßen berechnet:

Performance-Score^{Suture} = maximal erlaubte Zeit (600 sec) – benötigte Zeit zum Absolvieren der Übung (in sec) – [10 x Genauigkeitsfehler (mm außerhalb der markierten Punkte)] - [10 x Sicherheitsfehler (Rutschen des Knotens = 1 oder Lösen des Knotens =2)] [77]

2.1.4 Transfer Übung

Am Ende jeder Trainingssession absolvierten die Versuchsteilnehmer eine 40–minütige Transfer Übung, bei der sie ihre gelernten Fähigkeiten aus den FLS-Übungen anwenden könnten. Ziel der Transfer Übung war es, eine dreidimensionale Form entlang einer 1 mm breiten Linie aus einem 10 x 12 x 1,5 cm großen Schaumstoffstück auszuschneiden (Abbildung 6 D, Abbildung 7). Das Schaumstoffstück wurde aufrecht im Boxtrainer fixiert. Um die rote Form entlang der schwarzen Linie ausschneiden zu können, musste der Versuchsteilnehmer den Schaumstoff mithilfe von Fasszangen bewegen. Die Einstellung der Kamera durfte, analog einer echten Operation, von dem Probanden verändert

werden. So konnte beispielsweise der Zugang der Kamera mit dem eines Instrumentes getauscht werden.

Die Versuchsteilnehmer sollten bei der Transfer Übung, ähnlich der FLS-Übung *Pattern Cut,* möglichst akkurat entlang der markierten Linie schneiden. Fehlschnitte > 5mm in beide Richtungen der schwarzen Linie waren zu vermeiden. Nachdem die rote Form als ein Stück ausgeschnitten war, ähnlich einem Tumor, der entfernt wird, wurde dieser zur Seite gelegt und das Wundgebiet versorgt. Hierfür wurden die beiden verbleibenden Schaumstoffstücke (i, ii in Abbildung 7 A) mithilfe von drei Einzelknopfnähten zusammengenäht. Die Knoten wurden analog zur erlernten Technik der FLS-Übung *Intracorporeal Suture* durchgeführt. Im Unterschied zu der FLS-Übung waren keine Markierungen angezeichnet, an welchen der Faden durchgestochen werden sollte. Einzige Vorgabe war hier die möglichst stufenfreie Adaptation der Schaumstoffteile i und ii. Folgende Instrumente standen den Versuchsteilnehmern analog der FLS-Übungen zur Verfügung: Gruppen 2D-gebogen und 3D-gebogen zum Schneiden eine gebogene Schere und eine gerade Fasszange, zum Nähen ein gerader Nadelhalter und ein gebogene Fasszange; Gruppen 2D-gerade und 3D-gerade zum Schneiden eine gerade Schere und eine gerade Fasszange, zum Nähen ein gerader Nadelhalter und eine gerade Fasszange.

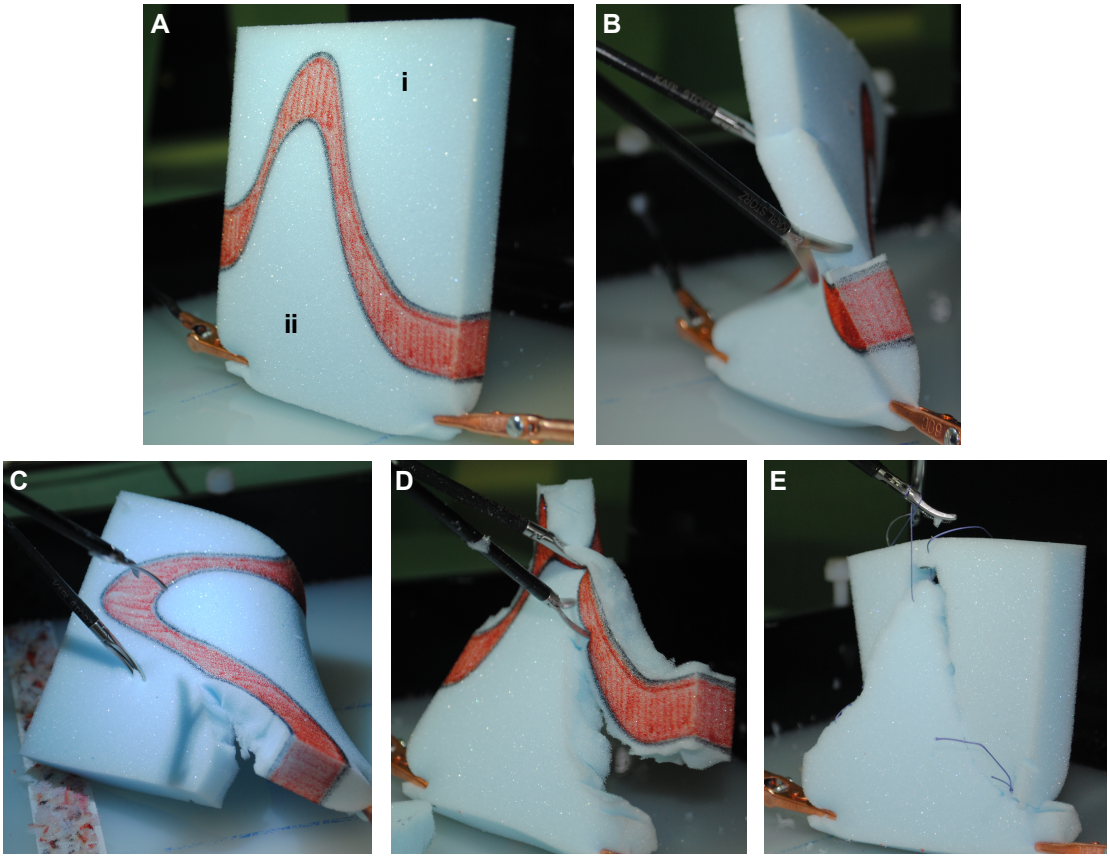


Abbildung 7: Transfer Übung (A) Der Schaumstoff wurde aufrecht im Boxtrainer aufgestellt. Um die rote Form entlang der schwarzen markierten Linie auszuschneiden war es notwendig, den Schaumstoff mit Fasszangen zu bewegen (B-D). Nachdem die Form vollständig ausgeschnitten war, wurden die beiden weiteren Schaumstoffteile (i, ii) möglichst stufenfrei mit drei Einzelknopfnähten zusammengenäht (E).

Die maximale Zeit zum Absolvieren dieser Übung lag bei 40 Minuten (2400 sec).

Der Performance-Score wurde folgendermaßen berechnet:

Performance-Score^{Transfer} = maximale Zeit (2400 sec) – benötigte Zeit zum Absolvieren der Übung (sec) – [Anzahl an roten Reststellen x Länge der roten Reststellen (in mm)] – [100 x roten Teilstücken ((≥2-1)] + [100 x Anzahl an korrekten Knoten + 50 x Anzahl an korrekten Nähten (nur wenn kein Knoten gemacht wurde)]

2.1.4.1 Entwicklung der Transfer Übung

Grundlage zur Entwicklung der Transfer Übung waren die etablierten FLS-Aufgaben. Jedoch sind die FLS-Übungen recht statisch und wenig komplex. In klinischen Situationen wie beispielsweise bei der laparoskopischen Rektumextirpation muss auf relativ kleinem Raum zirkulär Gewebe frei präpariert werden. Anders als bei den FLS-Übungen muss bei

einer echten Operation das Gewebe ständig bewegt werden, die Kameraeinstellung modifiziert werden und von unterschiedlichen Winkeln und Seiten präpariert werden. Zendejas und Kollegen betonten die Wichtigkeit für Trainierende komplexere und/oder klinisch nähere Übungen zu absolvieren [11]. Realitätsnahe Faktoren wie Umgebungsgeräusche, Stress oder veränderte Dynamik beispielsweise bei der Sicht seien bei der Übungsentwicklung zu berücksichtigen [11]. Zundel und Kollegen fordern ebenfalls kompliziertere Übungen, um insbesondere den Einfluss von 3D-Visualisierungstechnik zu untersuchen [50].

Orientiert wurde sich bei der Entwicklung des Trainingskurrikulums an Lernstrategien analog Mané et al [78]. In der *part training* Methode werden zunächst Teilschritte trainiert, die in unserem Kurrikulum durch die FLS-Übungen repräsentiert werden (*PEG Transfer, Pattern Cut, Intracorporeal Suture*). Die *part training* Methode zeigte deutliche Vorteile beim Erlernen von komplexen Bewegungsabläufen [78]. Nachdem die Trainierenden die Teilschritte in den FLS-Übungen trainiert haben, verbinden sie die gelernten Fähigkeiten und schneiden entlang einer 3D-Form und nähen in einem komplexen Winkel. Das Kurrikulum ist somit in Übungen mit steigender Schwierigkeit aufgebaut, von dem Trainierende laut weiterer Studien profitieren [6, 79].

2.1.5 NASA TLX

Im Anschluss an die Transferaufgabe füllten alle Versuchsteilnehmer an jedem ihrer Trainingstermine den *National Aeronautics and Space Administration Task Load Index* (NASA TLX) Fragebogen aus [80, 81]. In diesem Fragebogen beurteilen die Probanden auf sechs Subskalen ihre mentale, physische und zeitliche Forderung während der Übung sowie ihre wahrgenommene Arbeitsleistung (*Performance*), Anstrengung und Frustration (siehe Abbildung 8). Ebenso wird eine Gesamt-Arbeitsbelastung ermittelt. Der Fragebogen besteht aus einer 20-Punkt visuellen Analogskala (VAS), von 0-100 Punkten [81]. Der Fragebogen wurde ursprünglich von der NASA für die Untersuchung und Optimierung der Arbeitsbelastung bei Flugsimulationen entwickelt. Er ist breit validiert und findet heutzutage Anwendung im Bereich der Flugsimulation, in Flugkontroll-Studien, Aufmerksamkeitsstudien und im medizinischen Bereich [82]. Der NASA TLX gilt

als validiertes und bewährtes Instrument zur Messung der Arbeitsbelastung und ist eines der wenigen Instrumente, die die physische Belastung messen [83].

TITLE	ENDPOINTS	DESCRIPTIONS
MENTAL DEMAND	Low/High	How much mental and perceptual activity was required (e.g. thinking, deciding, calculating, remembering, looking, searching, etc.)? Was the task easy or demanding, simple or complex, exacting or forgiving?
PHYSICAL DEMAND	Low/High	How much physical activity was required (e.g. pushing, pulling, turning, controlling, activating, etc.)? Was the task easy or demanding, slow or brisk, slack or strenuous, restful or laborious?
TEMPORAL DEMAND	Low/High	How much time pressure did you feel due to the rate or pace at which the task or task elements occurred? Was the pace slow and leisurely or rapid and frantic?
PERFORMANCE	Good/Poor	How successful do you think you were in accomplishing the goals of the task set by the experimenter? How satisfied were you with your performance in accomplishing these goals?
EFFORT	Low/High	How hard did you have to work (mentally and physically) to accomplish your level of performance?
FRUSTRATION LEVEL	Low/High	How insecure, discouraged, irritated, stressed, and annoyed versus secure, gratified, content, relaxed, and complacent did you feel during the task?

Abbildung 8: Definition der Rating Scale und Endpunkte des NASA TLX [84].

Der NASA TLX besteht aus zwei Teilen. Im ersten Teil sind die Probanden dazu aufgefordert die Attribute der Subskalen, welche paarweise gegenübergestellt werden, zu priorisieren (siehe Abbildung 9 A). Sie müssen einschätzen, welche Subskala relevanter für ihre Arbeitsbelastung ist. Im Anschluss wird im zweiten Teil jede Subskala auf einer visuellen Analogskala (0-100) beurteilt (siehe Abbildung 9 B). Der Wert der Subskala auf der visuellen Analogskala multipliziert mit der Wichtung der Skala im ersten Teil, ergibt den sogenannten gewichteten Score. Alternativ können die Rohdaten der Subskalen interpretiert werden [80]. Der Wert entspricht dann der Beurteilung auf der visuellen Analogskala.

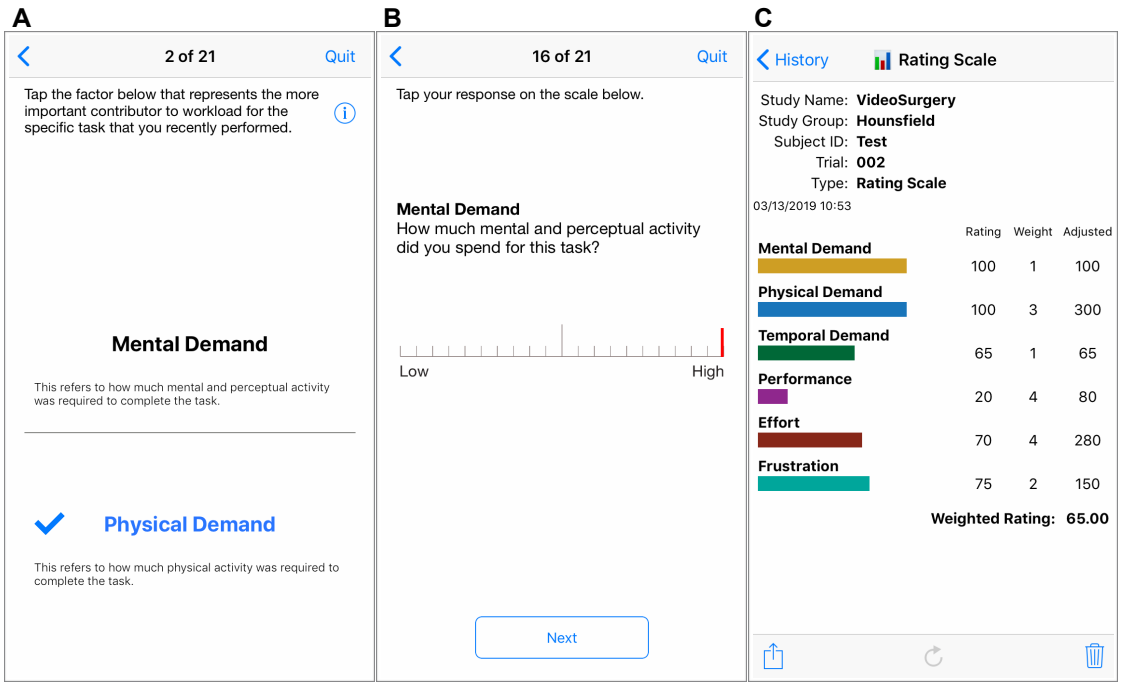


Abbildung 9: Der NASA TLX Fragebogen in elektronischer Version auf dem Handy. (A) Nach einer Einleitung in den Fragebogen und Definition der gefragten Begriffe erfolgt zunächst eine Gegenüberstellung von „Pärchen“. (B) Im zweiten Schritt erfolgt das *Rating*, bei der jede erfragte Anforderung auf einer visuellen Analogscala beurteilt werden kann. (C) Im Anschluss wird dem Supervisor von dem Programm eine Auswertung mit und ohne Gewichtung angezeigt.

Um die Gesamtarbeitsbelastung zu bestimmen, kann man ebenfalls die Rohdaten analysieren. Hierfür werden die Angaben der visuellen Analogskala der einzelnen Subskalen addiert oder gemittelt, um so die Gesamt-Arbeitsbelastung zu bestimmen [80]. Für eine gewichtete Gesamtarbeitsbelastung werden die angepassten, gewichteten Subskalen addiert und im Anschluss durch 15 dividiert.

Der Fragebogen ist in Papierform sowie in digitaler Form als App für Mobiltelefone erhältlich.

2.2 Material und Instrumenten-Setup

Alle Trainingsübungen wurden in einem Laparoskopie-Trainer n. SZABO-BERCI-SACKIER (Storz®) durchgeführt (siehe Abbildung 4). *PEG Transfer*, *Pattern Cut* und *Intracorporeal Suture* hatten eine fixierte Optik (Details siehe Material- und Herstellernachweis, Tabelle 5). Bei der Transfer Übung war es den Probanden erlaubt, die Optik nach ihren

Wünschen zu verstellen. Die Monitore wurden in einem Abstand von 1, 5 m und einem 180° Winkel vom Probanden platziert. Für die 3D-Sicht trugen alle Probanden dieser Gruppe Shutterbrillen.

Zum Abspielen der Lernvideos wurde neben dem Trainingsplatz ein weiterer Monitor platziert.

Für die Gruppen 2D-gerade und 3D-gerade wurden ausschließlich die konventionellen, geraden Laparoskopieinstrumente der Firma Storz verwendet (siehe Tabelle 4 und 5). Die Gruppe 2D-gebogen und 3D-gebogen verwendeten gerade Laparoskopie-Instrumente (Storz GmbH) und gebogene, DuoRotate Instrumente (Wolf GmbH) (siehe Tabelle 4).

	Beschreibung	Trainingsziel	Beurteilung	Equipment
PEG Transfer	PEG mit der einen Hand hochheben, an die andere Hand übergeben, auf der anderen Seite des *Pegboards* platzieren und zurück	Hand-Auge-Koordination, Beidhändigkeit, Tiefenwahrnehmung	Maximale Zeit: 300 sec Proficiency: 48 sec Fehler: 1 Fehler: Verlust des Pegs 2 Fehler: Peg außerhalb des Gesichtsfelds	Gerade (2D-gerade, 3D-gerade): Zwei gerade Fasszangen Gebogen (2D-gebogen, 3D-gebogen): gerade Fasszange, gebogene Fasszange
Pattern Cut	Kreis (Ø 7,4) aus einen 13x13cm großen Gewebestück schneiden	Gewebe aufspannen, Beidhändigkeit, Präzision	Maximale Zeit: 300 sec Proficiency: 98 sec Fehler: jeder Fehlschnitt >5mm innerhalb und außerhalb des markierten Kreises	Gerade (2D-gerade, 3D-gerade): gerade Fasszange, gerader Schere Gebogen (2D-gebogen, 3D-gebogen): gerade Fasszange, gebogener Schere
Intracorporeal Suture	Nadel korrekt in Nadelhalter einspannen, an markierten Stellen Naht in Gewebe setzen, 3facher-Knoten	Beidhändigkeit, räumliche Orientierung, Tiefenwahrnehmung, Präzision	Maximale Zeit: 600 sec Proficiency: 112 sec Fehler: Abweichung der Naht von den Markierungen >1mm, 1 Fehler Rutschen des Knoten, 2 Fehler für Lösen des Knotens	Gerade (2D-gerade, 3D-gerade): gerader Nadelhalter, gerade Fasszange, gerader Schere Gebogen (2D-gebogen, 3D-gebogen): gerader Nadelhalter, gebogene Fasszange, gebogene Schere
Transfer Übung	Markierte Form ausschneiden, verbleibende Schaumstoffstücke stufenfrei mit drei Nähten mit 3fach-Knoten zusammennähen	Tiefenwahrnehmung, Präzision, räumliche Orientierung, Bewegung im Raum	Maximale Zeit: 2400 sec Fehler: rote Reststelle (Länge und Anzahl), Form zerschnitten Pluspunkte: Anzahl an Nähten, Anzahl an korrekten Knoten	Gerade (2D-gerade, 3D-gerade): gerader Nadelhalter, gerade Fasszange, gerader Scherer Gebogen (2D-gebogen, 3D-gebogen): gerader Nadelhalter, gebogener Fasszange, gebogene Schere, gerader Fasszange

Tabelle 4: Simulationsübungen [8, 35], https://www.flsprogram.org/wp-content/uploads/2014/02/Proficiency-Based-Curriculum-Word-File-updated-February-2014.pdf.

Material	Hersteller
Gerade Instrumente	
Nadelhalter	26173 KL, KARL STORZ GmbH & co. KG, Tuttlingen, Deutschland
Fasszange	31351 MD CLICKline, Präparier-und Fasszange n. Kelly, KARL STORZ GmbH & co. KG, Tuttlingen, Deutschland
Schere	31351 MW CLICKline, Schere gezahnt, gebogen, konisch; KARL STORZ GmbH & co. KG, Tuttlingen, Deutschland
Schaft	Schaftlänge 30cm, Größe 5 mm, KARL STORZ GmbH & co. KG, Tuttlingen, Deutschland
Gebogenen Instrumente	
DuoRotate Handgriff	1152261, Richard Wolf GmbH, Knittlingen, Deutschland
DuoRotate Schaftrohr	5,8mm, SL380mm, 1152266, Richard Wolf GmbH, Knittlingen, Deutschland
DuoRotate Fasszange	Maryland, 5,8mm, 1152319, Richard Wolf GmbH, Knittlingen, Deutschland
DuoRote Schere	Metzenbaum, 5,8mm, 1152321, Richard Wolf GmbH, Knittlingen, Deutschland
2D-Technik	
Lichtleiter	fiber optic, 495 NB LOT VU61, KARL STORZ GmbH & co. KG, Tuttlingen, Deutschland
Lichtquelle	201331 01-1Kaltlicht-Fontäne XENON 300 SCB, KARL STORZ GmbH & co. KG, Tuttlingen, Deutschland
Kamera	Telecam 20212030, PAL, SN YU859210-H, KARL STORZ GmbH & co. KG, Tuttlingen, Deutschland
Optik	HOPKINS Forward-Oblique Telescope, 30° Optik, 26003 BA HOPKINS, SN 121TR5, KARL STORZ GmbH & co. KG, Tuttlingen, Deutschland
Monitor	WideViewTM HD, KARL STORZ GmbH & co. KG, Tuttlingen, Deutschland

3D-Technik	
Monitor	LMD-3251MT, LCD Monitor, 3100108, Richard Wolf GmbH, Knittlingen, Deutschland
Kamera	Endocam Epic 3DHD Kamera System, 5531001, 1100214043, Richard Wolf GmbH, Knittlingen, Deutschland
Licht	5162001, Endolight Lichtquelle LED 1.3 76W, 1100221268, Richard Wolf GmbH, Knittlingen, Deutschland
Optik	8934632, 3D-Endoskop 30°, 10mm NL 301mm, 1100211334, Richard Wolf GmbH, Knittlingen, Deutschland
Lichtleiter	80655030 Fusion Fiber Lichtleiter, 5mm GL 3m, 1214622, Richard Wolf GmbH, Knittlingen, Deutschland
Shutterbrille	HAMA® 109804, Monheim, Deutschland
Übungsmaterialien	
Schaumstoff	RG40M, 10x12x1,5 cm Größe
Gewebe *Pattern Cut*	Vliestapete, 13x13 cm
	Radius 3,7 cm; 5mm “Sicherheitsabstand” in beide Richtungen
Nahtmaterial	Polysorb™, 2-0, V-20 Taper, violet, 75 cm gekürzt auf 19 cm, CO-VIDIEN plc/Medtronic, Dublin, Irland
Gummiband *Intra-corporeal Suture*	Biogel® Diagnostik, Artikelnummer 5656, Größe 7, Mölnlycke Health Care GmbH, Düsseldorf, Deutschland, 5 cm Länge
Lernvideos	
Bildschirm	Fujitsu Computer Siemens, Germany, “LCD Monitor R20BA”; 27,2 cm x 43,7 cm Bildschirmgröße
Boxtrainer (alle Gruppen)	
Boxtrainer	Laparoskopie-Trainer n. SZABO-BERCI-SACKIER, 26348 , KARL STORZ GmbH & co. KG, Tuttlingen, Deutschland

Tabelle 5: Materialien- und Herstellernachweis.

2.3 Datenerhebung

Die Daten wurden durch den beobachten Versuchsleiter direkt während und nach der Versuchsdurchführung erhoben. Bei den FLS-Übungen wurde die Zeit erfasst und die Fehler in den einzelnen Übungen nach Fertigstellung der Übung oder maximale erlaubter Zeit beurteilt. Hierfür orientierte sich der Versuchsleiter an den Vorgaben des FLS-Kurrikulums [https://www.flsprogram.org/wp-content/uploads/2014/03/Revised-Manual-Skills-Guidelines-February-2014.pdf (08.03.2019)].

Zur Beurteilung der Transfer Übung wurden ebenfalls die Zeit und Fehler vom Versuchsleiter erfasst (siehe Anhang 9.5). Darüber hinaus wurden Parameter analog zu den FLS-Übungen erhoben wie die Anzahl an Fehlschnitten > 5mm über die schwarze Linie hinaus (vgl. *Pattern Cut*). Wenn die Aufgabe nicht beendet wurde, wurde ausgemessen, wie viel Millimeter der roten Form noch stehen geblieben waren. Hierfür wurden die Werte der Vorder- und Rückseite addiert und die Summe notiert. Weitere Parameter waren, ob das rotmarkierte Mittelstück im Ganzen ausgeschnitten wurde oder ob der Proband es in mehreren Teilstücken entfernt hatte. Rote Stellen, die außerhalb des 5 mm Abstand, auf den Stücken i und ii zu sehen waren, wurden gezählt (Parameter „Anzahl rote Stellen“) und ausgemessen (Parameter „Länge rote Stellen“ [in mm]) und als Anzahl sowie Summe registriert. Weitere Parameter zur Beurteilung der Transfer Übung waren die Anzahl an korrekten Knoten (analog der Bewertungskriterien der FLS-Übung *Intracorporeal Suture*) und die Anzahl der Nähte. Ein weiteres Bewertungskriterium zur Beurteilung des akkuraten Arbeitens war es, nach der Durchführung von drei Einzelknopfnähten, zu beurteilen ob die beiden Schaumstoffstück i und ii stufenfrei adaptiert waren.

Da es sich bei der Transfer Übung um eine neu entwickelte Übung handelt, orientierte man sich bei der Entwicklung des Performance-Scores an etablierten Scores [8, 38, 85]. Zusätzlich wurde eine subjektive Bewertung durchgeführt. Hierbei beurteilten vier verblindete Bewerter jede Transfer Übung. Folgenden Bewertungskriterien lagen den verblindeten Beurteilern vor (siehe Tabelle 6).

Punktzahl	Bewertungskriterien
0	• Rote Form komplett ausgeschnitten • 3 Knoten gesetzt • keine größeren Löcher in Stücken i und ii • keine großen roten Reststellen • keine oder nur minimale Stufe im Randbereich nach Adaptation der Stücke i und ii
1	• Rote Form komplett ausgeschnitten • 3 Knoten gesetzt • keine größeren Löcher in Stücken i und ii • teilweise roten Reststellen • minimale Stufe im Randbereich nach Adaptation der Stücke i und ii
2	• Rote Form komplett ausgeschnitten • 3 Knoten gesetzt • größeren Löcher in Stücken i und ii • teilweise roten Reststellen • Stufe im Randbereich nach Adaptation der Stücke i und ii
3	• Rote Form komplett ausgeschnitten • 2-3 Knoten
4	• Rote Form komplett ausgeschnitten • 1 Knoten
5	• Rote Form komplett ausgeschnitten • Nähte, keine kompletten Knoten
6	• Rote Form nicht komplett ausgeschnitten

Tabelle 6: Bewertungskriterien Transfer Übung

2.4 Statistische Auswertung

Alle erhobenen Daten wurden gesammelt und in einer Microsoft Excel für Windows (Microsoft Corporation, Redmond, Washington, USA) dokumentiert und anschließend zur statistischen Analyse in SPSS Version 25.0 (IBM SPSS Statistics, Armonk, New York, USA) überführt. Zunächst erfolgte eine explorative Datenanalyse mit Shapiro Wilk Test, um die Daten auf Normalverteilung zu untersuchen.

Ein p-Wert $\leq$0,05 wurde als statistisch signifikant gewertet. Hier wurde ein zweiseitiges Signifikanzniveau angewandt. Ein p-Wert <0,1 wurde als Trend gewertet.

Der Mann-Whitney U Test diente der Analyse von unabhängigen ordinalskalierten Variablen, sobald die Anforderungen für ein parametrisches Verfahren nicht erfüllt waren (bei nicht normalverteilten Daten). Dieses war bei der Auswertung der Performance-Scores und Fehler während der Übungen (*PEG Transfer, Pattern Cut, Intracorporeal Suture* und Transfer Übung) der Fall. Zur Analyse von kategorialen, demographischen Daten setzten wir den Pearson Chi-Quadrat Test ein. Hierbei wird getestet ob zwischen Häufigkeitsverteilungen ein Zusammenhang besteht. Die einfaktorielle Varianzanalyse (ANOVA) gefolgt von dem Post-hoc Test mit Bonferroni-Korrektur wurde zur Analyse der subjektiven Beurteilung der Transferaufgabe, der Zeit zum Absolvieren der Übungen (*PEG Transfer, Pattern Cut, Intracorporeal Suture,* Transfer Übung), der Altersstruktur, der Anzahl der Studiensemester und der Physikumsnote der Probanden angewandt.

Bei der Auswertung des NASA TLX wurden die Rohdaten analysiert. Für die Rohdaten wurden einzelnen Subskalen ohne Wichtung addiert um so die Gesamtarbeitsbelastung zu ermitteln [80]. Ebenso wurden die Subskalen individuell analysiert. Zur Auswertung der NASA TLX Daten (Gesamtarbeitsbelastung, Subskalen) diente der T-Test für unabhängige Stichproben. Eine Varianzhomogenität ist Voraussetzung des T-Tests und wurde mit dem Levene-Test der Varianzgleichheit ermittelt.

Die Spearman Korrelation wurde für die Korrelationsanalyse der Performance in der Transfer Übung im Bezug zur Beurteilung durch die verblindeten Untersucher, sowie zur Korrelationsanalyse der Beziehung der Performance-Scores (T5) der einzelnen Übungen untereinander, angewandt.

Die Korrelation nach Pearson wurde zur Korrelationsanalyse zwischen der Arbeitsbelastung (NASA TLX) und des Performance-Scores^{Transfer} sowie zwischen der Arbeitsbelastung und der Beurteilung durch die verblindeten Untersucher angewandt. Bei dieser Korrelationsanalyse wird der lineare Zusammenhang zwischen zwei intervallskalierten Variablen beurteilt. Der dabei errechnete Korrelationskoeffizient gibt die Stärke für die Korrelation der zwei Variablen an [86]. Der Korrelationskoeffizient r liegt zwischen +1 und -1. Bei positiven Werten spricht man von einer positiven oder gleichsinnigen Korrelation, bei negativen Werten von einer gegenläufigen Korrelation. So implizieren bei einer gleichsinnigen Korrelation hohe Werte der einen Variablen hohe Werten der zweiten Variablen (https://www.methodenberatung.uzh.ch/de/datenanalyse_spss/zusammenhaenge/korrelation.html.). Liegt r nahe an +1 oder -1, so liegt ein starker Zusammenhang zwischen den Variablen vor. Je näher r an 0 liegt, desto schwächer ist der Zusammenhang [86].

3 Ergebnisse

3.1 Demographische Daten

Die an der Studie teilnehmenden Novizen (n=48) waren Studenten der Humanmedizin im klinischen Semester (5-13. Fachsemester, MW $\pm$ SD 9,4 $\pm$ 2,1, Median 9) im Alter von 22-35 Jahren (MW $\pm$ SD 25,8 $\pm$ 3,3, Median 24,5) (vgl. Anhang 9.1.1, Tabelle 14). 66,7% von ihnen waren weiblich. Mehr als die Hälfte der Novizen spielte ein Musikinstrument (66,7%, n=32) wobei Tasteninstrumente mit 41,2% (n=14) den Großteil ausmachten. Virtual Reality Produkte wurden von 93,3% nicht genutzt (n=42). Video-Spiele spielten 58,3% kaum (n=28), nur 14,6% (n=7) von ihnen spielten Video-Spiele mehr als zwei Stunden pro Woche. Strategiecomputerspiele wurden öfter gespielt als Jump-and-Run-Spiele.

75% (n=36) der Novizen trieben regelmäßig Sport. Fitness- und Ausdauertraining waren besonders verbreitet (50%, n=13), gefolgt von Fitness- und Ausdauertraining in Kombination mit Ballsport (15,4%, n=4) oder Reiten (15,4%, n=4). 64,6% (n=31) der Novizen trieb zwischen zwei bis sechs Stunden Sport wöchentlich. 58,3 % (n=28) spielten gerne Geschicklichkeitsspiele wie Jenga oder Mikado. Der Zauberwürfel wird von einem Großteil kaum gespielt (83,3%, n=40).

Besonders relevant waren auch erhobene Daten bezüglich räumlicher Orientierung und Stereoskopie: 64,6% geben an, über einen guten räumlichen Orientierungssinn zu verfügen (n=31), 66,7% können laut eigenen Angaben gut 3D sehen (n=32). 54,2 % nutzte beim Einparken mit dem Auto lieber den Spiegel, als sich umzudrehen (n=26).

Im Vergleich der Versuchsgruppen untereinander zeigten sich keine signifikanten Unterschiede bezüglich der demographischen Daten (siehe Tabelle 7 und 8 und Anhang 9.1, Tabelle 14) (Einfaktorielle Varianzanalyse ANOVA: Alter, Semesterzahl, Physikumsnote; Chi-Quadrat-Test nach Pearson: Geschlecht und weitere demographische Parameter; Daten nicht gezeigt).

	Insgesamt (n=48)	2D-gerade (n=12)	3D-gebogen (n=12)	3D-gerade (n=12)	2D-gebogen (n=12)	p-Wert
Geschlecht, weiblich (n)	66,7% (32)	58,3% (7)	83,3% (10)	66,7% (8)	58,3% (7)	0,522
Alter, Jahre MW ± SD (Range; Median)	25,8 ± 3,3 (22-33; 24,5)	26,2 ± 3,4 (22-32; 25)	26,2 ± 3,6 (22-35; 25,5)	25,3 ± 3,8 (22-33; 24)	26,5 ± 4,3 (22-34; 24,5)	0,804
Semester MW ± SD (Range; Median)	9,4 ± 2,1 (5-13; 9)	9,5 ± 1,3 (7-12; 9)	9,8 ± 2,5 (5-13; 10)	8,18 ± 1,9 (5-11; 9)	9 ± 1,5 (6-11; 9)	0,273
P-Score Einstufung MW ± SD (Range; Median)	-151,4 ± 146,9 (-420-205; -150,8)	-117,3 ± 162,4 (-400-179; -107,5)	-189,1 ± 139 (-420-84; -215)	-121,1 ± 150,1 (-390-205; -127,5)	-178,1 ± 118 (-400-3; -190,75)	Siehe Tab.8

Tabelle 7: Demographische Daten der Probanden nach Gruppeneinteilung und Ergebnis des Einstufungstests. Zwischen den einzelnen Gruppen zeigte sich kein signifikanter Unterschied hinsichtlich des Geschlechts, Alters, Semesterzahl und des Performance-Scores des Einstufungstests. Der Performance-Score^{Einstufung} wurde aus der Summe der Performance-Scores der beiden Übungen *Pattern Cut* und *Intracorporeal Suture* gebildet, welchen die Versuchsteilnehmer als Einstufungstest durchführten (siehe 2.1). (Geschlecht: Chi-Quadrat Test; Alter, Semesterzahl: Kruskal-Wallis). MW: Mittelwert, P-Score: Performance-Score, SD: Standardabweichung.

Performance-Score ^{Einstufung}: Gruppenvergleich	**p-Wert**
2D gerade vs. 3D gebogen	0,667
2D gerade vs. 2D gebogen	0,920
2D gerade vs. 3D gerade	0,944
3D gebogen vs. 3D gerade	0,575
3D gebogen vs. 2D gebogen	0,779
3D gerade vs. 2D gebogen	0,841

Tabelle 8: Gruppenvergleich der Performance-Scores ^{Einstufung}. Zwischen den einzelnen Gruppen zeigte sich kein signifikanter Unterschied (Mann-Whitney U Test).

3.2 Konventionelle Laparoskopie mit geraden und gebogenen Laparoskopie-Instrumenten

Ist laparoskopisches Arbeiten unter 2D-Sicht mit gebogenen Laparoskopie-Instrumenten hinsichtlich Performance, Zeit und gemachten Fehlern erschwert im Vergleich zu konventionellen, geraden Instrumenten?

Die beiden Gruppen 2D-gerade und 2D-gebogen wurden in den einzelnen Übungen hinsichtlich ihrer Performance (Mann-Whitney U Test), der benötigten Zeit zum Absolvieren der Übungen (einfaktorielle Varianzanalyse ANOVA) und der gemachten Fehler verglichen (Mann-Whitney U Test) (siehe Anhang 9.1).

Bei der Übung *PEG Transfer* zeigte sich bei den Übungszeitpunkten T2 und T3 eine signifikant bessere Performance der Gruppe mit den geraden Laparoskopie-Instrumenten (T2: **p=0,024**; T3: **p=0,028**; siehe Abbildung 10 A). Beim Trainingszeitpunkt T5 ließ sich eine Tendenz zur besseren Performance der Gruppe 2D-gerade zeigen (p=0,06). Die Gruppe mit den geraden Instrumenten absolvierte die *PEG Transfer Übung*en schneller (T3: p= 0,062; T4: p= 0,099; T5: **p=0,041**; siehe Abbildung 10 B). Beim Trainingszeitpunkt T3 ließ sich zudem eine Tendenz zu weniger Fehlern in der Gruppe 2D-gerade feststellen (p=0,061). Die Ergebnisse sind im Anhang 9.1.2 tabellarisch dargestellt (Tabellen 15-20).

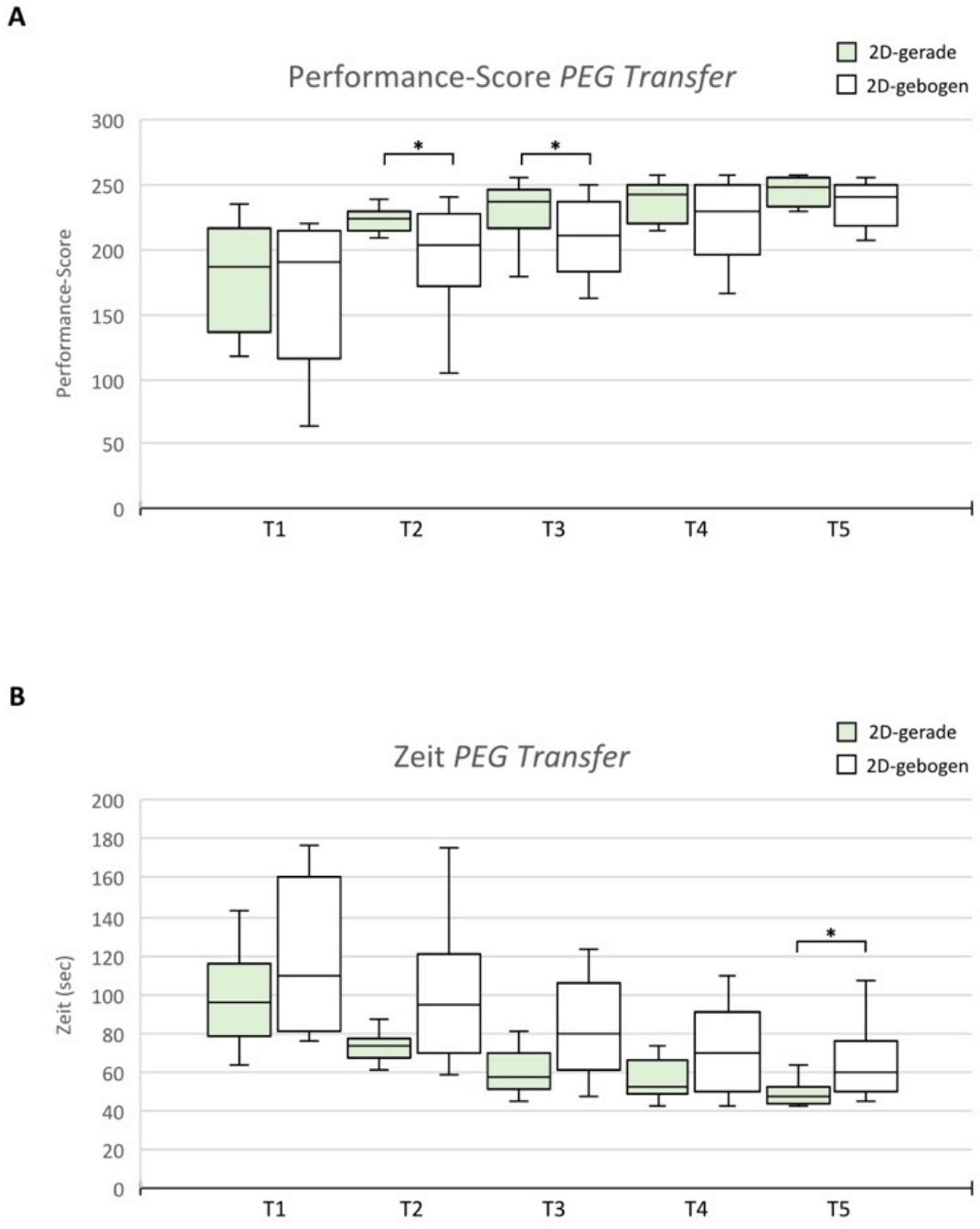


Abbildung 10: ***PEG Transfer*** (A) Zum Trainingszeitpunkt T2 und T3 zeigte sich eine bessere Performance der Gruppe 2D-gerade (Mann-Whitney U Test). (B) Die Gruppe 2D-gerade absolvierte den *PEG Transfer* signifikant schneller zum Trainingszeitpunkt T5 (einfaktorielle Varianzanalyse ANOVA). Vgl. Anhang 9.1.2. *p<0,05.

Auch in der Übung *Intracorporeal Suture* zeigte sich eine signifikant bessere Performance der Gruppe mit geraden Laparoskopie-Instrumenten (T1: **p=0,028**; T2: **p=0,007**; T3: **p=0,002**; T5: **p=0,012; siehe Abbildung 11 A**). Die Übung wurde von der Gruppe 2D-gerade schneller (T2: **p=0,03**; T3: **p=0,001**; T5: p=0,087; siehe Abbildung 11B) und mit weniger Fehlern durchgeführt (T1: **p=0,008**; T2: p=0,6, T5: **p=0,033**). Die Ergebnisse sind im Anhang 9.1.4 tabellarisch dargestellt (Tabellen 27-32).

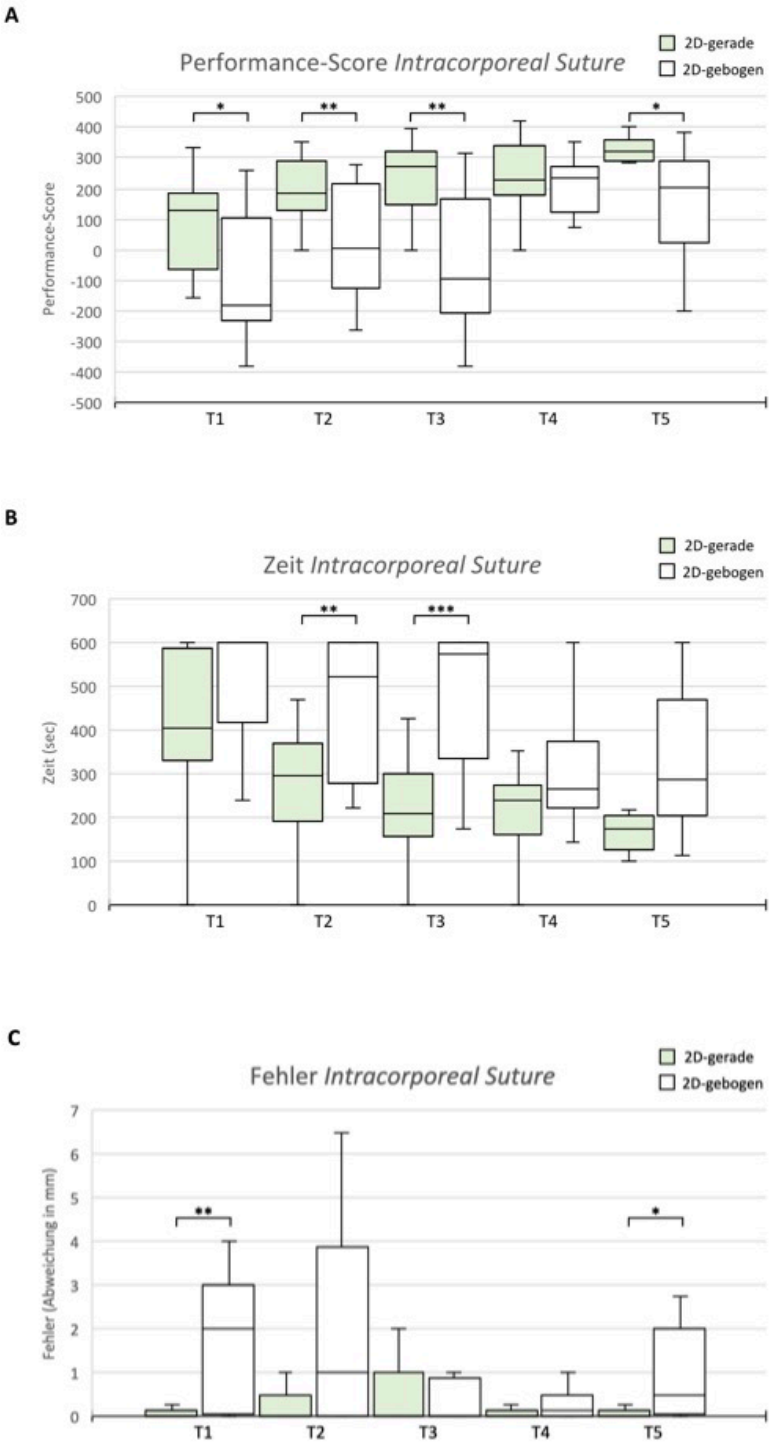


Abbildung 11: ***Intracorporeal Suture:*** (A) An Trainingszeitpunkt T1, T2, T3 und T5 zeigt die Gruppe mit den geraden Laparoskopie-Instrumenten eine signifikant bessere Performance (Mann-Whitney U Test), (B) zu Trainingszeitpunkt 2 und 3 führten sie die Übung schneller durch, als die Novizen mit gebogenen Laparoskopie-Instrumenten (einfaktorielle Varianzanalyse A-NOVA). (C) An Trainingszeitpunkt 1 und 5 wurden von den Novizen mit geraden Laparoskopie-Instrumenten weniger Fehler gemacht (Mann-Whitney U Test). Vgl. Anhang 9.1.4. *p<0,05; **p<0,01; ***p<0,001.

Bei den Übungen *Pattern Cut* und der Transfer Übung zeigte sich kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen hinsichtlich der Performance und Zeit. Bei der Übung *Pattern Cut* fand sich ein Trend zu weniger Fehlern in der Gruppe der Trainierenden mit den geraden Instrumenten (T5: p= 0,06). Bei der Transfer Übung wurden von der Gruppe 2D-gerade weniger Fehler gemacht (Summe der Fehlschnitte: T1: **p=0,02**; T4: p=0,078; Anzahl Restgewebe: T2: **p=0,045**; T3: **p=0,006**; T4: **p=0,005**; T5: **p=0,005**; Summe Restgewebe: T3: **p=0,005**; T4: p=0,068; T5: **p=0,006**). Bei der Transfer Übung fällt auf, dass die Übung von vielen Versuchsteilnehmern in der vorgegebenen Zeit nur unvollständig bearbeitet werden konnte (vgl. Anhang 9.1.5 Tabelle 33). Betrachtet man das Gesamtkollektiv aller Versuchsteilnehmer (n=48), so absolvierten zum Trainingszeitpunkt 1 nur drei Novizen die Übung unter 2400 Sekunden (T1 <2400sec: n=3; T2 <2400sec: n=9; T3 <2400sec: n=5; T4 <2400sec: n=17; T5 <2400sec: n=25). Doch bei der Analyse der Performance ist die Zeit nur ein Teilaspekt (vgl. Performance-Score^{Transfer}, 2.1.4.1). Aus diesem Grund wurde die Zeit, der Performance-Score und die Fehler einzeln untersucht.

Hinsichtlich der Arbeitsbelastung während der Transfer Übung, die mithilfe des NASA-TLX Fragebogen ermittelt wurde, zeigte sich kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen (T-Test für unabhängige Stichproben). Lediglich hinsichtlich der physischen Anstrengung (*Physical Demand*), der Selbsteinschätzung der Performance und der mentalen Anstrengung (gewichtet) konnten Tendenzen festgestellt werden (Anhang 9.1.6 Tabelle 39 und 40). Hier wurde die physische (T3: p=0,076; T4: p=0,079) und die mentale Anstrengung (T5: p=0,055) von der Gruppe mit den gebogenen Instrumenten stärker eingeschätzt. Die Performance wurde von der Gruppe mit den geraden Instrumenten als schlechter eingeschätzt als von der Gruppe mit den gebogenen Instrumenten (T5: p=0,082).

Zusammenfassend zeigte die Gruppe, die mit den geraden Instrumenten trainierte, eine bessere Performance; sie absolvierte zwei der vier Übungen schneller und drei der vier Übungen mit weniger Fehlern als die Gruppe mit den gebogenen Instrumenten. Die Arbeitsbelastung wurde von der Gruppe 2D-gebogen als höher eingeschätzt.

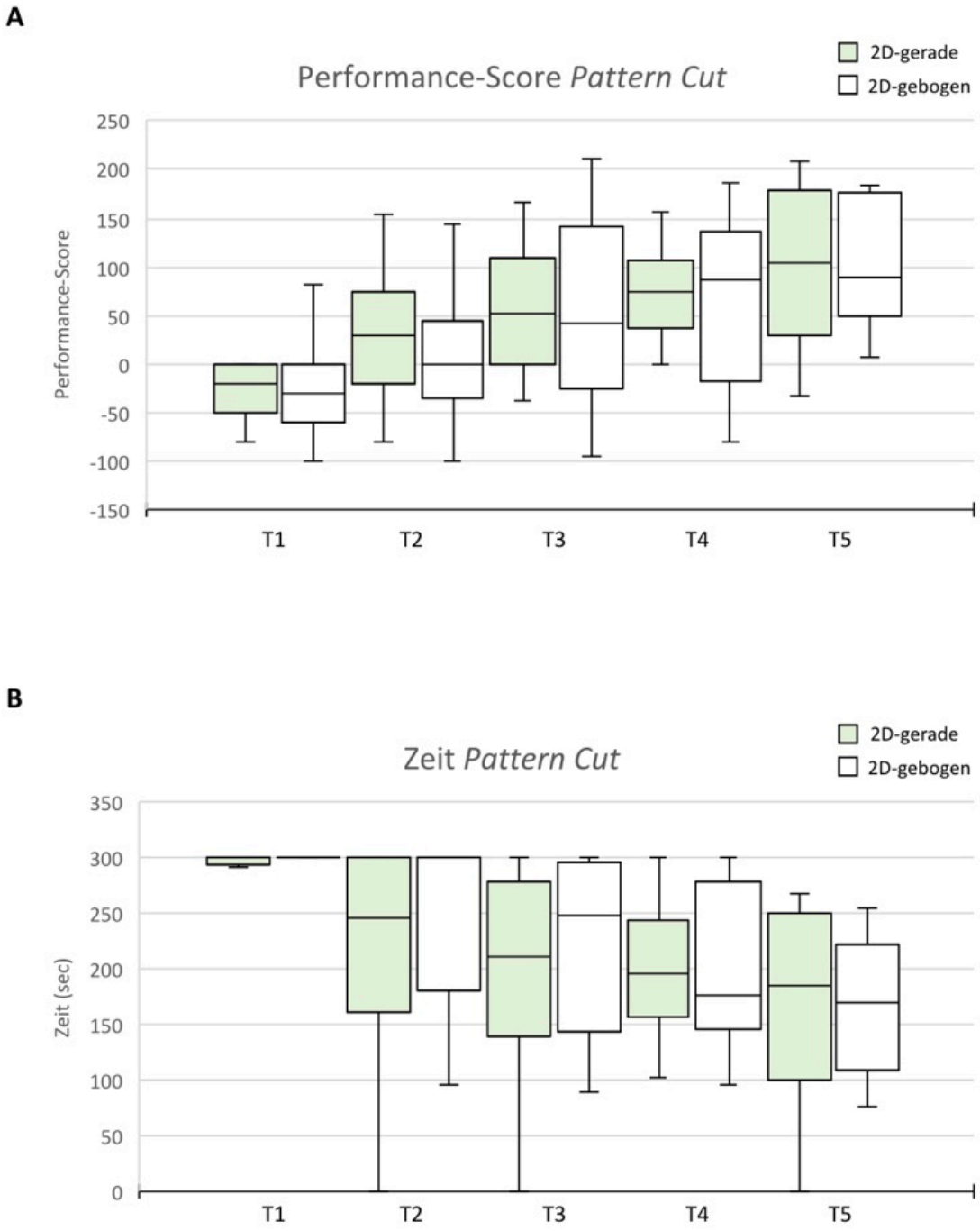


Abbildung 12: ***Pattern Cut:*** Es zeigt sich kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen (Mann-Whitney U-Test: Performance; einfaktorielle Varianzanalyse A-NOVA: Zeit).

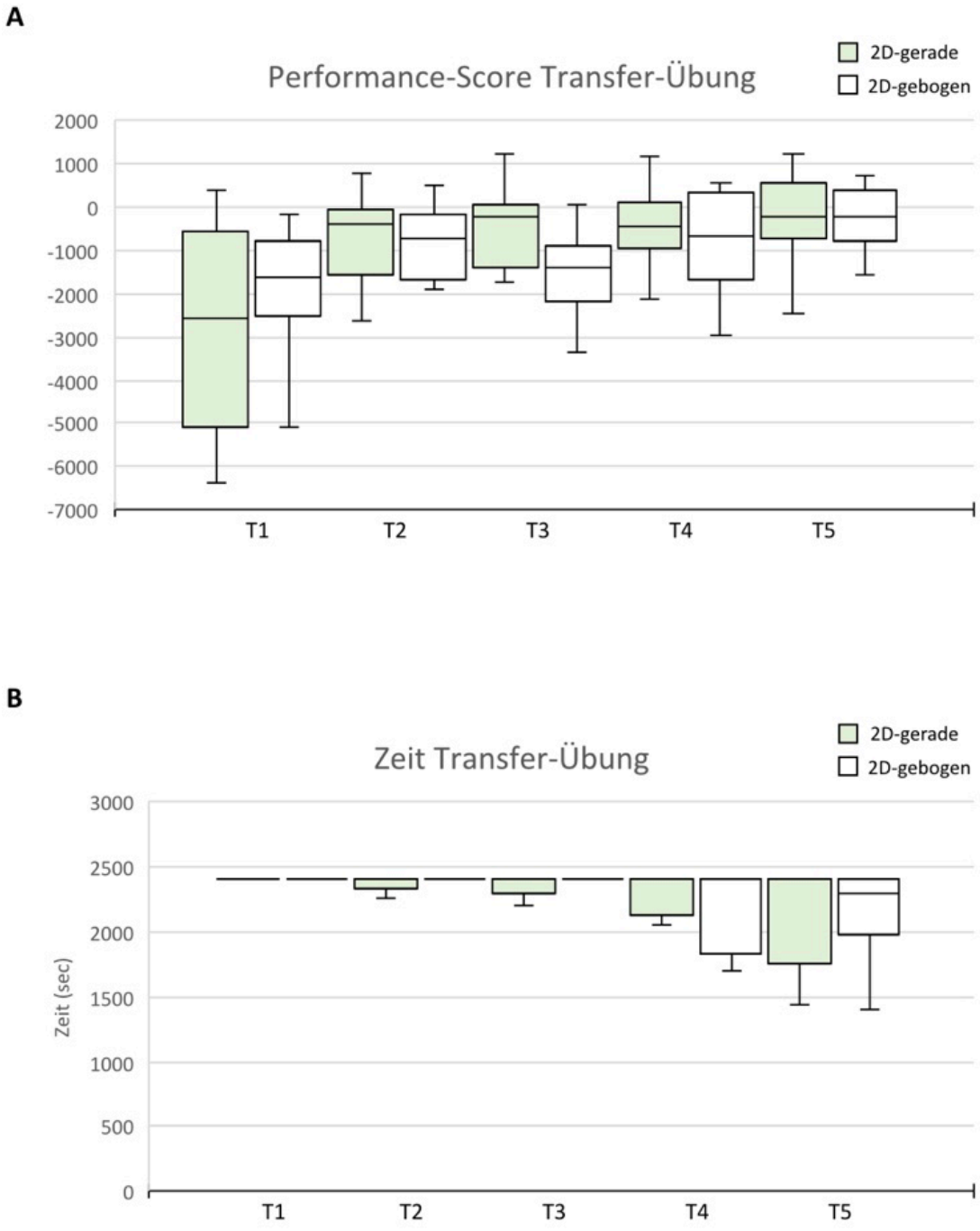


Abbildung 13: Transfer Übung: Es zeigt sich kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen (Mann-Whitney U-Test: Performance; einfaktorielle Varianzanalyse A-NOVA: Zeit).

3.3 Einfluss von 3D auf die laparoskopische Performance

Ist laparoskopisches Operieren leichter unter Anwendung von 3D-Technik im Vergleich zu 2D-Visualisierungssystemen?

Zur Analyse dieser Fragestellung wurden die beiden Gruppen mit geraden Instrumentensätzen verglichen. Die eine Gruppe verwendete eine 2D- (2D-gerade), die andere Gruppe eine 3D-Visualisierungstechnik (3D-gerade). Die beiden Gruppen 2D-gerade und 3D-gerade wurden in den einzelnen Übungen hinsichtlich ihrer Performance (Mann-Whitney U Test), der benötigten Zeit zum Absolvieren der Übungen (einfaktorielle Varianzanalyse ANOVA) und der gemachten Fehler verglichen (Mann-Whitney U Test).

Bei der Übung *PEG Transfer* zeigte sich zwischen den beiden Gruppen kein Unterschied hinsichtlich der Performance, Zeit- und Fehleranalyse (vgl. Abbildung 16; Mann-Whitney U Test: Performance, Fehler; einfaktorielle Varianzanalyse: Zeit). Bei *Pattern Cut* fiel eine bessere Performance der 3D Gruppe am Trainingszeitpunkt T4 auf (T3: p= 0,089; T4: **p=0,02**; vgl. Abbildung 14 A). Jedoch fand sich eine Tendenz zu mehr Fehlern in der 3D Gruppe bei *Pattern Cut* (T5: p= 0,089).

Hinsichtlich der Zeit, die zum Absolvieren der Übungen benötigt wurde, ließ sich bei keiner der vier Übungen ein Unterschied nachweisen.

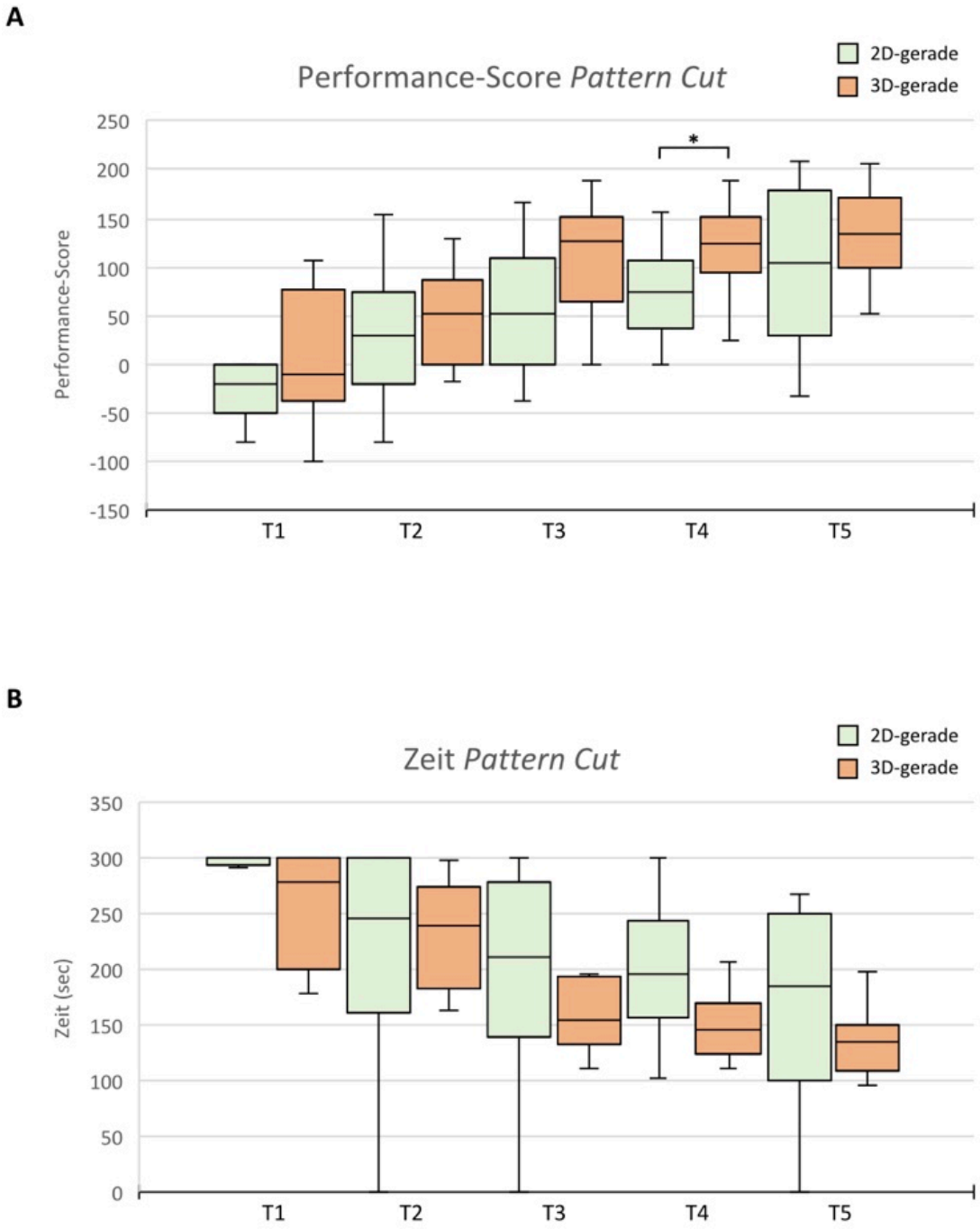


Abbildung 14: *Pattern Cut*: (A) An Trainingszeitpunkt T4 zeigt die Gruppe mit dem 3D-Visualisierungssystem eine signifikant bessere Performance als die 2D-Gruppe (Mann-Whitney U Test). (B) Hinsichtlich der Zeit, in der die Übung absolviert wurde, wurde kein Unterschied zwischen den Gruppen festgestellt (einfaktorielle Varianzanalyse ANOVA). *p<0,05.

Bei der Übung *Intracorporeal Suture* zeigte sich eine Tendenz zur besseren Performance der 3D-Gruppe am Trainingszeitpunkt T3 (p=0,06; vgl. Abbildung 17) und bei der Transfer Übung am Trainingszeitpunkt T1 (p=0,052; vgl. Abbildung 18). Die Gruppe 3D-gerade machte bei der Transfer Übung weniger Fehler als die 2D-Gruppe (Fehlschnitte: T1: **p= 0,039**; T5: p=0,06; Summer der Fehlschnitte: T1: **p=0,014**; T4: **p=0,033**; vgl. Tabelle 37 und 38 im Anhang 9.1.5). Jedoch zeigte sich eine Tendenz zu mehr Restgewebe bei der 3D-Gruppe (Restgewebe: T3: p=0,068). Die Arbeitsbelastung hinsichtlich der physischen Anforderung wurde signifikant geringer empfunden in der 2D-Gruppe am Trainingszeitpunkt T3 und T4 (T3: **p=0,002**; T4: **p=0,028**; vgl. Abbildung 15; T-Test für unabhängige Stichproben). Bei der Anstrengung (*Effort* gewichtet, Daten nicht gezeigt) gab die 3D-Gruppe einen Trend zur höheren Anstrengung als die 2D-Gruppe am Trainingszeitpunkt T2 (p=0,07) an.

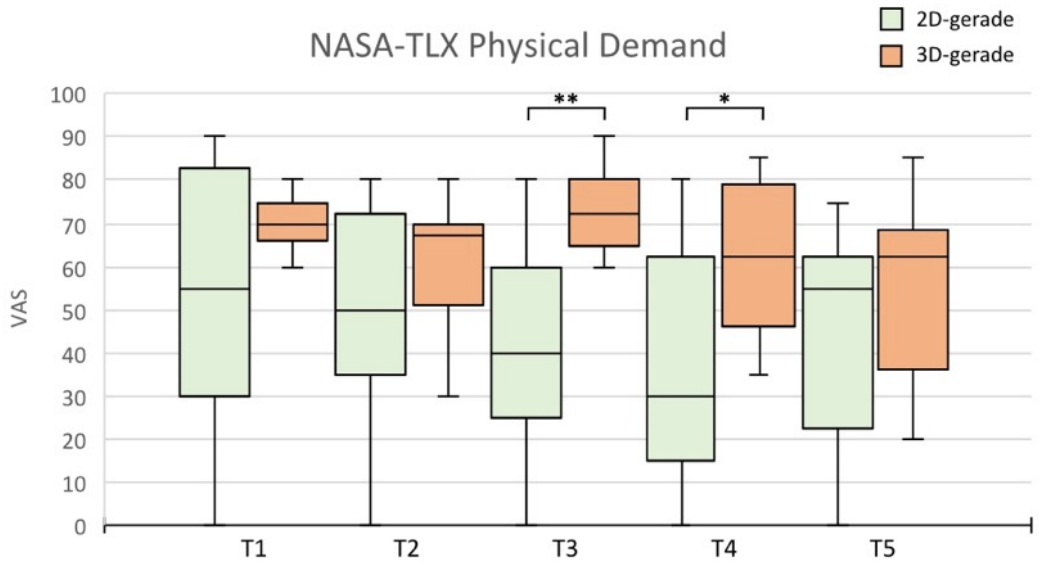


Abbildung 15: *Physical Demand*: Die körperliche Anstrengung wurde von der Gruppe mit 2D-Visualisierungstechnik niedriger empfunden als in der Gruppe, die die 3D-Technik nutzte (T-Test für unabhängige Stichproben). VAS: Visuelle Analogscala 0-100; *p<0,05; **p<0,01.

Zusammenfassend zeigt sich im Vergleich zwischen 2D- und 3D-Visualisierungssystem kein eindeutiger Vorteil eines Systems. Bei der Übung *PEG Transfer* sind die Gruppen vergleichbar. Bei *Pattern Cut* ergab sich eine bessere Performance in der 3D-Gruppe,

jedoch eine Tendenz zu mehr Fehlern. Auch bei den Übungen *Intracorporeal Suture* und der Transfer Übung wurden Tendenzen zur besseren Performance der 3D-Gruppe gesehen. Zudem machte die 3D-Gruppe in der Transfer Übung weniger Fehler.

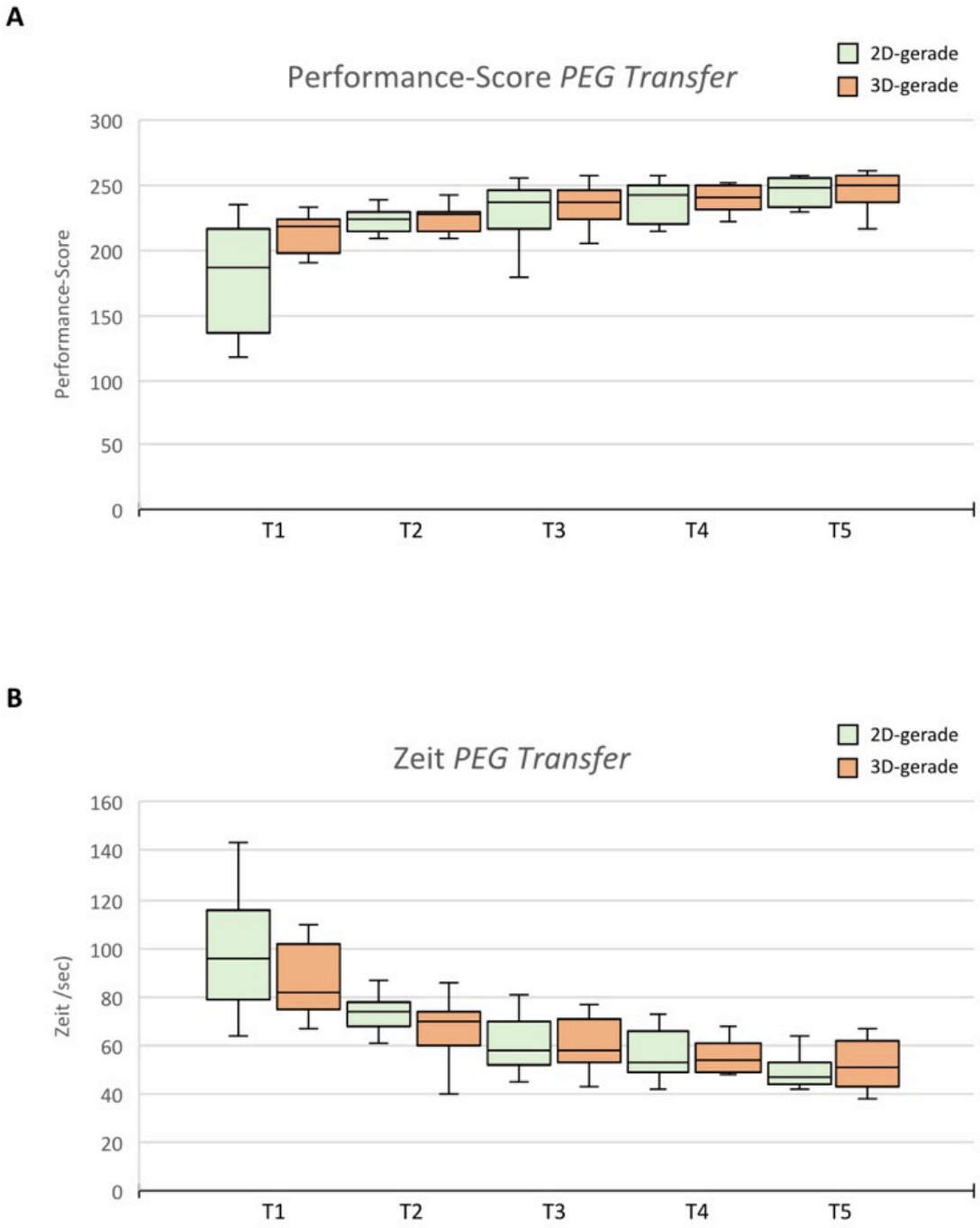


Abbildung 16: ***PEG Transfer:*** Es zeigt sich kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen. (Mann-Whitney U-Test: Performance; einfaktorielle Varianzanalyse A-NOVA: Zeit).

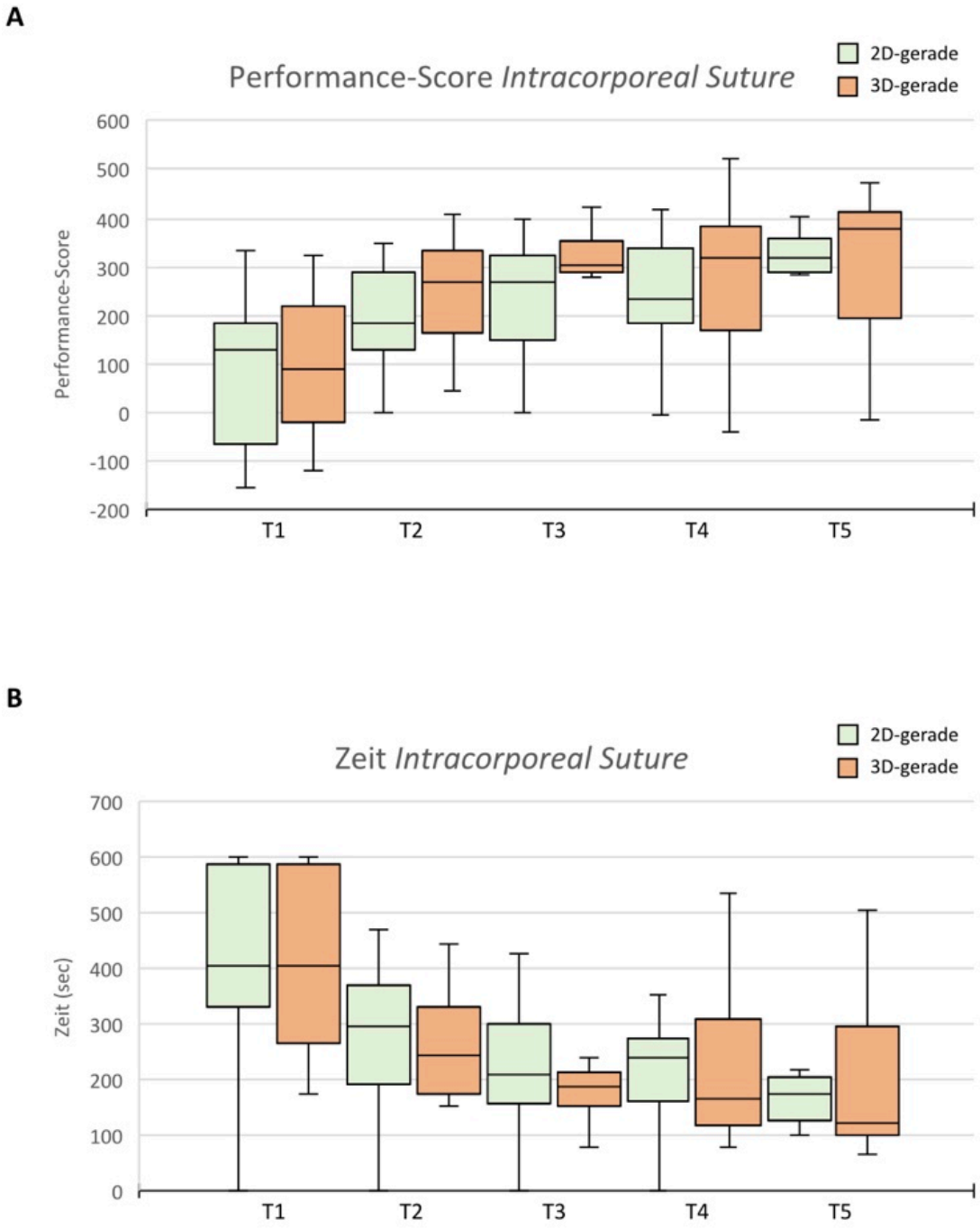


Abbildung 17: ***Intracorporeal Suture:*** Es zeigt sich kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen. (Mann-Whitney U-Test: Performance; einfaktorielle Varianzanalyse ANOVA: Zeit).

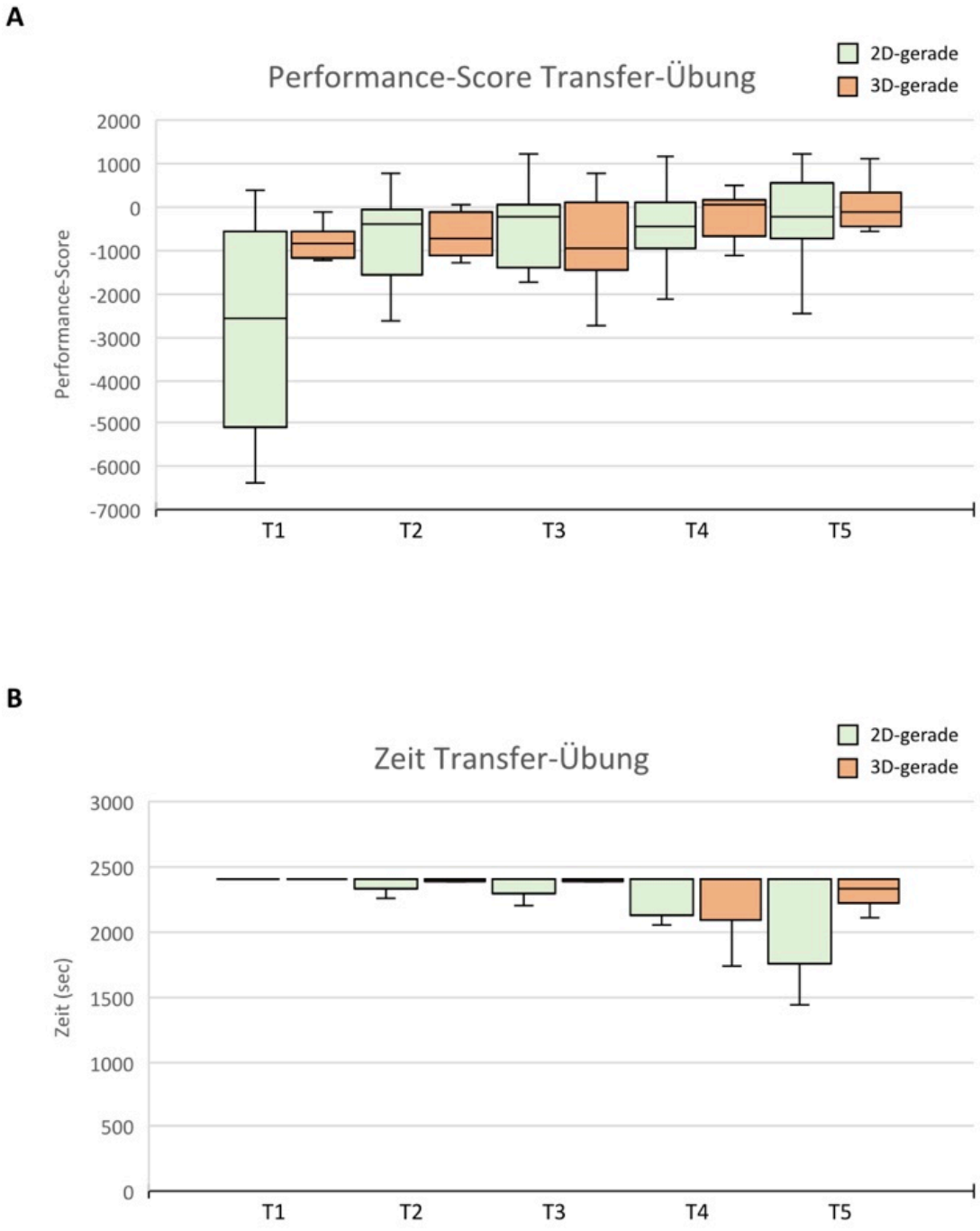


Abbildung 18: Transfer Übung: Es zeigt sich kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen. (Mann-Whitney U-Test: Performance; einfaktorielle Varianzanalyse A-NOVA: Zeit).

3.4 3D-Visualisierung beim Einsatz von gebogenen Instrumenten

Ist 3D-Visualisierung vorteilhaft beim Einsatz von komplexen Laparoskopie-Instrumenten wie den gebogenen Instrumenten?

Zur Betrachtung dieser Fragestellung wurden die beiden Gruppen, die gebogene Laparoskopie-Instrumente verwendeten, im 2D und 3D-Visualisierungsvergleich analysiert. Die beiden Gruppen 2D-gebogen und 3D-gebogen wurden in den einzelnen Übungen hinsichtlich ihrer Performance (Mann-Whitney U Test), der benötigten Zeit zum Absolvieren der Übungen (einfaktorielle Varianzanalyse ANOVA) und der gemachten Fehler verglichen (Mann-Whitney U Test).

Hier zeigte sich in drei von vier Übungen ein signifikanter Vorteil hinsichtlich der 3D-Visualisierungstechnik. Im *Peg Transfer* fand sich in der 3D-Gruppe eine signifikant bessere Performance an Trainingszeitpunkt T1 und T3 (T1: **p=0,01**; T3: **p=0,033**) und eine Tendenz am Trainingszeitpunkt T5 (p=0,068). Die Übung wurde von der 3D-Gruppe schneller absolviert (T1: **p=0,032**; siehe Abbildung 19 und Anhang 9.1.2).

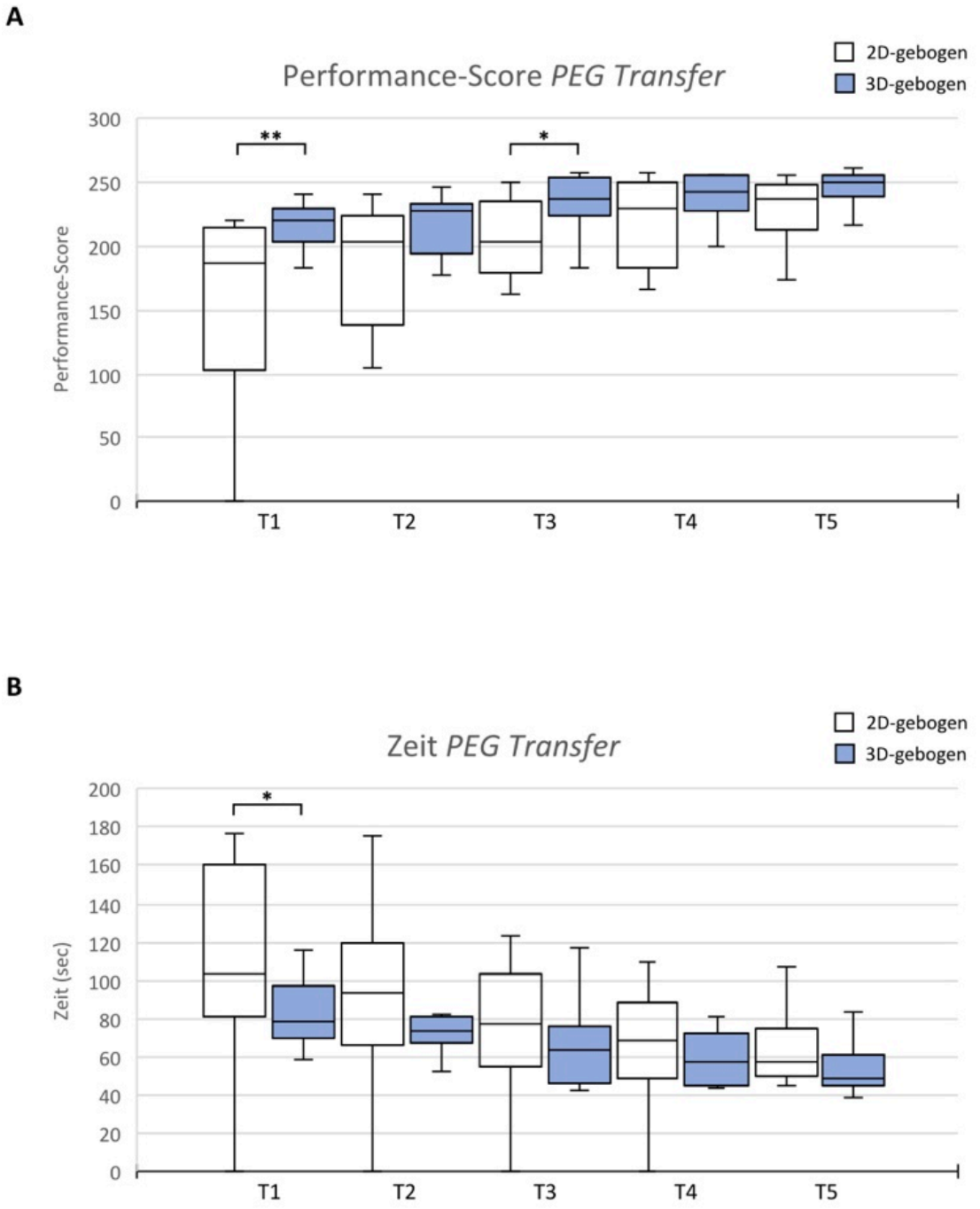


Abbildung 19: ***PEG Transfer*** (A) An Trainingszeitpunkt T1 und T3 zeigt die Gruppe unter Verwendung des 3D-Visualisierungssystems eine signifikant bessere Performance (Mann-Whitney U Test), (B) zu Trainingszeitpunkt T1 führten sie die Übung schneller durch, als die Novizen mit 2D-Optik (einfaktorielle Varianzanalyse ANOVA).Siehe Anhang 9.1.2. *p<0,05; **p<0,01.

Bei *Intracorporeal Suture* erwies sich bei der Performance am Trainingszeitpunkt T3 und T5 eine Überlegenheit der 3D-Gruppe (T3: p=0,028; T5: p=0,017). Auch in dieser Übung war die 3D-Gruppe schneller (T3: **p=0,039**; siehe Abbildung 20). In der Transfer Übung war ebenfalls die 3D-Gruppe besser (Performance: T3: **p=0,006**; T4: **p=0,039**; T5: **p=0,024**) und machte weniger Fehler als die 2D-Gruppe (Anzahl Restgewebe: T3: **p=0,017**; T4: **p=0**; T5: **p=0,002**; Summe Restgewebe: T1: p=0,089; T3: **p=0,028**; T4: **p=0,002**; T5: **p=0,045**; siehe Abbildung 21). Hinsichtlich der Arbeitsbelastung während der Transfer Übung zeigte sich nur bei der Einschätzung der Performance zum Trainings-zeitpunkt 1 eine signifikant als besser eingeschätzte Performance in der 2D-Gruppe (**p=0,01**; T-Test für unabhängige Stichproben). In der Übung *Pattern Cut* fand sich kein Unterschied zwischen den Gruppen (siehe Abbildung 22).

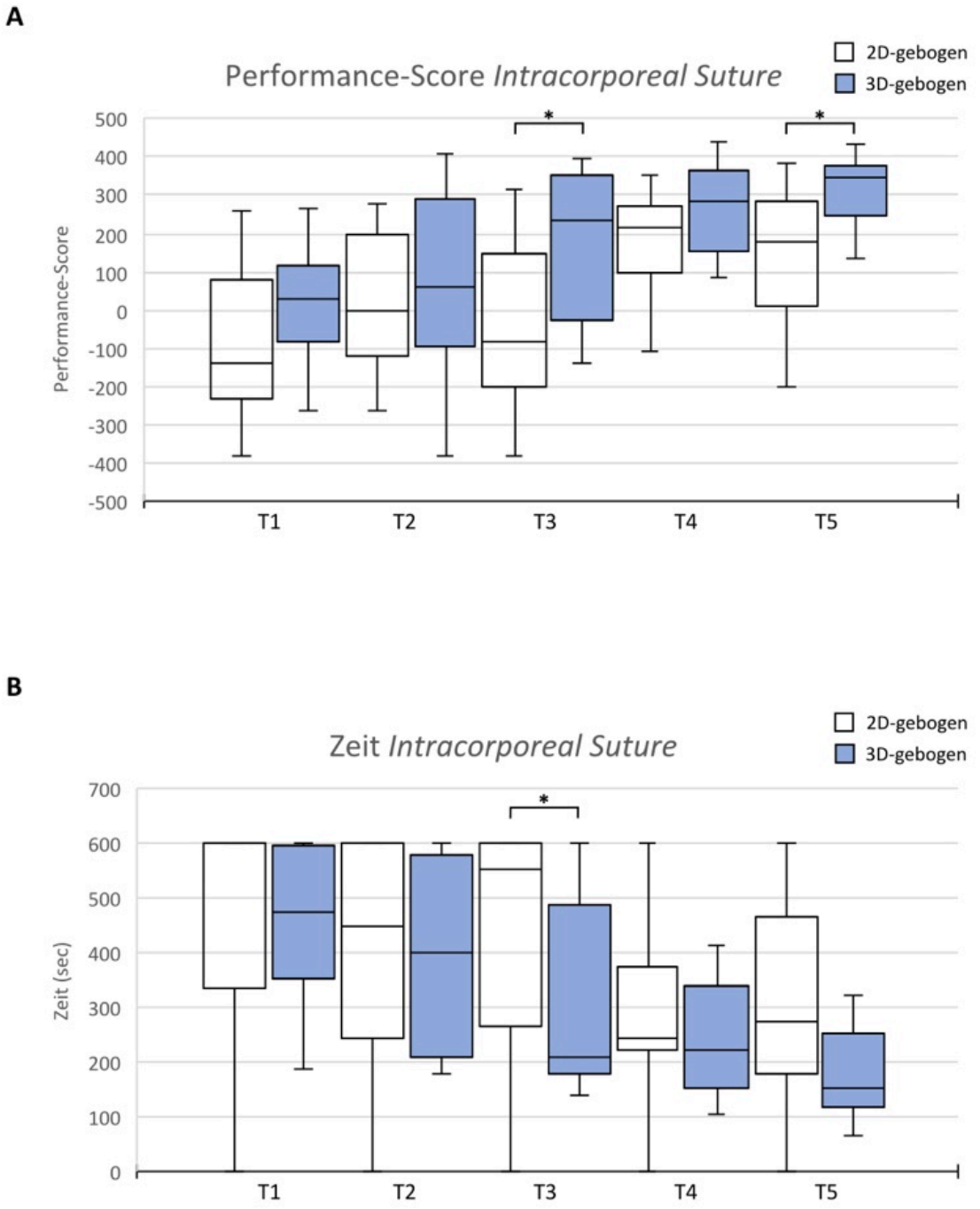


Abbildung 20: ***Intracorporeal Suture*** (A) An Trainingszeitpunkt T3 und T5 zeigt die Gruppe unter Verwendung des 3D-Visualisierungssystems eine signifikant bessere Performance (Mann-Whitney U Test), (B) zu Trainingszeitpunkt T3 führten sie die Übung schneller durch, als die Novizen mit 2D-Optik (einfaktorielle Varianzanalyse A-NOVA).*p<0,05.

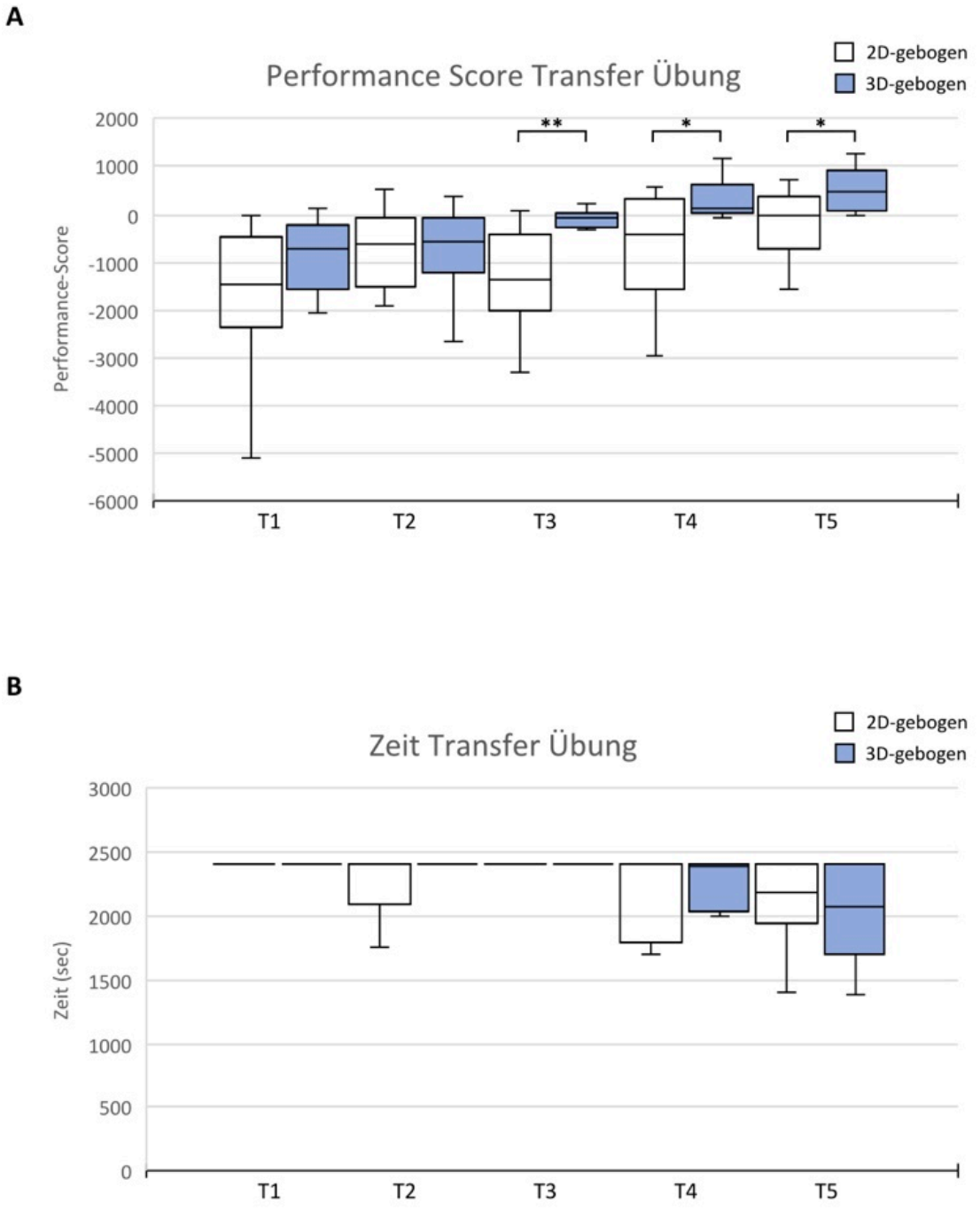
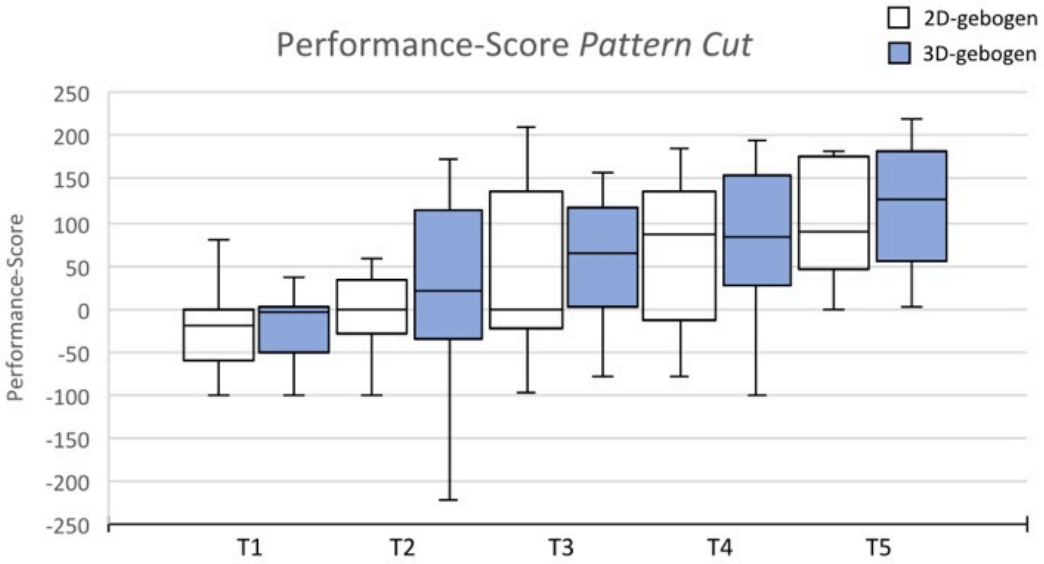


Abbildung 21: Transfer Übung: (A) An Trainingszeitpunkt T3, T4 und T5 zeigt die Gruppe unter Verwendung des 3D-Visualisierungssystems eine signifikant bessere Performance als die Novizen mit 2D-Optik (Mann-Whitney U Test). (B) Ein zeitlicher Unterschied zum Absolvieren der Übung wurde nicht festgestellt (einfaktorielle Varianzanalyse ANOVA). *p<0,05; **p<0,01.

Zusammenfassend ergab sich im Vergleich der Gruppen 2D-gebogen mit 3D-gebogen eine deutliche Überlegenheit der Gruppe, die die 3D-Visualisierung verwendete. In drei der vier Übungen war die Performance der 3D-Gruppe überlegen. In zwei der vier Übungen wurden die Aufgaben schneller absolviert. In der Transferaufgabe wurden darüber hinaus von der 3D-Gruppe weniger Fehler gemacht.

A



B

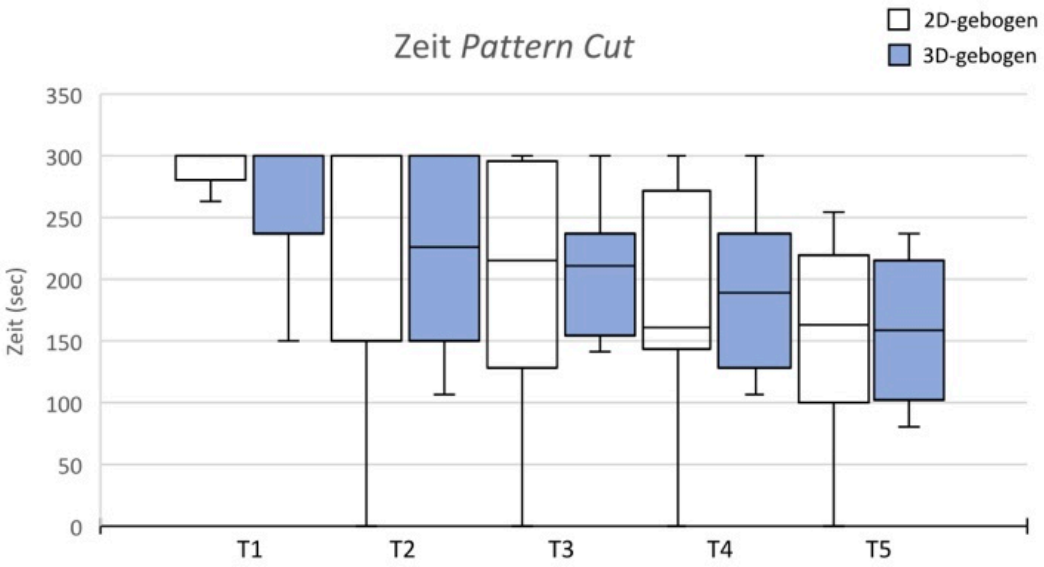


Abbildung 22: *Pattern Cut*: Es zeigt sich kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen. (Mann-Whitney U-Test: Performance; einfaktorielle Varianzanalyse A-NOVA: Zeit).

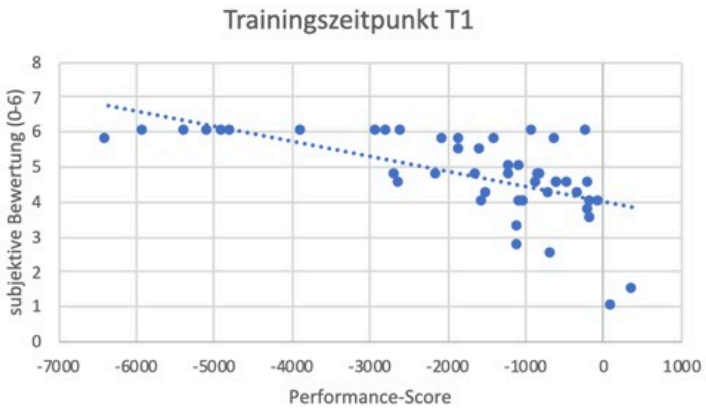
3.5 Weitere Ergebnisse

3.5.1 Korrelationsanalyse Transferaufgabe

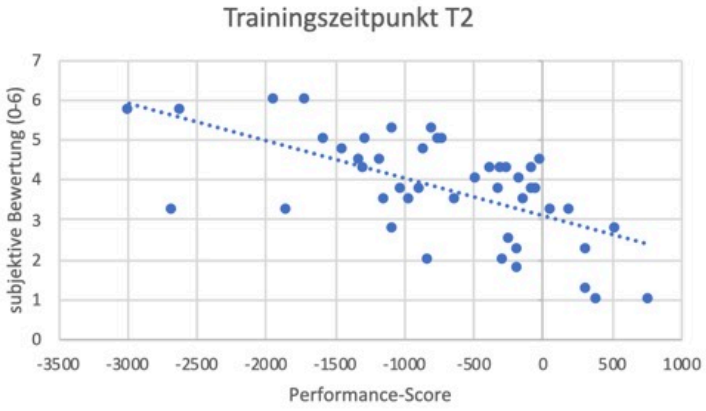
Da es sich bei der Transfer Übung um eine neu entwickelte Übung handelte, wurde die Übung neben dem Performance-Score durch vier verblindete Untersucher beurteilt. Die verblindeten Untersucher hatten zur Beurteilung der Übung das Ergebnis der Transfer Übung (z.B. die ausgeschnittene Form) vorliegen und ihnen war die Gruppenzuordnung der Versuchsteilnehmer nicht bekannt. Die Ergebnisse der Transfer Übung wurden anhand von definierten Kriterien von 0-6 bewertet, wobei 0 die beste Durchführung der Übung war und 6 die schlechteste (siehe 2.3, Tabelle 6).

Es zeigte sich bei der Spearman Korrelation eine hoch signifikante negative Korrelation zwischen dem Performance-Score^{Transfer} und der Beurteilung durch die verblindeten Untersucher zu allen Trainingszeitpunkten (T1: r_s=-0,57, **p=0,0099** T2: r_s =-0,63, **p=<0,0001**; T3: r_s =-0,62, **p=<0,0001**; T4: r_s =-0,73, **p=<0,0001**; T5: r_s =-0,81, **p=<0,0001**; siehe Abbildung 23 und Tabelle 9). Demnach zeigte sich eine gute Performance in einem hohen Performance-Score^{Transfer} und einer niedrigen Beurteilung der Untersucher. Bei der verblindeten Beurteilung steht ein kleiner Wert für eine gutes Ergebnis und ein hoher Wert für ein schlechtes Ergebnis der Transfer Übung (0: beste Leistung, 6: schlechteste Leistung). Eine niedrige Beurteilung steht für eine gute Durchführung der Übung und korreliert mit einer guten Performance durch den Performance-Score. Durch dieses Ergebnis wird der neu entwickelte Score unterstützt und validiert.

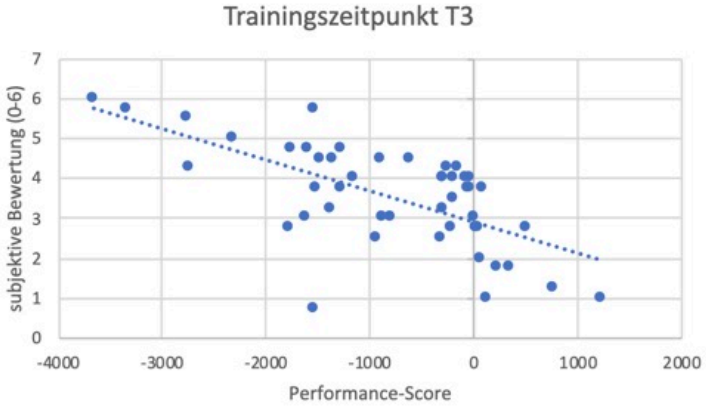
A


Trainingszeitpunkt T1
subjektive Bewertung (0-6)
Performance-Score
8
7
6
5
4
3
2
1
0
-7000
-6000
-5000
-4000
-3000
-2000
-1000
0
1000

B


Trainingszeitpunkt T2
subjektive Bewertung (0-6)
Performance-Score
7
6
5
4
3
2
1
0
-3500
-3000
-2500
-2000
-1500
-1000
-500
0
500
1000

C


Trainingszeitpunkt T3
subjektive Bewertung (0-6)
Performance-Score
7
6
5
4
3
2
1
0
-4000
-3000
-2000
-1000
0
1000
2000

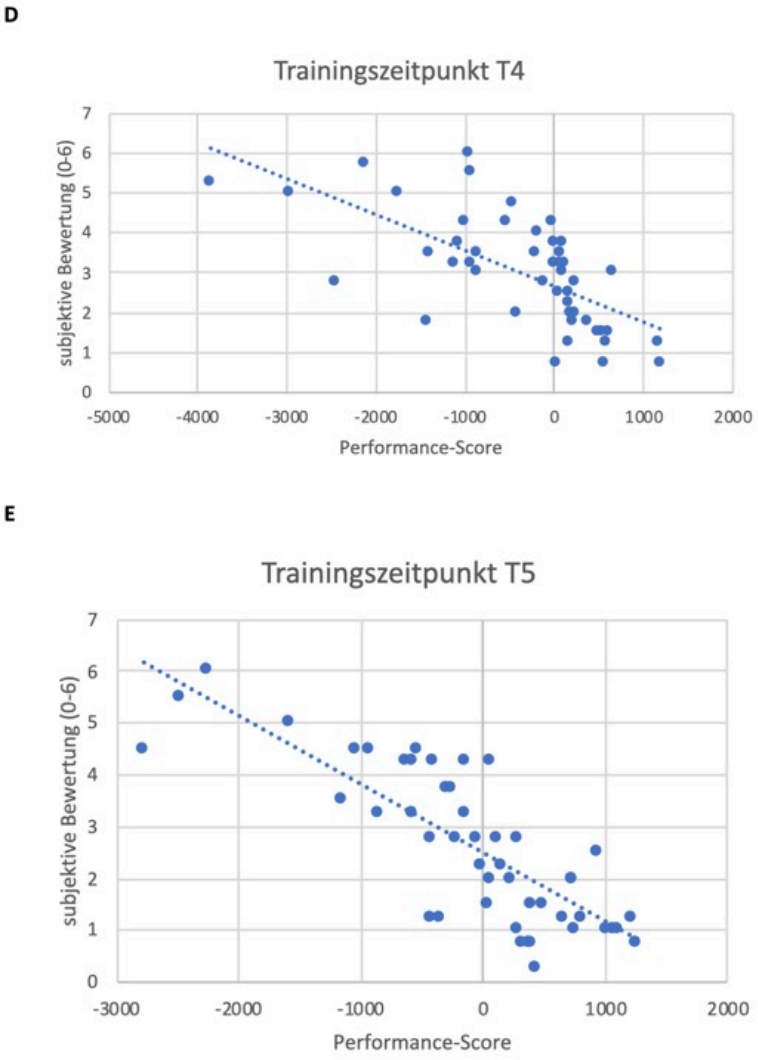


Abbildung 23: Darstellung der Korrelation zwischen dem Performance-Score^{Transfer} und der subjektiven Bewertung zu den Trainingszeitpunkten T1-T5 (A-E): Zu allen fünf Trainingszeitpunkten korrelieren der Performance-Score und die subjektive Beurteilung signifikant. Ein hoher Performance-Score geht mit einer niedrigen subjektiven Beurteilung (0: beste Leistung, 6: schlechteste Leistung) einher (Spearman Korrelation).

	P-Score Transfer T1	**P-Score Transfer T2**	**P-Score Transfer T3**	**P-Score Transfer T4**	**P-Score Transfer T5**
Verblindete Beurteilung T1	r_s=-0,57, **p=0,0099**	-	-	-	-
Verblindete Beurteilung T2	-	r_s =-0,63, **p=<0,0001**	-	-	-
Verblindete Beurteilung T3	-	-	r_s =-0,62, **p=<0,0001**	-	-
Verblindete Beurteilung T4	-	-	-	T4: r_s = 0,73 **p=<0,0001**	-
Verblindete Beurteilung T5	-	-	-	-	r_s =-0,81, **p=<0,0001**

Tabelle 9: Ergebnisse der Korrelation der Performance-Scores und der verblindeten Beurteilung zum jeweiligen Trainingszeitpunkt. Verwendet wurden die Daten aller Probanden (n=48), (Spearman Korrelation). P-Score: Performance-Score.

3.5.2 Korrelationsanalyse der FLS-Übungen untereinander

Eine Korrelationsanalyse der Performance-Scores der einzelnen Übungen (*PEG Transfer, Pattern Cut, Intracorporeal Suture*, Transfer Übung) zum Trainingszeitpunkt 5 wurde durchgeführt (Spearman Korrelation). Hier zeigte sich eine signifikante positive Korrelation der Performance-Scores untereinander. Ein hoher Performance-Score bei den Übungen *PEG Transfer*, *Pattern Cut* und *Intracorporeal Suture* ging mit einem hohen Performance-Score in der Transfer Übung einher (T5: *PEG Transfer*: r_s=0,42, **p=0,0032**; *Pattern Cut*: r_s=0,43, **p=0,002**; *Intracorporeal Suture*: r_s=0,6, **p=0,0001**; siehe Tabelle 10). Dieses Ergebnis unterstützt und validiert ebenfalls die neu entwickelte Transferaufgabe und den Performance-Score^{Transfer}.

Auch untereinander korrelierten die Übungen signifikant (*PEG Transfer* zu *Pattern Cut*: r_s=0,34, **p=0,019**; *PEG Transfer* zu *Intracorporeal Suture*: r_s=0,44, **p=0,0018**; *Pattern Cut* zu *Intracorporeal Suture*: r_s=0,42, **p=0,0031**).

Trainingszeitpunkt T5	**P-Score ^{PEG}**	**P-Score ^{Cut}**	**P-Score^{Suture}**	**P-Score^{Transfer}**
P-Score ^{PEG}	r_s=1	r_s=0,34 **p=0,0185**	r_s=0,44 **p=0,0018**	r_s=0,42 **p=0,0032**
P-Score ^{Cut}	r_s=0,34 **p=0,0185**	r_s=1	r_s=0,42 **p=0,0031**	r_s=0,43 **p=0,002**
P-Score^{Suture}	r_s=0,44 **p=0,0018**	r_s=0,42 **p=0,0031**	r_s=1	r_s=0,6 **p=<0,0001**
P-Score^{Transfer}	r_s=0,42 **p=0,0032**	r_s=0,43 **p=0,002**	r_s=0,6 **p=<0,0001**	r_s=1

Tabelle 10: Ergebnisse der Korrelation der Performance-Scores der Übungen untereinander am Trainingszeitpunkt T5. Verwendet wurden die Daten aller Probanden (n=48), (Spearman Korrelation). P-Score: Performance-Score.

.

3.5.3 Korrelation zwischen NASA TLX und der Transferaufgabe

3.5.3.1 Performance-Score^{Transfer}

Der Performance-Score^{Transfer} korreliert signifikant mit der generellen Arbeitsbelastung*l* sowie den Subskalen *Mental Demand*, *Performance* und *Frustration* des NASA TLX (Korrelationsanalyse nach Pearson; siehe Abbildung 24 und Tabelle 11).

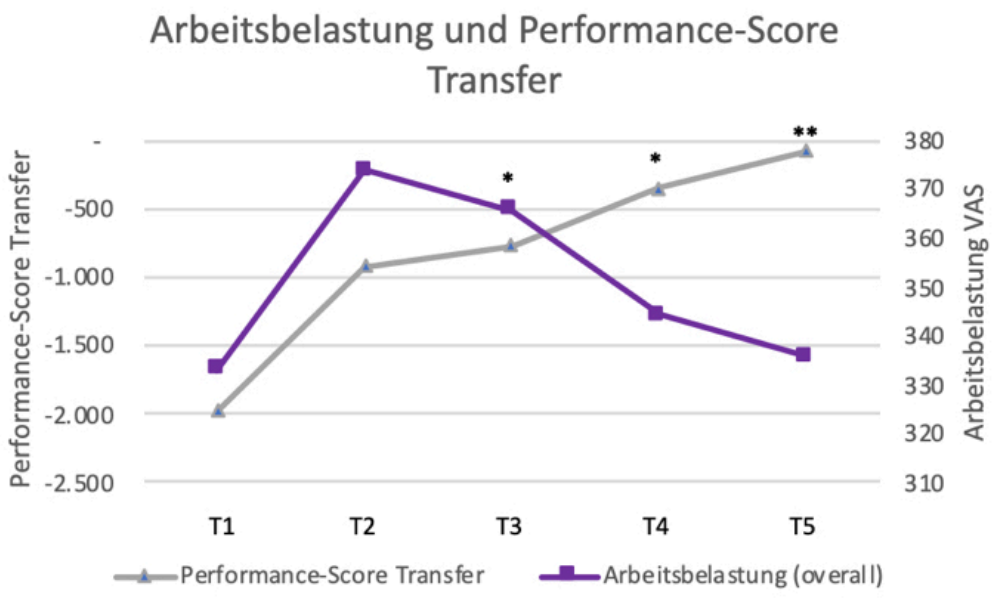
Bei der generellen Arbeitsbelastung zeigt sich an den Trainingszeitpunkten T3, T4 und T5 eine signifikante negative Korrelation zwischen den Performance-Scores^{Transfer} und der von den Probanden empfundenen Arbeitsbelastung. Demnach geht eine schlechte Performance (niedriger Performance-Score^{Transfer}) mit einer hohen Arbeitsbelastung einher.

So ist die mentale Anstrengung höher, je höher der Performance-Score zum Trainingszeitpunkt T1 war. Zum Trainingszeitpunkt T4 liegt eine negative Korrelation vor: je höher der Performance-Score, desto geringer war die mentale Anstrengung.

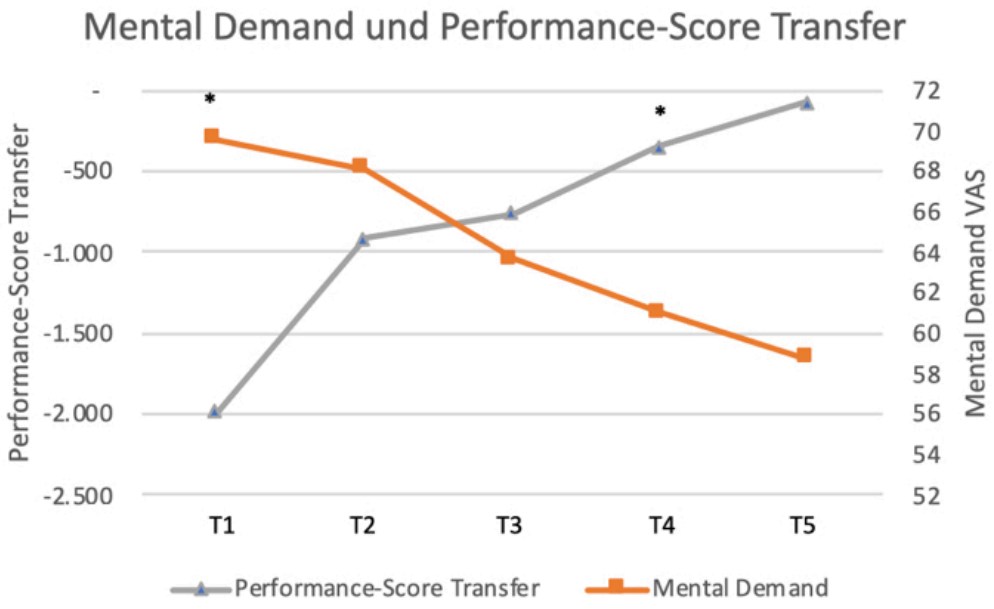
Bei der Selbsteinschätzung der Performance zeigte sich eine gegenläufige, negative Korrelation zum Performance-Score. Im NASA TLX wird eine gute Performance mit wenigen Punkten beurteilt, eine schlechte Performance hingegen mit hohen Punkten. Demnach ist die gegenläufige Korrelation verständlich: Ein hoher Performance-Score^{Transfer} geht einher mit einer als gut eingeschätzten Performance (niedriger Punktewert auf der NASA TLX Skala). Hier zeigten sich zum Zeitpunkt T1, T2, T3 und T5 signifikante negative Korrelationen.

Die Subskala *Frustration* korrelierte zu den Zeitpunkten T3, T4 und T5 signifikant negativ mit dem Performance-Score^{Transfer}. Ein hohes Frustrationslevel ging mit einem niedrigen Performance-Score einher.

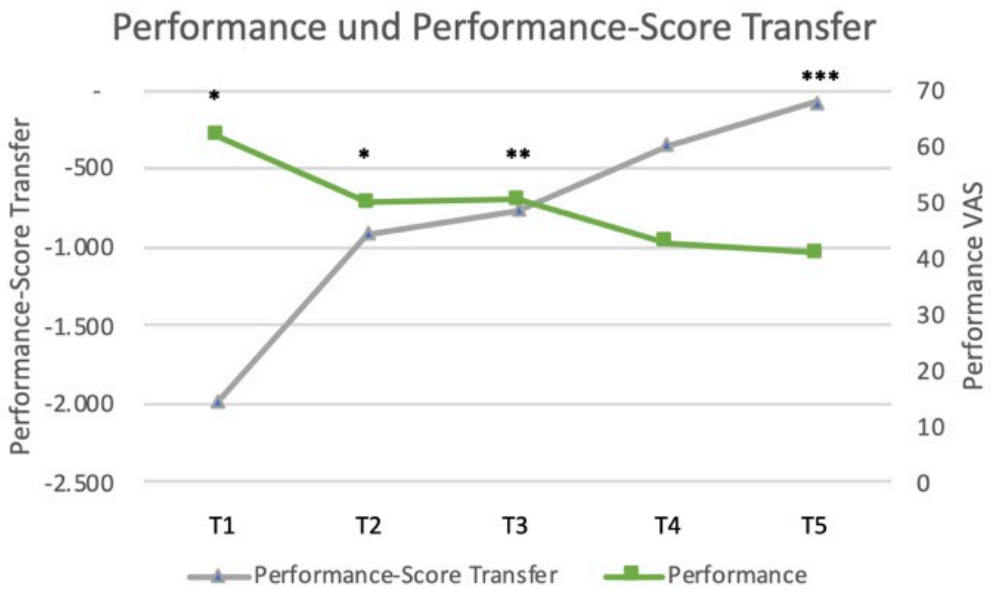
A


Arbeitsbelastung und Performance-Score Transfer
Performance-Score Transfer
-
-500
-1.000
-1.500
-2.000
-2.500
380
370
360
350
340
330
320
310
Arbeitsbelastung VAS
**
*
*
T1
T2
T3
T4
T5
Performance-Score Transfer
Arbeitsbelastung (overall)

B


Mental Demand und Performance-Score Transfer
Performance-Score Transfer
-
-500
-1.000
-1.500
-2.000
-2.500
72
70
68
66
64
62
60
58
56
54
52
Mental Demand VAS
*
*
T1
T2
T3
T4
T5
Performance-Score Transfer
Mental Demand

C



D

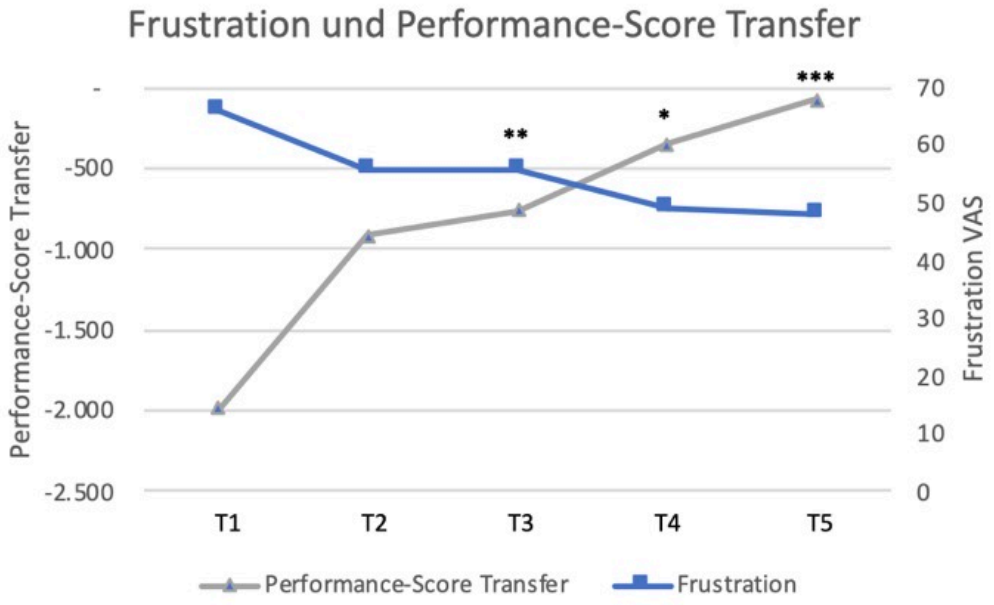


Abbildung 24:Darstellung der Arbeitsbelastung im Bezug zum Performance-Score ^{Transfer} zu den Trainingszeitpunkten T1-T5. (A) Die generelle Arbeitsbelastung korreliert signifikant negativ mit dem Performance-Score ^{Transfer} am Trainingszeitpunkt T3-T5. Die weiteren signifikanten Korrelationen zwischen dem Performance-Score ^{Transfer} und (B) Mental Demand, (C) die selbst wahrgenommen Performance, (D) Frustration sind ebenfalls dargestellt (Korrelationsanalyse nach Pearson). VAS: visuelle Analogscala (0-100); *p<0,05; **p<0,01; ***p<0,001.

P–Score Transfer	Arbeitsb. (r, p-Wert)	MD (r, p-Wert)	PD (r, p-Wert)	TD (r, p-Wert)	Perf. (r, p-Wert)	Effort (r, p-Wert)	Frustr. (r, p-Wert)
P-Score Transfer T1	r=-0,032 p=0,827	r=0,344 **p=0,017**	r=-0,13 p=0,93	r=0,226 p=0,122	r=-0,342 **p=0,017**	r=0,005 p=0,973	r=-0,283 p=0,052
P-Score Transfer T2	r=-0,111 p=0,453	r=-0,051 p=0,731	r=0,3 p=0,84	r=0,16 p=0,279	r=-0,29 **p=0,046**	r=-0,026 p=0,86	r=-0,231 p=0,114
P-Score Transfer T3	r=-0,337 **p=0,019**	r=-0,178 p=0,226	r=-0,191 p=0,194	r=-0,064 p=0,668	r=-0,445 **p=0,002**	r=0,112 p=0,448	r=-0,386 **p=0,007**
P-Score Transfer T4	r=-0,346 **p=0,016**	r=-0,332 **p=0,021**	r=-0,129 p=0,383	r=-0,278 p=0,056	r=-0,174 p=0,237	r=-0,143 p=0,331	r=-0,309 **p=0,033**
P-Score Transfer T5	r=-0,428 **p=0,002**	r=-0,099 p=0,503	r=-0,199 p=0,176	r=-0,202 p=0,169	r=-0,573 **p=0**	r=-0,182 p=0,216	r=-0,498 **p=0**

Tabelle 11: Ergebnisse der Korrelation zwischen dem Performance-Score^{Transfer} und den Subskalen des NASA TLX zum jeweiligen Trainingszeitpunkt. Verwendet wurden die Rohdaten aller Probanden (n=48), (Korrelationsanalyse nach Pearson); P-Score Transfer: Performance-Score ^{Transfer}; Arbeitsb.: Arbeitsbelastung, MD: Mental Demand; PD: Physical Demand; TD: Temporal Demand; Perf.: Performance; Frustr.: Frustration.

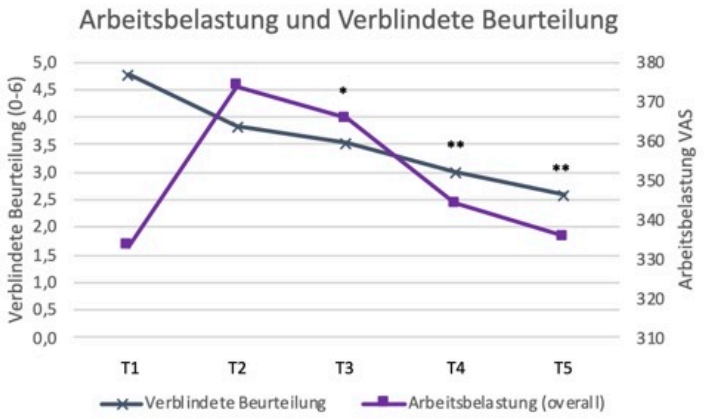
3.5.3.2 Verblindete Beurteilung

Die verblindete Beurteilung der Transfer Übung korreliert signifikant mit den Subskalen *Mental Demand, Temporal Demand, Performance* und *Frustration* (Korrelationsanalyse nach Pearson; siehe Abbildung 25 und Tabelle 12). Bei der verblindeten Beurteilung steht ein kleiner Wert für eine gutes Ergebnis und ein hoher Wert für ein schlechtes Ergebnis der Transfer Übung (0: beste Leistung, 6: schlechteste Leistung).

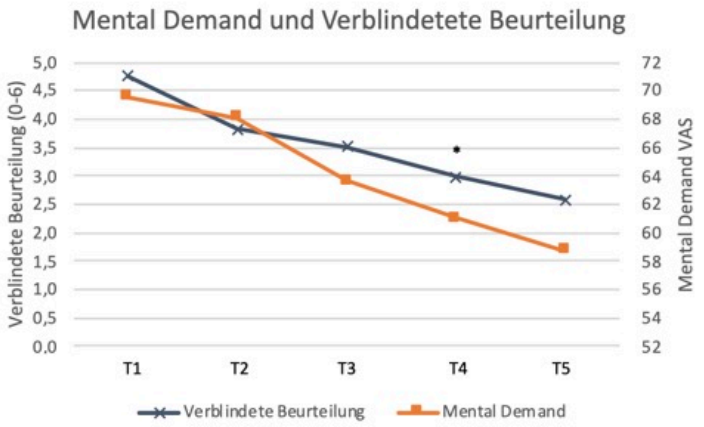
Mental Demand korreliert gleichläufig mit der verblindeten Beurteilung: eine hohe mentale Anstrengung zum Trainingszeitpunkt T4 geht mit hohen Werten bei der verblindeten Beurteilung einher (was einer schlechten Performance entspricht).

Der zeitliche Druck (*Temporal Demand*) korreliert zum Trainingszeitpunkt T4 positiv mit der verblindeten Beurteilung: ein hoher Zeitdruck geht mit hohen Werten bei der verblindeten Beurteilung einher (was einer schlechten Performance entspricht).
Die Subskala *Performance* korreliert ebenfalls positiv mit der verblindeten Beurteilung zu den Trainingszeitpunkten T2, T3, T4, T5: ein hoher Wert bei der Performance-Einschätzung im NASA TLX steht für eine schlechte Leistung (0: beste Leistung, 6: schlechteste Leistung). Ein hoher Wert in der Subskala *Performance* des NASA TLX (entspricht der Selbsteinschätzung „poor performance“) geht mit hohen Werten in der verblindeten Beurteilung einher (was ebenfalls einer schlechten Beurteilung entspricht).
Die Frustration korreliert ebenfalls gleichläufig mit der verblindeten Beurteilung zu den Trainingszeitpunkten T1, T3, T4 und T5. Je höher die Frustration im NASA TLX, desto schlechter war die Leistung in der Transfer Übung.

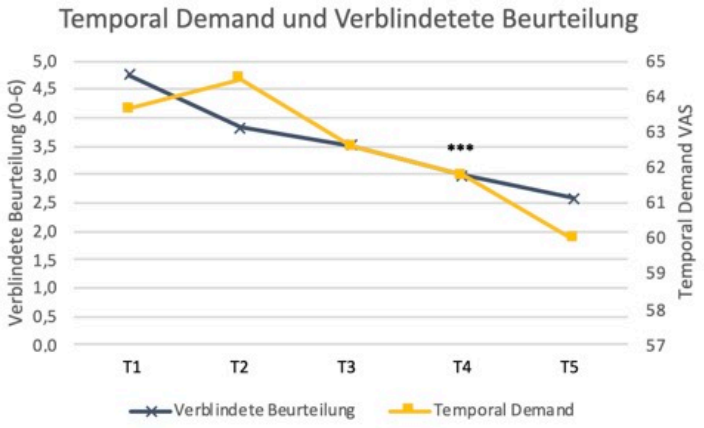
A


Arbeitsbelastung und Verblindete Beurteilung
Verblindete Beurteilung (0-6)
Arbeitsbelastung VAS
5,0
4,5
4,0
3,5
3,0
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
380
370
360
350
340
330
320
310
*
**
**
T1
T2
T3
T4
T5
Verblindete Beurteilung
Arbeitsbelastung (overall)

B


Mental Demand und Verblindetete Beurteilung
Verblindete Beurteilung (0-6)
Mental Demand VAS
5,0
4,5
4,0
3,5
3,0
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
72
70
68
66
64
62
60
58
56
54
52
*
T1
T2
T3
T4
T5
Verblindete Beurteilung
Mental Demand

C


Temporal Demand und Verblindetete Beurteilung
Verblindete Beurteilung (0-6)
Temporal Demand VAS
5,0
4,5
4,0
3,5
3,0
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
65
64
63
62
61
60
59
58
57
***
T1
T2
T3
T4
T5
Verblindete Beurteilung
Temporal Demand

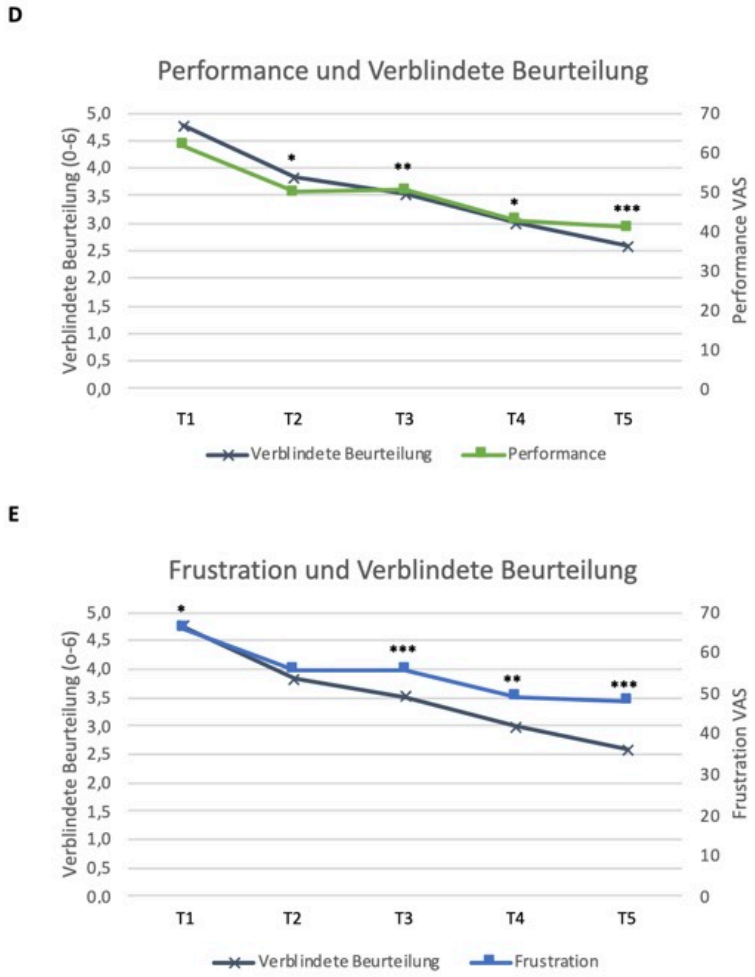


Abbildung 25: Darstellung der Arbeitsbelastung im Bezug zur Beurteilung der Transfer Übung durch die verblindeten Bewerter zu den Trainingszeitpunkten T1-T5. (A) Die (A) generelle Arbeitsbelastung, (B) Mental Demand, (C) Temporal Demand, (D)selbst empfundene Performance und die (E) Frustration korrelieren signifikant positiv mit der verblindeten Beurteilungen (Korrelationsanalyse nach Pearson). VAS: visuelle Analogscala (0-100); *p<0,05; **p<0,01; ***p<0,001.

VBB	Arbeitsb. (r, p-Wert)	MD (r, p-Wert)	PD (r, p-Wert)	TD (r, p-Wert)	Perf. (r, p-Wert)	Effort (r, p-Wert)	Frustr. (r, p-Wert)
VBB T1	r=0,181 p=0,219	r=-0,082 p=0,578	r=0,156 p=0,29	r=-0,107 p=0,47	r=0,268 p=0,066	r=-0,066 p=0,655	r=0,329 **p=0,023**
VBB T2	r=0,221 p=0,131	r=-0,027 p=0,856	r=-0,023 p=0,876	r=0,147 p=0,319	r=0,355 **p=0,013**	r=-0,017 p=0,909	r=0,268 p=0,065
VBB T3	r=0,389 **p=0,006**	r=0,144 p=0,329	r=0,105 p=0,479	r=0,202 p=0,169	r=0,443 **p=0,002**	r=-0,061 p=0,682	r=0,478 **p=0,001**
VBB T4	r=0,419 **p=0,003**	r=0,289 **p=0,047**	r=0,024 p=0,871	r=0,453 **p=0,001**	r=0,307 **p=0,034**	r=0,205 p=0,162	r=0,382 **p=0,007**
VBB T5	r=0,407 **p=0,004**	r=0,034 p=0,821	r=0,128 p=0,385	r=0,262 p=0,072	r=0,589 **p=0**	r=0,17 p=0,249	r=0,47 **p=0,001**

Tabelle 12: Ergebnisse der Korrelation zwischen der verblindeten Beurteilung der Transfer Übung und den Subskalen des NASA TLX zum jeweiligen Trainingszeitpunkt. Verwendet wurden die Rohdaten aller Probanden (n=48), (Korrelationsanalyse nach Pearson) VBB= verblindete Beurteilung; Arbeitsb.= Arbeitsbelastung, MD= Mental Demand; PD= Physical Demand; TD= Temporal Demand; Perf.= Performance; Frustr.= Frustration.

.

4 Diskussion

Der Einsatz von komplexen Laparoskopie-Instrumenten kann als „Hybrid-Alternative“ zwischen klassischer 2D-Laparoskopie und robotisierter MIC gesehen werden [87].
Jedoch erfordert die Anwendung komplexer Laparoskopie-Instrumente bei einer Vielzahl von Operationen eine höhere Geschicklichkeit im Vergleich zu konventionellen Laparoskopie-Instrumenten [24, 57, 64]. Ziel dieser Studie war es, basierend auf vier Übungen (FLS-Übungen *PEG Transfer, Pattern Cut, Intracorporeal Suture* und einer Transfer Übung) in einem Laparoskopie-Boxtrainer, den Einsatz von DuoRotate-Instrumenten mit traditionellen Laparoskopie-Instrumenten zu vergleichen. Hierzu führten Medizinstudenten ohne Vorerfahrung im Bereich der MIC ein Trainingskurrikulum im Trainingslabor durch.
Folgende Fragestellungen sollten evaluiert werden:

1. Wie wirkt sich die Verwendung von komplexen Laparoskopie-Instrumenten im Vergleich zu konventionellen Laparoskopie-Instrumenten auf die laparoskopische Performance von Novizen aus?
2. Ergibt sich ein Vorteil der 3D- anstatt 2D-Visualisierungstechnik bei der konventionellen Laparoskopie?
3. Ist 3D-Visualisierung vorteilhaft beim Einsatz von komplexen Laparoskopieinstumenten?

4.1 Allgemein/Demographie

48 Medizinstudenten der klinischen Semester wurden in diese Studie eingeschlossen. Nach einem Einstufungstest wurden die Studierenden in 4er-Bündeln analog ihrer Performance randomisiert um so gleich starke Gruppen zu erhalten, da in Studien gezeigt werden konnte, dass insbesondere zwischen untrainierten Individuen große Differenzen innerhalb der laparoskopischen Performance bestehen [75, 76]. Im Anschluss erfolgte die Erhebung von demographischen Daten. Harrington und Kollegen analysierten 2018 den Zusammenhang von demographischen Charakteristika in Bezug auf die Performance bei FLS-Übungen im Boxtrainer [88]. Sie konnten zeigen, dass das Spielen eines

Musikinstruments assoziiert ist mit dem Fähigkeitserwerb bei den Übungen *PEG Transfer* und *Intracorporeal Suture*. Auch Erfahrungen mit Video-Spielen ergab einen Einfluss auf die Performance in der Erhaltungsphase. Sportliche Aktivitäten hatten dagegen keinen Einfluss auf die Performance [88]. Aus diesem Grund wurden diese Parameter in einem generellen Fragebogen in dieser Studie erhoben. Hier zeigte sich in unserer Studie im Gruppenvergleich kein Unterschied, sodass von einer homogenen Gruppenaufteilung ausgegangen werden kann und der Einfluss von demographischen Faktoren auf die Performance minimiert werden konnte.

4.2 Ist die laparoskopische Performance mit geraden Instrumenten besser als mit gebogenen?

Unserer Studie erbrachte, dass Novizen, unter Verwendung von 2D-Visualisierungstechnik, mit geraden (konventionellen) Instrumenten im Vergleich zu gebogenen Instrumenten in zwei der vier Übungen (*PEG Transfer* und *Intracorporeal Suture)* eine bessere Performance zeigten. In diesen beiden Übungen waren die Novizen mit den geraden Instrumenten schneller als die Trainierenden mit den gebogenen Instrumenten. Bei den Übungen *Pattern Cut* und der Transfer Übung ergab sich hinsichtlich Performance und Zeit zwischen den Gruppen kein signifikanter Unterschied. In den Übungen *Intracorporeal Suture* und der Transfer Übung zeigten die Novizen mit den geraden Instrumenten eine akkuratere Arbeitsweise und verursachten weniger Fehler. Bei der Arbeitsbelastung während der Durchführung der Transfer Übung bestand kein signifikanter Unterschied.
Novizen zeigten in 2D-Boxtrainern eine bessere Performance mit weniger Fehlern und einer schnelleren Durchführung der Übungen beim Einsatz von geraden Laparoskopie-Instrumenten im Vergleich zu gebogenen Instrumenten.
Die beiden FLS-Übungen, in denen die Novizen mit den konventionellen Instrumenten eine bessere Performance (Performance-Score) zeigten, waren *PEG Transfer* und *Intracorporeal Suture*. Auch in der Literatur gibt es Studien mit ähnlichen Ergebnissen. Martinec und Kollegen stellten in ihrer Studie eine schlechtere Performance unter Verwendung von komplexen Instrumenten fest, der Unterschied war nur bei der Übung *PEG Transfer* signifikant [67]. Bensignor und Team untersuchten den roboterisierten

Nadelhalter Jaimy® im Vergleich zu konventionellen Laparoskopie-Instrumenten. Sie stellten hinsichtlich der Performance eine Unterlegenheit des komplexen Instruments bei *PEG Transfer* fest, aber eine Überlegenheit bei schwierigen Nähten [70].
PEG Transfer ist eine Übung, die insbesondere die Tiefenwahrnehmung und die Zweihändigkeit trainiert und gilt als Grundlage für laparoskopisches Operieren [89].
Demgegenüber erfordert *Intracorporeal Suture* eine deutlich höhere Geschicklichkeit. Gerade beim Knoten ist ein hohes Maß an räumlicher Orientierung erforderlich. Es ist also nicht verwunderlich, dass die gebogenen Instrumente, die keine gradlinige Verlängerung des Armes darstellen, in diesen beiden Übungen in 2D-Visualisierung nachteilig sind. Die Übung *Pattern Cut* ist hingegen aufgrund des fixierten Gewebes relativ statisch. In der Übung *Pattern Cut* und der Transfer Übung konnte kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen in der Performance gezeigt werden. Die Gemeinsamkeit der beiden Übungen ist, dass runde Formen ausgeschnitten werden müssen. Gegebenenfalls ist hier die gebogene Form der Schere beim Absolvieren der Übung von Vorteil. Sieber et al. untersuchten 2017 ein komplexes, robotisiertes Instrument (Kymerax©), bei dem man die Instrumentenspitze rotieren und abknicken kann. In ihrer Studie zeigte sich beim Einsatz des komplexen Instrumentes eine signifikant reduzierte Abweichung von der vorgezeichneten Struktur beim Ausschneiden einer Form [24]. So könnte es auch in unsere Studie sein: trotz erschwerten Bedingungen der 2D-Visualisierung und damit verbundener erschwerter Orientierung im Raum mit gebogenen Laparoskopie-Instrumenten konnte kein Unterschied zwischen den beiden Gruppen festgestellt werden, da beide Faktoren sich gegenseitig beeinflussten.

In zwei der vier Übungen (*PEG Transfer* und *Intracorporeal Suture*) benötigten die Novizen mit den gebogenen Instrumenten mehr Zeit, als die mit den geraden Instrumenten. Ähnliche Ergebnisse wurden auch beim Einsatz von anderen komplexen Instrumenten beschrieben [24, 57, 64, 90, 91]. Eine Ausnahme bildeten dabei Übungen, bei denen der Winkel zu schwierig für gerade Instrumente war [64]. Dieses war der Fall beim Nähen in der Sagitalebene. Hier wurde für das Nähen mit gerade Instrumenten mehr Zeit benötigt da die Schwierigkeit darin bestand, mit konventionellen Instrumenten fast parallel zum

Instrumentenschaft zu nähen [64]. Inaki et al. zeigten in ihrer Arbeit, dass das Nähen mit komplexem Instrument zeitaufwendig ist, aber die Nähte eine bessere Qualität hatten im Vergleich zu Staplerfixierung oder Nähte mit konventionellen Instrumenten [57]. Auch Sieber et al. konnten einen Vorteil des artikulierenden Instruments beim Nähen in schwierigen Arbeitswinkeln und beim Ausschneiden von komplexen Strukturen sehen (s.o.) [24].

Die Arbeitsbelastung während der Transfer Übung zeigte eine Tendenz zur stärkeren physischen Belastung der Gruppe mit den gebogenen Instrumenten. Dieses lässt sich gegebenenfalls auf die gestörte Tiefenwahrnehmung zurückführen. Auch in anderen Studien mit komplexen Instrumenten wird ein früherer Konzentrationsverlust beschrieben [24], der NASA TLX wurde in der genannten Arbeit jedoch nicht erhoben.

4.3 Ist das 3D-Visualisierungssystem vorteilhaft in der konventionellen Laparoskopie?

Im Vergleich von 2D- und 3D-Visualisierungssystemen mit konventionellen Laparoskopie-Instrumenten fand sich in der Performance lediglich bei der Übung *Pattern Cut* ein signifikanter Unterschied. Hier zeigte die Gruppe mit 3D-Technik eine bessere Performance als die 2D-Gruppe. Hinsichtlich der benötigten Zeit zum Absolvieren der Übungen zeigte sich kein Unterschied zwischen dem 2D- und 3D-System. In der Transfer Übung machte die Gruppe mit Verwendung von 3D-Visualisierungstechnik signifikant weniger Fehlschnitte. Doch empfanden die Novizen unter Verwendung von 3D-Technik eine signifikant höhere physische Arbeitsbelastung als die 2D-Gruppe.

Wir konnten keinen eindeutigen Vorteil von 3D- gegenüber 2D-Visualisierungssystemen im Boxtrainer bei Verwendung von geraden Laparoskopie-Instrumenten zeigen.

Ein Review von 2016 untersuchte Studien zu 2D- und 3D-Laparoskopie: 71% der 31 analysierten Studien zeigten, dass die Verwendung von 3D-Technik zu einer schnelleren Durchführung der Übungen führte und in 63% wurden weniger Fehler gemacht [47]. Insbesondere in den aktuelleren Studien zeigten fast 80% einen Vorteil der 3D-Technik, welcher durch die verbesserte Technik bedingt zu sein scheint [47]. Trotz der Zahlen, die

die 3D-Technologie favorisieren, geben die Autoren zu bedenken, dass es sich bei den Studien um eine heterogene Gruppe an Studien handelt mit unterschiedlicher Qualität. Immerhin zeigen 29% der Studien keine Zeitreduktion durch 3D und 37% keine Fehlerreduktion [47].

So konnten Sun und Kollegen keinen Vorteil von 3D-Technologie bei Novizen feststellen [92]. Sie führten die heterogenen Ergebnisse zur 3D-Visualisierungstechnik in der Laparoskopieforschung auf die unterschiedlichen 3D-Systeme und Studiendesigns zurück [92]. Als Kritik an ihrer Studie bleibt anzumerken, dass es sich um eine kleine Studie (n=34) mit nur einer Wiederholung der Übung handelt.

Mistry und Kollegen konnten bei der Durchführung von FLS-Übungen keine Überlegenheit der 3D-Technologie zeigten. In *PEG Transfer* war die Performance unter 2D-Sicht sogar überlegen [93]. Laut Mistry haben beispielsweise Storz et al. in ihrer Studie, in der die Verwendung von 3D-Technologie zu einer reduzierten Fehlerrate und Zeit führte [94], relativ leichte, unvalidierte Übungen verwendet [93]. Hingegen sind die FLS-Übungen laut Mistry et al. zu schwierig für Novizen. Bei einer ohnehin schon hohen intrinsischen kognitiven Belastung der Trainierenden durch die Schwere der Übungen führe die zusätzliche visuelle Information des 3D-Systems zur Überbelastung und demnach zu einem reduzierten Lerneffekt [93]. Diese Überlegung steht im Widerspruch zu unseren Ergebnissen: wir konnten in den schweren Übungen (weniger Fehler in der Transfer Übung an Trainingszeitpunkt T1 und T4) einen Vorteil der 3D-Visualisierung sehen. Anzumerken ist jedoch, dass die Transfer Übung zwar schwer war, sie jedoch immer zum Schluss jedes Trainingstermins absolviert wurde. So hatten die Novizen Zeit sich an die zusätzliche visuelle Information des 3D-Systems zu gewöhnen. Mistry et al. schlussfolgern, dass erfahrenere Versuchsteilnehmer eher von der 3D-Technologie profitieren würden [93]. Hier stehen ihre Überlegungen im Gegensatz zu anderen Autoren, die gerade bei untrainierten den Vorteil der 3D-Technik sehen [48, 49]. Somit könnte die Überlegung Berechtigung finden, dass nach einer Eingewöhnung an die zusätzliche visuelle Information der Vorteil der 3D-Sicht dominiert.

Smith et al. konnten eine Überlegenheit von 3D-Visualisierung im Boxtrainer zeigen [42]. Wie auch bei Storz et al. war der Vorteil der 3D-Technik insbesondere bei komplizierten

Übungen sichtbar [42, 94]. Auch andere Studien stellten den Vorteil von 3D-Technologie vor allem bei komplexeren Übungen fest [46, 95, 96].

Alaraimi und Kollegen sahen einen Vorteil der 3D-Technik bei den schweren Übungen *Intra-* und *Extracorporeal Suture* [46]. Bei der einfachen Übung *PEG Transfer* war die 2D-Technik überlegen. Auch sie schlussfolgerten ähnlich wie Mistry et al. [93], dass die 3D-Gruppe sich zunächst adaptieren musste, was bei der 2D-Gruppe nicht notwendig gewesen sei [46]. In unserer Studie konnte bei *PEG Transfer* kein Unterschied zwischen den Gruppen gezeigt werden. In den schwierigeren Übungen jedoch schon. Hinsichtlich der Zeit zeigte sich bei unserer Studie kein Unterschied zwischen 2- und 3D. Somit liegt der Vorteil der 3D-Technik in der besseren Qualität bei der Durchführung der Übung. Dieses betonten ebenfalls anderen Studien [42, 46, 94, 97].

Die uneinheitlichen Ergebnisse bei der Untersuchung von 2D- und 3D-Technik in der Laparoskopie ist sicherlich auf die vielen unterschiedlichen Studiendesigns zurückzuführen. Auch verschiedenartige Übungen haben divergente Ansprüche an Tiefenwahrnehmung [vgl. [98]]. So sei beispielsweise für den *PEG Transfer* die 3D-Sicht weniger relevant als für *Suturing* [98]. Alaraimi und Kollegen betonen überdies, dass der Vorteil von 3D-Visualisierungssystemen vor allem bei vielfarbigen Bildern und Variabilität in der Tiefe deutlich wird, wie es beispielsweise in der Bauchhöhle der Fall ist. Der Boxtrainer habe demgegenüber statische Übungen mit nur wenigen Bezugspunkten zur Tiefenwahrnehmung [46].

In vielen Studien wurden kleine Fallzahlen eingeschlossen [vgl. [50]]. Bei kleinen Fallzahlen fällt die angeborene Begabung der Versuchsteilnehmer für Laparoskopie stark ins Gewicht. Aus diesem Grund wurde in unserer Studie eine stratifizierte Randomisierung durchgeführt, doch auch gerade beim Erlernen von Fähigkeiten sind natürliche Begabungen nicht auszuschließen und dieser potentielle Bias konnte auch in unserer Studie durch Randomisierung nicht vermieden werden (vgl. [6]). Ein weiterer Bias in der Analyse unserer Daten könnte darüber hinaus der Aspekt sein, dass die Novizen sich noch im Lernprozess befanden und ein Plateau der Lernkurve noch nicht erreicht hatten.

Bei der Arbeitsbelastung während der Transfer Übung fanden wir eine signifikant erhöhte physische Belastung (*Physical Demand*) bei der Nutzung der 3D-Technologie. In den anderen fünf Subskalen und der allgemeinen Arbeitsbelastung des NASA TLX-Fragebogens wurde kein Unterschied zwischen den beiden Gruppen festgestellt.
Unser Ergebnis steht im Kontrast zu Resultaten andere Studien. Eine spanische Arbeitsgruppe konnte beim Vergleich von 2D- und 3D-Visualisierungstechniken eine deutliche reduziere mentale Arbeitsbelastung im NASA TLX und ein erleichtertes Lernen der Skills und eine bessere Performance in der 3D-Gruppe demonstrieren [99]. In ihrer Studie erwies sich der Vorteil insbesondere in den Übungen mit Notwendigkeit von Tiefenwahrnehmung (*Intracorporeal Suture*, Faden durch Ösen fädeln). Özsoy und Kollegen verglichen ebenfalls 2D- und 3D-Laparoskopie bei Novizen und konnten in der 3D-Gruppe im NASA TLX eine niedrige Arbeitsbelastung, in allen Übungen eine quantitative Verbesserung sehen und in zwei von vier Übungen eine bessere Qualität in der 3D-Gruppe [26]. Bei Smith et al. zeigte sich neben einer besseren Performance im NASA TLX eine reduzierte Arbeitsbelastung in 3D- im Vergleich zu 2D-Sicht [100]. Unter Verwendung von 3D- im Vergleich zu 2D-Visualisierungstechnik waren vier der sechs Subskalen reduziert (*Physical Demand, Performance, Effort, Frustration*) [100]. Auch Sakata und Kollegen stellten in zwei unterschiedlichen Studien eine reduzierte Arbeitsbelastung unter Anwendung von 3D-Visualisierungstechnik fest [43, 98]. Andere Studien konnten keinen Unterschied in der Arbeitsbelastung sehen beim Vergleich von 2D- und 3D-Laparoskopie [51, 101]. Gründe hierfür könnten erneut die Heterogenität der Übungen und die unterschiedlichen Erfahrungslevel der Versuchsteilnehmer sein. Laut einem Review von Sorensen et al. untersuchten acht weitere Studien die kognitive Arbeitsbelastung [47]. Jedoch wurde in diesen Studien nicht der NASA TLX-Fragebogen angewandt. Fünf der acht Studien zeigten eine reduzierte Arbeitsbelastung unter Verwendung von 3D-Technik. Die drei weiteren konnten keinen Unterschied zeigen. Doch schon eine gleichwertige Arbeitsbelastung von 2D- und 3D-Visualisierungstechnik führt laut Wilhelm et al. zur Favorisierung der 3D-Technik [51]. Als Begründung wird die schnellere und präzisere Performance ohne höhere Arbeitsbelastung angeführt [51].

Zusammenfassend finden sich in der Literatur Arbeiten, die eine niedrigere oder gleichwertige Arbeitsbelastung durch Verwendung von 3D-Technik demonstrieren, aber in keiner Arbeit wurde eine höhere Arbeitsbelastung durch 3D-Sicht festgestellt. Unter diesem Gesichtspunkt müssen hier unsere Daten durchaus kritisch hinterfragt und beurteilt werden. Bei *Physical Demand* handelt es sich jedoch lediglich um eine Subskala. Abbildung 15 (S. 44) zeigt, dass die physische Arbeitsbelastung im Verlauf des Trainings in der 2D-Gruppe kontinuierlich sank. In der 3D-Gruppe ist der *Physical Demand* zunächst rückläufig (T1, T2), an Trainingszeitpunkt T3 steigt er an und hat einen höheren Median als an T1 (T1: MW 70,8; Median 70; T3: MW 71,3; Median 72,5; vgl. Tabelle 20 Anhang 9.1.6). Auch hinsichtlich der Performance sieht man eine kontinuierliche Verbesserung, doch auch an Trainingszeitpunkt T3 zeigt sich ein Einbruch. Dass eine Korrelation zwischen Arbeitsbelastung und Performance-Score besteht, wurde bereits 2010 beschrieben: Die NASA TLX Scores korrelierten signifikant mit den Performance-Scores. Erhöhte Arbeitsbelastung ist assoziiert mit schlechterer Performance und höherer Wahrscheinlichkeit Fehler zu verursachen [82] (vgl. 4.5.2). Bei der kleinen Fallzahl (n= 12) pro Gruppe können einzelne schlechte Performance oder individuell stark empfundene Arbeitsbelastungen zu diesen Ergebnissen führen. Hier müssen größere Kollektive untersucht werden.

Zusammenfassend zeigten unsere Ergebnisse keine eindeutige Überlegenheit von einer Visualisierungstechnik über die andere unter Verwendung von geraden Instrumenten. Gerade unter diesem Gesichtspunkt sollten die höheren Kosten eines 3D-Systems im Vergleich zu den gängigen 2D-Visualisierungssystem nicht außer Acht gelassen werden.

4.4 Wird der Umgang mit gebogenen Instrumenten erleichtert unter 3D-Visualisierung?

In dieser Studie zeigte sich, dass bei der Anwendung von gebogenen Laparoskopie-Instrumenten die 3D-Visualisierung einen deutlichen Vorteil bringt. In drei Übungen (FLS-Übungen *PEG Transfer, Intracorporeal Suture* und der Transfer Übung) zeigte sich eine besserer Performance in der Gruppe, die mit gebogenen Instrumenten und 3D-Technik

trainierte, gegenüber der Gruppe, welche gebogenen Instrumente mit 2D-Visualisierungssystem verwendete. Lediglich in der Übung *Pattern Cut* konnte kein Unterschied festgestellt werden.

So lässt diese Studie schlussfolgern: Beim Erlernen von Laparoskopie mit komplexen Instrumenten ist 3D-Visualisierung vorteilhaft.

Dieses Ergebnis ist kongruent mit den Resultaten der Auswertung von geraden und gebogenen Instrumenten in 2D-Visualisierung (vgl. 4.2): Insbesondere bei den Übungen, bei denen Tiefenwahrnehmung besonders essentiell ist (*PEG Transfer, Intracorporeal Suture*) zeigt sich die Schwierigkeit von gebogenen Instrumenten und 2D-Visualisierung. Im Vergleich der Gruppen 2D-gebogen und 3D-gebogen ist auch ein Vorteil in der Transfer Übung für die 3D-Visualisierung zu sehen.

Hinsichtlich der Arbeitsbelastung zeigte sich lediglich in der Subskala „Performance" eine bessere subjektive Selbsteinschätzung der 2D-Gruppe. Bei allen anderen erfassten Parametern des NASA TLX Fragebogens zeigte sich kein Unterschied.

Für die Anwendung von Instrumenten mit vielen Freiheitsgeraden, die nicht nur eine Verlängerung der Hand-Arm-Achse des Operateurs darstellen [67], scheint die Orientierung durch 3D-Visualisierungssysteme erleichtert. Dieses trifft demnach für gebogene Instrumente aber auch auf Laparoskopie-Roboter zu. Die ersten Robotersysteme (Zeus Roboter) nutzen noch keine 3D-Visualisierungstechnologie. In Studien mit dem Zeus Roboter konnte im Vergleich zur Standardlaparoskopie kein Vorteil des Roboters gezeigt werden [102, 103]. Jedoch ist die Interpretation der Ergebnisse bei Garcia-Ruiz et al. schwierig, da das 2D-Robotersystem mit der konventionellen 2D-Laparoskopie verglichen wurde und die Versuchsteilnehmer Chirurgen waren, die selbstverständlich die konventionelle Laparoskopie schon beherrschten und den Roboter erstmalig verwendeten [102]. Nio et al. führten eine ähnliche Studie mit Novizen durch, für die beide Systeme neu waren. Diese frühen Studien betonten die Notwendigkeit der 3D-Technologie gerade bei Robotersystemen. Eine Studien untersuchte den DaVinci Roboter im 2D und 3D Vergleich und konnte eine Überlegenheit des Roboters mit 3D-Technologie feststellen [104]. Lagrange et al. untersuchten drei verschiedenen Laparoskopiemodalitäten:

3D-Roboter vs. 3D-Laparoskopie vs. 2D-Laparoskopie. Die Autoren betonen, das insbesondere bei schweren Übungen die 3D-Visualisierung überlegen zu sein scheint [105]. Es lässt sich vermuten, dass dieser Aspekt durch die Freiheitsgerade bedingt sei, doch bei Robotern scheint die 3D-Visualisierung auch aufgrund des fehlenden haptischen Feedback essentiell [105].

2016 wurde erstmalig der Einsatz von artikulierenden Instrumenten im 2D- und 3D-Settings untersucht. Aykan und Kollegen unterteilten die Versuchsteilnehmer in drei Gruppen: Novizen, Assistenzärzte mit Laparoskopieerfahrung und Experten. Sie stellten fest, dass die Operateure insbesondere beim Einsatz artikulierender Instrumente deutlich von 3D-Sicht profitieren. Die Kombination von zwei artikulierenden Instrumenten unter 3D-Sicht war den konventionellen Instrumenten in 2D- und 3D- und den artikulierenden Instrumenten unter 2D-Sicht bei Novizen überlegen [68]. Laut Aykan et al. profitieren insbesondere Novizen von 3D-Sicht [68]. Die Expertengruppe zeigte unter 3D-Sicht gleich gute Ergebnisse mit konventionellen Laparoskopieinstrumenten und artikulierenden Laparoskopieinstrumenten. Dieses Ergebnis führen Aykan et al. auf die Erfahrung der Experten mit konventionellen Laparoskopieinstrumenten zurück. Aber auch in der Expertengruppe konnte durch die 3D-Sicht die Qualität der Übung verbessert werden [68]. Sie schlussfolgern, dass das komplexe artikulierende Instrument aufgrund der sechs Freiheitsgerade idealerweise mit 3D-Visualisierung verwendet werden soll [68].

Aykan und Kollegen verwendeten in ihrer Studie jeweils zwei konventionelle oder zwei artikulierende Laparoskopieinstrumente. Sie stellen jedoch heraus, dass gerade zu Beginn des Laparoskopie-Trainings die komplexen artikulierbaren Instrumente mit konventionellen geraden Instrumenten kombiniert werden sollten [68]. In unserer Studie haben wir dieses umgesetzt: das artikulierbare Instrument wurde in Kombination mit einem konventionellen Laparoskopieinstrument verwendet.

Tokas et al. verglichen in ihrer Studie konventionelle 2D-Laparoskopie mit dem Einsatz von artikulierenden Nadelhaltern in 2D- und 3D-Visualisierung und dem Da Vinci-Roboter [65]. Die Verwendung von komplexen Instrumenten unter 2D-Sicht benötigte in allen Übungen mehr Zeit als unter 3D-Sicht [65]. Dieses Ergebnis stützt unsere Funde. Sie zeigten eine Überlegenheit der artikulierenden Instrumente unter 3D-Sicht gegenüber der

konventionellen Laparoskopie und eine Gleichwertigkeit bezüglich dem Da Vinci-Roboters [65].

Bittner et al. untersuchten den Einsatz von artikulierenden Nadelhaltern unter 2D- und 3D-Sicht [106]. Eine Schwierigkeit sahen sie in der Lernkurven von artikulierenden Instrumenten, die in der Trainingszeit im Versuchssetting nicht überwunden werden konnte [106]. Bei Verwendung von artikulierenden Instrumenten wurde mehr Zeit zum Absolvieren der Übungen benötigt als mit dem konventionellen Nadelhalter, der Visualisierungstyp hatte darauf bei Novizen keinen Einfluss [106].

Leite und Kollegen testeten ein artikulierendes, motorisiertes Instrument im 2D und 3D-Visualisierungssetting mit Novizen und Experten. Sie konnten bei den Novizen zeigen, dass die Übung „Knochen machen“ mit dem artikulierende Instrument in 3D-Sicht 114 Sekunden schneller durchgeführt werden konnte als unter 2D-Sicht [90]. Dieses unterstützt unsere Funde. Im Vergleich zwischen dem komplexen Instrument und den konventionellen Laparoskopie-Instrumenten unter 3D-Sicht zeigte sich ebenfalls eine Zeitersparnis durch das komplexe Instrument [90].

Zusammenfassend zeigt unsere Studie, dass insbesondere beim Einsatz von komplexen Instrumenten die 3D-Visualisierung von Vorteil ist.

4.5 Weitere Ergebnisse

4.5.1 Korrelation der FLS-Übungen untereinander und zur Transfer Übung

Die FLS-Übungen und die neu entwickelte Transfer Übung korrelieren hoch signifikant untereinander. Der Novize, der in einer der FLS-Übungen gute Leistungen erbracht hat, zeigte auch eine gute Performance in den anderen FLS-Übungen und in der neu entwickelten Transferaufgabe. In der Literatur wurde insbesondere die Korrelation zwischen den Performance-Scores der FLS-Übungen und dem Level des Trainierenden analysiert. So zeigt sich eine signifikante Korrelation zwischen den Scores und dem Maß an laparoskopischer Erfahrung der Trainierenden [8, 28]. Je mehr laparoskopische Erfahrung ein Trainierender hatte, umso höhere Performance-Scores wurden erreicht. In unserer

Studie wurden nur Novizen eingeschlossen, weswegen wir nicht untersuchen konnten, ob die Transfer Übung und der hierfür neu entwickelter Score zwischen Trainierenden unterschiedlicher Erfahrung diskriminieren kann. Doch die Korrelation zwischen den Performance Scores der FLS-Übungen und dem neu entwickelte Score (Performance $Score^{Transfer}$) unterstützt den Score der Transferübung.

4.5.2 Korrelation der Performance und NASA TLX

Unsere Studie konnte zeigen, dass ein hohes Frustrationslevel und eine als schlecht eingeschätzte Performance auch zu einer schlechteren Performance beim Absolvieren der Transfer Übung führt. Yurko und Kollegen konnten bereits 2010 zeigen, dass die Arbeitsbelastung während des Laparoskopie-Trainings sank. Die NASA TLX Scores korrelierten signifikant mit den Performance-Scores. Erhöhte Arbeitsbelastung ist assoziiert mit schlechterer Performance und höherer Wahrscheinlichkeit Fehler zu verursachen [82]

4.6 Stärken und Schwächen der Studie

In unserer Studie wurde systematisch der Umgang mit gebogenen DuoRotate® Instrumenten in einem konventionellen Laparoskopiesetting untersucht.

Generell gibt es wenige Studien, die den Einsatz von komplexen Instrumenten, insbesondere von gebogenen Instrumenten, im konventionellen Laparoskopiesetting untersuchen. Dieses liegt insbesondere daran, dass diese Instrumente für die Einzelschnittlaparoskopie entwickelt wurden und hauptsächlich in diesem Setting getestet wurden. Der Einsatz der DuoRotate® Instrumente wurde somit in unserer Studie erstmalig im konventionellen Laparoskopiesetting strukturiert erarbeitet und zu geraden Laparoskopie-Instrumenten in Bezug gesetzt.

Laut Zundel und Kollegen ist das Crossover-Studiendesign für Laparoskopiestudien zu empfehlen [50]. Bei der kurzen Trainingszeit und dementsprechend schweren Erreichen von *Proficiency* und einem Lernplateau haben wir uns jedoch bewusst dagegen entschieden. Andere Autoren wie Shakir und Kollegen kritisieren das Crossovers-Studiendesign. Sie begründen es dadurch, dass jede Trainingsmodalität ihre eigene Lernkurve habe [27]. Die Versuchsteilnehmer hatten eine relativ kurze Trainingszeit von 25 Stunden für

vier verschiedene Übungen. Der Aspekt, dass die Novizen sich noch im Lernprozess befanden und ein Plateau der Lernkurve noch nicht erreicht hatten, könnte ein weiterer Bias in der Analyse unserer Daten sein. Doch laut Sroka et al soll schon nach 7,5 Stunden Training am Simulator eine deutliche Verbesserung der Performance erreicht sein [39].
Da einige Autoren komplexere und klinischere Übungen forderten [11], wurde die Transfer Übung entwickelt. Ein Kritikpunkt ist hier sicherlich die fehlende Validierung der Transfer Übung. Aus diesem Grund wurde die neu entwickelte Transfer Übung mit etablierten Übungen des FLS-Kurrikulums kombiniert.
Der NASA TLX Fragebogen wurde in digitaler Form der Handyversion verwendet. Ihn gibt es nur in englischer Sprache. Obwohl die Begriffe vom Versuchsleiter übersetzt wurden und eine ausführliche Erklärung des Fragebogens in deutsch erfolgte, könnte es hier gegebenenfalls zu einer Fehldifferenzierung einzelner Begriffe kommen.
Eine Schwierigkeit von Studien an Laparoskopiesimulatoren ist die unterschiedliche angeborene Begabung der Versuchsteilnehmer für Laparoskopie. Statistisch zeigte sich bei unseren Probanden kein signifikanter Unterschied zu Vorerfahrung mit Laparoskopie, da ein Auschlusskriterium der Studie laparoskopische Vorerfahrungen >2 Stunden war. Es wurde bewusst eine stratifizierte Randomisierung durchgeführt, doch auch beim Erlernen nehmen natürliche Begabungen der Versuchsteilnehmer Einfluss (vgl. [6]). Um die Verzerrung durch Begabung zu minimieren, sind deutlich größere Fallzahlen notwendig, wie auch Zundel und Kollegen betonen [50]. Eine Schwäche unserer Studie ist sicherlich die niedrige Probandenzahl und das Setting im Trockenlabor mit Novizen. Doch zusammenfassend ist die Fragestellung in einem simplen Studiendesign im Trockenlabor strukturiert untersucht worden. Im nächsten Schritt wäre es interessant zu sehen ob sich diese Ergebnisse in klinische Arbeitsbedingungen mit erfahrenen Chirurgen übertragen ließen.

4.7 Schlussfolgerung und Ausblick

Unsere Studie konnte folgende Ergebnisse zeigen: (1) Im 2D-Laparoskopietrainer ist die Anwendung von geraden Instrumenten für Novizen leichter als von gebogenen Instrumenten. Insbesondere bei Übungen mit Tiefenwahrnehmung ist der Einsatz von gebogenen Instrumenten und 2D-Visualisierung von Nachteil. (2) Eine Überlegenheit der 3D-Laparoskopie mit geraden Instrumenten gegenüber der 2D-Laparoskopie mit geraden Instrumenten bei Novizen konnte nicht eindeutig gezeigt werden. (3) Der Einsatz von 3D-Visualisierungssystemen ist insbesondere bei der Verwendung von gebogenen Instrumenten von Vorteil.

Schlussfolgerung: Der standardmäßige Einsatz von 3D-Technologie mit konventionellen Laparoskopie-Instrumenten scheint laut unseren Ergebnissen nicht notwendig. In bestimmten komplizierten Manövern kann die Anwendung von komplexen Laparoskopieinstrumenten sinnvoll sein. Beim Einsatz von komplexen Instrumenten wird die Notwendigkeit der 3D-Technologie betont.

Jedoch sollten vorher unsere Ergebnisse in größeren Kohorten überprüft werden und anschließend ins klinische Setting übertragen werden.

Hypothese	Experimentelles Setting im Trockenlabor	Ergebnis
Die Anwendung von komplexen Laparoskopie-Instrumenten ist für Novizen schwieriger als die von geraden, konventionellen Laparoskopie-Instrumenten und geht demnach mit einer schlechteren Performance einher.	Vergleich der Performance von Novizen an 2D-Laparoskopietrainern mit dem komplexen Instrument DuoRotate im Vergleich zu konventionellen Laparoskopie-Instrumenten. • 2D-gerade vs. 2D-gebogen	Bestätigung der Hypothese
Novizen zeigen eine bessere Performance unter Anwendung von 3D-Visualisierungstechnik in der konventionellen Laparoskopie.	Vergleich der Performance von Novizen beim Training mit konventionellen Laparoskopie-Instrumenten mit 2D- und 3D-Visualisierungssystem. • 2D-gerade vs. 3D-gerade	Es konnte kein eindeutiger Unterschied der Performance unter den zwei Visualisierungssystemen festgestellt werden.
3D-Visualisierungstechnik ist insbesondere vorteilhaft beim Einsatz von komplexen Laparoskopie-Instrumenten und führt zu einer besseren Performance der Novizen.	Vergleich der Performance von Novizen unter Anwendung von komplexen Instrumenten (DuoRotate) mit 2D- und 3D-Visualisierungssystem. • 2D-gebogen vs. 3D-gebogen	Bestätigung der Hypothese

Tabelle 13: Hypothese, experimentelles Setting im Trockenlabor und Ergebnis der Studie.

5 Literaturverzeichnis

1. Nickel F, Kowalewski KF, Muller-Stich BP. [Risk awareness and training for prevention of complications in minimally invasive surgery]. Chirurg. 2015;86(12):1121-7.
2. Trondsen E, Reiertsen O, Andersen OK, Kjaersgaard P. Laparoscopic and open cholecystectomy. A prospective, randomized study. Eur J Surg. 1993;159(4):217-21.
3. Butler N, Collins S, Memon B, Memon MA. Minimally invasive oesophagectomy: current status and future direction. Surgical endoscopy. 2011;25(7):2071-83.
4. Siech M, Bartsch D, Beger HG, Benz S, Bergmann U, Busch P, et al. [Indications for laparoscopic pancreas operations: results of a consensus conference and the previous laparoscopic pancreas register]. Chirurg. 2012;83(3):247-53.
5. Gallagher AG, Ritter EM, Lederman AB, McClusky DA, 3rd, Smith CD. Video-assisted surgery represents more than a loss of three-dimensional vision. Am J Surg. 2005;189(1):76-80.
6. Dawidek MT, Roach VA, Ott MC, Wilson TD. Changing the Learning Curve in Novice Laparoscopists: Incorporating Direct Visualization into the Simulation Training Program. J Surg Educ. 2017;74(1):30-6.
7. Heemskerk J, Zandbergen R, Maessen JG, Greve JW, Bouvy ND. Advantages of advanced laparoscopic systems. Surgical endoscopy. 2006;20(5):730-3.
8. Derossis AM, Fried GM, Abrahamowicz M, Sigman HH, Barkun JS, Meakins JL. Development of a model for training and evaluation of laparoscopic skills. Am J Surg. 1998;175(6):482-7.
9. Babineau TJ, Becker J, Gibbons G, Sentovich S, Hess D, Robertson S, et al. The "cost" of operative training for surgical residents. Arch Surg. 2004;139(4):366-9; discussion 9-70.
10. Aggarwal R, Mytton OT, Derbrew M, Hananel D, Heydenburg M, Issenberg B, et al. Training and simulation for patient safety. Qual Saf Health Care. 2010;19 Suppl 2:i34-43.

11. Zendejas B, Brydges R, Hamstra SJ, Cook DA. State of the evidence on simulation-based training for laparoscopic surgery: a systematic review. Ann Surg. 2013;257(4):586-93.
12. Sturm LP, Windsor JA, Cosman PH, Cregan P, Hewett PJ, Maddern GJ. A systematic review of skills transfer after surgical simulation training. Ann Surg. 2008;248(2):166-79.
13. Nagendran M, Toon CD, Davidson BR, Gurusamy KS. Laparoscopic surgical box model training for surgical trainees with no prior laparoscopic experience. The Cochrane database of systematic reviews. 2014(1):CD010479.
14. Korndorffer JR, Jr., Dunne JB, Sierra R, Stefanidis D, Touchard CL, Scott DJ. Simulator training for laparoscopic suturing using performance goals translates to the operating room. J Am Coll Surg. 2005;201(1):23-9.
15. Nagendran M, Gurusamy KS, Aggarwal R, Loizidou M, Davidson BR. Virtual reality training for surgical trainees in laparoscopic surgery. The Cochrane database of systematic reviews. 2013(8):CD006575.
16. Gurusamy KS, Nagendran M, Toon CD, Davidson BR. Laparoscopic surgical box model training for surgical trainees with limited prior laparoscopic experience. The Cochrane database of systematic reviews. 2014(3):CD010478.
17. Thinggaard E, Konge L, Bjerrum F, Strandbygaard J, Gogenur I, Spanager L. Take-home training in a simulation-based laparoscopy course. Surgical endoscopy. 2017;31(4):1738-45.
18. Papanikolaou IG, Haidopoulos D, Paschopoulos M, Chatzipapas I, Loutradis D, Vlahos NF. Changing the way we train surgeons in the 21th century: A narrative comparative review focused on box trainers and virtual reality simulators. Eur J Obstet Gynecol Reprod Biol. 2019;235:13-8.
19. Nickel F, Brzoska JA, Gondan M, Rangnick HM, Chu J, Kenngott HG, et al. Virtual reality training versus blended learning of laparoscopic cholecystectomy: a randomized controlled trial with laparoscopic novices. Medicine (Baltimore). 2015;94(20):e764.

20. Sutherland LM, Middleton PF, Anthony A, Hamdorf J, Cregan P, Scott D, et al. Surgical simulation: a systematic review. Ann Surg. 2006;243(3):291-300.
21. van Velthoven RF, Hoffmann P. Methods for laparoscopic training using animal models. Curr Urol Rep. 2006;7(2):114-9.
22. Dunkin B, Adrales GL, Apelgren K, Mellinger JD. Surgical simulation: a current review. Surgical endoscopy. 2007;21(3):357-66.
23. Munz Y, Kumar BD, Moorthy K, Bann S, Darzi A. Laparoscopic virtual reality and box trainers: is one superior to the other? Surgical endoscopy. 2004;18(3):485-94.
24. Sieber MA, Fellmann-Fischer B, Mueller M. Performance of Kymerax(c) precision-drive articulating surgical system compared to conventional laparoscopic instruments in a pelvitrainer model. Surgical endoscopy. 2017;31(10):4298-308.
25. Harada H, Kanaji S, Nishi M, Otake Y, Hasegawa H, Yamamoto M, et al. The learning effect of using stereoscopic vision in the early phase of laparoscopic surgical training for novices. Surgical endoscopy. 2018;32(2):582-8.
26. Ozsoy M, Kallidonis P, Kyriazis I, Panagopoulos V, Vasilas M, Sakellaropoulos GC, et al. Novice surgeons: do they benefit from 3D laparoscopy? Lasers Med Sci. 2015;30(4):1325-33.
27. Shakir F, Jan H, Kent A. 3D straight-stick laparoscopy versus 3D robotics for task performance in novice surgeons: a randomised crossover trial. Surgical endoscopy. 2016;30(12):5380-7.
28. Thinggaard E, Bjerrum F, Strandbygaard J, Gogenur I, Konge L. Validity of a cross-specialty test in basic laparoscopic techniques (TABLT). Br J Surg. 2015;102(9):1106-13.
29. Kolkman W, Van de Put MA, Van den Hout WB, Trimbos JB, Jansen FW. Implementation of the laparoscopic simulator in a gynecological residency curriculum. Surgical endoscopy. 2007;21(8):1363-8.
30. Tjiam IM, Persoon MC, Hendrikx AJ, Muijtjens AM, Witjes JA, Scherpbier AJ. Program for laparoscopic urologic skills: a newly developed and validated educational program. Urology. 2012;79(4):815-20.

31. Peters JH, Fried GM, Swanstrom LL, Soper NJ, Sillin LF, Schirmer B, et al. Development and validation of a comprehensive program of education and assessment of the basic fundamentals of laparoscopic surgery. Surgery. 2004;135(1):21-7.
32. Brinkman WM, Tjiam IM, Schout BM, Muijtjens AM, Van Cleynenbreugel B, Koldewijn EL, et al. Results of the European Basic Laparoscopic Urological Skills examination. Eur Urol. 2014;65(2):490-6.
33. Soper NJ, Fried GM. The fundamentals of laparoscopic surgery: its time has come. Bull Am Coll Surg. 2008;93(9):30-2.
34. Fraser SA, Klassen DR, Feldman LS, Ghitulescu GA, Stanbridge D, Fried GM. Evaluating laparoscopic skills: setting the pass/fail score for the MISTELS system. Surgical endoscopy. 2003;17(6):964-7.
35. Surgeons FoLSFpSoAGaE. FLS Manual Skills Written Instructions and Performance Guidelines http://www.flsprogram.org2014
36. Derossis AM, Antoniuk M, Fried GM. Evaluation of laparoscopic skills: a 2-year follow-up during residency training. Can J Surg. 1999;42(4):293-6.
37. Vassiliou MC, Ghitulescu GA, Feldman LS, Stanbridge D, Leffondre K, Sigman HH, et al. The MISTELS program to measure technical skill in laparoscopic surgery : evidence for reliability. Surgical endoscopy. 2006;20(5):744-7.
38. Fried GM, Feldman LS, Vassiliou MC, Fraser SA, Stanbridge D, Ghitulescu G, et al. Proving the value of simulation in laparoscopic surgery. Ann Surg. 2004;240(3):518-25; discussion 25-8.
39. Sroka G, Feldman LS, Vassiliou MC, Kaneva PA, Fayez R, Fried GM. Fundamentals of laparoscopic surgery simulator training to proficiency improves laparoscopic performance in the operating room-a randomized controlled trial. Am J Surg. 2010;199(1):115-20.
40. Kunert W, Storz P, Muller S, Axt S, Kirschniak A. [3D in laparoscopy: state of the art]. Chirurg. 2013;84(3):202-7.
41. Tanagho YS, Andriole GL, Paradis AG, Madison KM, Sandhu GS, Varela JE, et al. 2D versus 3D visualization: impact on laparoscopic proficiency using the

fundamentals of laparoscopic surgery skill set. J Laparoendosc Adv Surg Tech A. 2012;22(9):865-70.

42. Smith R, Day A, Rockall T, Ballard K, Bailey M, Jourdan I. Advanced stereoscopic projection technology significantly improves novice performance of minimally invasive surgical skills. Surgical endoscopy. 2012;26(6):1522-7.
43. Sakata S, Grove PM, Watson MO, Stevenson ARL. The impact of crosstalk on three-dimensional laparoscopic performance and workload. Surgical endoscopy. 2017;31(10):4044-50.
44. Lambooij M, Ijsselsteijn, W. . Visual Discomfort and Visual Fatigue of Stereoscopic Displays: A Review. Journal of Imaging Science and Technology. 2009;53(3):0302011-03020114.
45. Taffinder N, Smith SG, Huber J, Russell RC, Darzi A. The effect of a second-generation 3D endoscope on the laparoscopic precision of novices and experienced surgeons. Surgical endoscopy. 1999;13(11):1087-92.
46. Alaraimi B, El Bakbak W, Sarker S, Makkiyah S, Al-Marzouq A, Goriparthi R, et al. A randomized prospective study comparing acquisition of laparoscopic skills in three-dimensional (3D) vs. two-dimensional (2D) laparoscopy. World J Surg. 2014;38(11):2746-52.
47. Sorensen SM, Savran MM, Konge L, Bjerrum F. Three-dimensional versus two-dimensional vision in laparoscopy: a systematic review. Surgical endoscopy. 2016;30(1):11-23.
48. Cicione A, Autorino R, Breda A, De Sio M, Damiano R, Fusco F, et al. Three-dimensional vs standard laparoscopy: comparative assessment using a validated program for laparoscopic urologic skills. Urology. 2013;82(6):1444-50.
49. Votanopoulos K, Brunicardi FC, Thornby J, Bellows CF. Impact of three-dimensional vision in laparoscopic training. World J Surg. 2008;32(1):110-8.
50. Zundel S, Lehnick D, Heyne-Pietschmann M, Truck M, Szavay P. A Suggestion on How to Compare 2D and 3D Laparoscopy: A Qualitative Analysis of the Literature and Randomized Pilot Study. J Laparoendosc Adv Surg Tech A. 2018.

51. Wilhelm D, Reiser S, Kohn N, Witte M, Leiner U, Muhlbach L, et al. Comparative evaluation of HD 2D/3D laparoscopic monitors and benchmarking to a theoretically ideal 3D pseudodisplay: even well-experienced laparoscopists perform better with 3D. Surgical endoscopy. 2014;28(8):2387-97.
52. Agrusa A, Di Buono G, Buscemi S, Cucinella G, Romano G, Gulotta G. 3D laparoscopic surgery: a prospective clinical trial. Oncotarget. 2018;9(25):17325-33.
53. Mack MJ. Minimally invasive and robotic surgery. JAMA. 2001;285(5):568-72.
54. Okken LM, Chmarra MK, Hiemstra E, Jansen FW, Dankelman J. Assessment of joystick and wrist control in hand-held articulated laparoscopic prototypes. Surgical endoscopy. 2012;26(7):1977-85.
55. Zhang L, Zhou N, Wang S. Direct manipulation of tool-like masters for controlling a master-slave surgical robotic system. Int J Med Robot. 2014;10(4):427-37.
56. Frede T, Hammady A, Klein J, Teber D, Inaki N, Waseda M, et al. The radius surgical system - a new device for complex minimally invasive procedures in urology? Eur Urol. 2007;51(4):1015-22; discussion 22.
57. Inaki N, Waseda M, Schurr MO, Braun M, Buess GF. Experimental results of mesh fixation by a manual manipulator in a laparoscopic inguinal hernia repair model. Surgical endoscopy. 2007;21(2):197-201.
58. Miernik A, Schoenthaler M, Lilienthal K, Frankenschmidt A, Karcz WK, Kuesters S. Pre-bent instruments used in single-port laparoscopic surgery versus conventional laparoscopic surgery: comparative study of performance in a dry lab. Surgical endoscopy. 2012;26(7):1924-30.
59. Sanchez-Margallo FM, Matos-Azevedo AM, Perez-Duarte FJ, Enciso S, Martin-Portugues ID. Performance analysis on physical simulator of four different instrument setups in laparo-endoscopic single-site (LESS) surgery. Surgical endoscopy. 2014;28(5):1479-88.
60. Wang D, Shi LQ, Wang JM, Jiang XH, Ji ZL. Comparison of different sets of instruments for laparoendoscopic single-site surgery in a surgical simulator with novices. ANZ J Surg. 2016;86(4):264-9.

61. Wang D, Wang Y, Ji ZL. Laparoendoscopic single-site cholecystectomy versus conventional laparoscopic cholecystectomy: a systematic review of randomized controlled trials. ANZ J Surg. 2012;82(5):303-10.

62. Cabrera PM, Caceres F, Garcia-Tello A, Angulo JC. Initial experience of umbilical laparoendoscopic single-site nephron-sparing surgery with KeyPort and DuoRotate system. J Endourol. 2013;27(5):566-72.

63. Andres G, Garcia-Mediero JM, Garcia-Tello A, Arance I, Cabrera PM, Angulo JC. The best option: Umbilical LESS radical nephrectomy with vaginal extraction. Actas Urol Esp. 2015;39(3):188-94.

64. Waseda M, Inaki N, Torres Bermudez JR, Manukyan G, Gacek IA, Schurr MO, et al. Precision in stitches: Radius Surgical System. Surgical endoscopy. 2007;21(11):2056-62.

65. Tokas T, Gozen AS, Avgeris M, Tschada A, Fiedler M, Klein J, et al. Combining of ETHOS Operating Ergonomic Platform, Three-dimensional Laparoscopic Camera, and Radius Surgical System Manipulators Improves Ergonomy in Urologic Laparoscopy: Comparison with Conventional Laparoscopy and da Vinci in a Pelvi Trainer. Eur Urol Focus. 2017;3(4-5):413-20.

66. Stolzenburg JU, Kallidonis P, Oh MA, Ghulam N, Do M, Haefner T, et al. Comparative assessment of laparoscopic single-site surgery instruments to conventional laparoscopic in laboratory setting. J Endourol. 2010;24(2):239-45.

67. Martinec DV, Gatta P, Zheng B, Denk PM, Swanstrom LL. The trade-off between flexibility and maneuverability: task performance with articulating laparoscopic instruments. Surgical endoscopy. 2009;23(12):2697-701.

68. Aykan S, Akin Y, Pelit ES, Gulmez H, Tuken M, Colakerol A, et al. Impact of Motorized Articulating Laparoscopic Devices with Three-Dimension Visualizing System: A Pilot Study. J Endourol. 2017;31(2):174-9.

69. Madec FX, Dariane C, Cornu JN. Evaluation and comparison of basic gestures in ex vivo laparoscopic surgery using a robotic instrument and traditional laparoscopic instruments. Prog Urol. 2020;30(1):58-63.

70. Bensignor T, Morel G, Reversat D, Fuks D, Gayet B. Evaluation of the effect of a laparoscopic robotized needle holder on ergonomics and skills. Surgical endoscopy. 2016;30(2):446-54.
71. Cabrera PM, Caceres F, Garcia-Tello A, Garcia-Mediero JM, Arconada J, Angulo JC. [Umbilical single-port pyelolithectomy on horseshoe kidney: a new indication]. Actas Urol Esp. 2012;36(2):121-5.
72. Caceres F, Cabrera PM, Garcia-Tello A, Garcia-Mediero JM, Angulo JC. Safety study of umbilical single-port laparoscopic radical prostatectomy with a new DuoRotate system. Eur Urol. 2012;62(6):1143-9.
73. Garcia-Tello A, Cabrera PM, Caceres F, Ramon de Fata F, Mateo E, Angulo JC. Umbilical laparoendoscopic urological surgery with a novel reusable device. Scand J Urol. 2014;48(3):301-8.
74. Sandfeld L, Weihrauch H, Tubaek G. Analysis of the current preschool vision screening in Denmark. Acta Ophthalmol. 2018.
75. Prabhu A, Smith W, Yurko Y, Acker C, Stefanidis D. Increased stress levels may explain the incomplete transfer of simulator-acquired skill to the operating room. Surgery. 2010;147(5):640-5.
76. Stefanidis D, Korndorffer JR, Jr., Markley S, Sierra R, Heniford BT, Scott DJ. Closing the gap in operative performance between novices and experts: does harder mean better for laparoscopic simulator training? J Am Coll Surg. 2007;205(2):307-13.
77. Stefanidis D, Anton NE, McRary G, Howley LD, Pimentel M, Davis C, et al. Implementation results of a novel comprehensive mental skills curriculum during simulator training. Am J Surg. 2017;213(2):353-61.
78. Mané AM, Adams, J.A., Dochin E., Mane A.M. . Adaptive and part-whole training in the acquisition of a complex perceptual-motor skill. Acta Psychol (Amst). 1989;71(1-3):179-96.
79. Stefanidis D, Hope WW, Korndorffer JR, Jr., Markley S, Scott DJ. Initial laparoscopic basic skills training shortens the learning curve of laparoscopic suturing and is cost-effective. J Am Coll Surg. 2010;210(4):436-40.

80. Hart S. Nasa-Task Load Index (NASA-TLX); 20 Years Later. Sage. 2006;50(9):904-8.

81. Hart S, Staveland L. Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of Empirical and Theoretical Research. Advances in Psychology. 1988;52:139-83.

82. Yurko YY, Scerbo MW, Prabhu AS, Acker CE, Stefanidis D. Higher mental workload is associated with poorer laparoscopic performance as measured by the NASA-TLX tool. Simul Healthc. 2010;5(5):267-71.

83. Hoonakker P, Carayon P, Gurses A, Brown R, McGuire K, Khunlertkit A, et al. Measuring Workload of Icu Nurses with a Questionnaire Survey: The Nasa Task Load Index (Tlx). IIE Trans Healthc Syst Eng. 2011;1(2):131-43.

84. Rubio S, Diaz, E., Martin, J., Puente, JM. . Evaluation of Subjective Mental Workload: A Comparison of SWAT, NASA-TLX, and Workload Profile Methods. Applied Psychology: an International Review. 2004;53(1):61-86.

85. Schoenthaler M, Schnell D, Wilhelm K, Schlager D, Adams F, Hein S, et al. Stereoscopic (3D) versus monoscopic (2D) laparoscopy: comparative study of performance using advanced HD optical systems in a surgical simulator model. World J Urol. 2016;34(4):471-7.

86. Bühl A. SPSS 22 Einführung in die moderne Datenanalyse. Pearson, Hallbergmoos. 2014;14.

87. Abou-Haidar H, Al-Qaoud T, Jednak R, Brzezinski A, El-Sherbiny M, Capolicchio JP. Laparoscopic pyeloplasty: Initial experience with 3D vision laparoscopy and articulating shears. J Pediatr Urol. 2016;12(6):426 e1- e5.

88. Harrington CM, Dicker P, Traynor O, Kavanagh DO. Visuospatial abilities and fine motor experiences influence acquisition and maintenance of fundamentals of laparoscopic surgery (FLS) task performance. Surgical endoscopy. 2018;32(11):4639-48.

89. Kolozsvari NO, Andalib A, Kaneva P, Cao J, Vassiliou MC, Fried GM, et al. Sex is not everything: the role of gender in early performance of a fundamental laparoscopic skill. Surgical endoscopy. 2011;25(4):1037-42.

90. Leite M, Carvalho AF, Costa P, Pereira R, Moreira A, Rodrigues N, et al. Assessment of Laparoscopic Skills Performance: 2D Versus 3D Vision and Classic Instrument Versus New Hand-Held Robotic Device for Laparoscopy. Surg Innov. 2016;23(1):52-61.

91. Sanchez-Margallo JA, Sanchez-Margallo FM. Initial experience using a robotic-driven laparoscopic needle holder with ergonomic handle: assessment of surgeons' task performance and ergonomics. Int J Comput Assist Radiol Surg. 2017;12(12):2069-77.

92. Sun CC, Chiu AW, Chen KK, Chang LS. Assessment of a three-dimensional operating system with skill tests in a pelvic trainer. Urol Int. 2000;64(3):154-8.

93. Mistry M, Roach VA, Wilson TD. Application of stereoscopic visualization on surgical skill acquisition in novices. J Surg Educ. 2013;70(5):563-70.

94. Storz P, Buess GF, Kunert W, Kirschniak A. 3D HD versus 2D HD: surgical task efficiency in standardised phantom tasks. Surgical endoscopy. 2012;26(5):1454-60.

95. Wagner OJ, Hagen M, Kurmann A, Horgan S, Candinas D, Vorburger SA. Three-dimensional vision enhances task performance independently of the surgical method. Surgical endoscopy. 2012;26(10):2961-8.

96. Bhayani SB, Andriole GL. Three-Dimensional (3D) Vision: Does It Improve Laparoscopic Skills? An Assessment of a 3D Head-Mounted Visualization System. Rev Urol. 2005;7(4):211-4.

97. Lusch A, Bucur PL, Menhadji AD, Okhunov Z, Liss MA, Perez-Lanzac A, et al. Evaluation of the impact of three-dimensional vision on laparoscopic performance. J Endourol. 2014;28(2):261-6.

98. Sakata S, Grove PM, Hill A, Watson MO, Stevenson ARL. Impact of simulated three-dimensional perception on precision of depth judgements, technical performance and perceived workload in laparoscopy. Br J Surg. 2017;104(8):1097-106.

99. Gomez-Gomez E, Carrasco-Valiente J, Valero-Rosa J, Campos-Hernandez JP, Anglada-Curado FJ, Carazo-Carazo JL, et al. Impact of 3D vision on mental

workload and laparoscopic performance in inexperienced subjects. Actas Urol Esp. 2015;39(4):229-35.

100. Smith R, Schwab K, Day A, Rockall T, Ballard K, Bailey M, et al. Effect of passive polarizing three-dimensional displays on surgical performance for experienced laparoscopic surgeons. Br J Surg. 2014;101(11):1453-9.

101. Buia A, Stockhausen F, Filmann N, Hanisch E. 2D vs. 3D imaging in laparoscopic surgery-results of a prospective randomized trial. Langenbecks Arch Surg. 2017;402(8):1241-53.

102. Garcia-Ruiz A, Gagner M, Miller JH, Steiner CP, Hahn JF. Manual vs robotically assisted laparoscopic surgery in the performance of basic manipulation and suturing tasks. Arch Surg. 1998;133(9):957-61.

103. Nio D, Bemelman WA, Boer KT, Dunker MS, Gouma DJ, Gulik TM. Efficiency of manual versus robotical (Zeus) assisted laparoscopic surgery in the performance of standardized tasks. Surgical endoscopy. 2002;16(3):412-5.

104. Munz Y, Moorthy K, Dosis A, Hernandez JD, Bann S, Bello F, et al. The benefits of stereoscopic vision in robotic-assisted performance on bench models. Surgical endoscopy. 2004;18(4):611-6.

105. LaGrange CA, Clark CJ, Gerber EW, Strup SE. Evaluation of three laparoscopic modalities: robotics versus three-dimensional vision laparoscopy versus standard laparoscopy. J Endourol. 2008;22(3):511-6.

106. Bittner JG HC, Brown JA. Three-dimensional visualisation and articulating instrumentation: Impact on simulated laparoscopic tasks. J Min Access Surg. 2008;4:31-8.

https://www.flsprogram.org/wp-content/uploads/2014/02/Proficiency-Based-Curriculum-Word-File-updated-February-2014.pdf (08.03.2019)

https://www.flsprogram.org/wp-content/uploads/2014/03/Revised-Manual-Skills-Guidelines-February-2014.pdf (08.03.2019)

https://www.karlstorz.com/cps/rde/xbcr/karlstorz_assets/ASSETS/2532460.pdf (28.02.2020)

https://www.methodenberatung.uzh.ch/de/datenanalyse_spss.html (17.03.2020)

https://www.medtronic.com/content/dam/covidien/library/global/en/product/hand-instruments-and-ligation/sils-dissect-f.jpg (17.03.2020)

http://www.micro-co.com/2008/06/04/1752/ (17.03.2020)

https://www.karlstorz.com/cps/rde/xbcr/karlstorz_assets/ASSETS/3331342.pdf (17.03.2020)

http://de.ethicon.com/healthcare-professionals/Unsere-Produkte/Klammernahtinstrumente/Endoskopische-Linear-Cutter/ECHELON-FLEX-powered-vascular-Endo-Cutter (17.03.2020)

https://humansystems.arc.nasa.gov/groups/tlx/downloads/TLXScale.pdf (18.03.2020)

https://rechneronline.de/zufallszahlen/ (19.11.2020)

6 Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

6.1 Abbildungen

Abbildung 1: Trainingsmodalitäten [1]; POP: *pulsatile organ perfusion*. 5

Abbildung 2: Ein Stereolaparoskop mit zwei Stablinsenoptiken. Diese sind im Hüllrohr nebeneinander angebracht (Bildrechte: Richard Wolf GmbH).....7

Abbildung 3: DuoRotate Instrumente (Bildrechte: Richard Wolf GmbH). 13

Abbildung 4: Trainingsplätze (A) Laparoskopietrainer nach Szabo-Berci-Sackier mit 2D-Optik und –Monitor (B) 3D-Optik mit Monitor; dieser wurde ebenfalls mit dem Box-Trainer nach Szabo-Berci-Sackier kombiniert. (Bildrechte A: https://www.karlstorz.com/cps/rde/xbcr/karlstorz_assets/ASSETS/2532460.pdf; B: Richard Wolf GmbH) 17

Abbildung 5: Studienaufbau. Die Novizen wurden in vier Gruppen (2D-gerade, 2D-gebogen, 3D-gerade, 3D-gebogen) randomisiert. Im Anschluss führten sie mit unterschiedlichen Visualisierungssystemen und unterschiedlichen Instrumenten-Settings das gleiche Trainingskurrikulum durch.....18

Abbildung 6: Übungen (A) *PEG Transfer* (B) *Pattern Cut* (C) *Intracorporeal Suture* (D) Transfer Übung. 20

Abbildung 7: Transfer Übung (A) Der Schaumstoff wurde aufrecht im Boxtrainer aufgestellt. Um die rote Form entlang der schwarzen markierten Linie auszuschneiden war es notwendig, den Schaumstoff mit Fasszangen zu bewegen (B-D). Nachdem die Form vollständig ausgeschnitten war, wurden die beiden weiteren Schaumstoffteile (i, ii) möglichst stufenfrei mit drei Einzelknopfnähten zusammengenäht (E).....23

Abbildung 8: Definition der Rating Scale und Endpunkte des NASA TLX [84].....25

Abbildung 9: Der NASA TLX Fragebogen in elektronischer Version auf dem Handy. (A) Nach einer Einleitung in den Fragebogen und Definition der gefragten Begriffe erfolgt zunächst eine Gegenüberstellung von „Pärchen“. (B) Im zweiten Schritt erfolgt das *Rating*, bei der jede erfragte Anforderung auf einer visuellen Analogscala beurteilt werden kann. (C) Im Anschluss wird

dem Supervisor von dem Programm eine Auswertung mit und ohne Gewichtung angezeigt. 26

Abbildung 10: *PEG Transfer* (A) Zum Trainingszeitpunkt T2 und T3 zeigte sich eine bessere Performance der Gruppe 2D-gerade (Mann-Whitney U Test). (B) Die Gruppe 2D-gerade absolvierte den *PEG Transfer* signifikant schneller zum Trainingszeitpunkt T5 (einfaktorielle Varianzanalyse ANOVA). Vgl. Anhang 9.1.2. *p<0,05. 38

Abbildung 11: *Intracorporeal Suture:* (A) An Trainingszeitpunkt T1, T2, T3 und T5 zeigt die Gruppe mit den geraden Laparoskopie-Instrumenten eine signifikant bessere Performance (Mann-Whitney U Test), (B) zu Trainingszeitpunkt 2 und 3 führten sie die Übung schneller durch, als die Novizen mit gebogenen Laparoskopie-Instrumenten (einfaktorielle Varianzanalyse ANOVA). (C) An Trainingszeitpunkt 1 und 5 wurden von den Novizen mit geraden Laparoskopie-Instrumenten weniger Fehler gemacht (Mann-Whitney U Test). Vgl. Anhang 9.1.4. *p<0,05; **p<0,01; ***p<0,001. ..40

Abbildung 12: *Pattern Cut:* Es zeigt sich kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen (Mann-Whitney U-Test: Performance; einfaktorielle Varianzanalyse ANOVA: Zeit). 42

Abbildung 13: Transfer Übung: Es zeigt sich kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen (Mann-Whitney U-Test: Performance; einfaktorielle Varianzanalyse ANOVA: Zeit).....43

Abbildung 14: *Pattern Cut*: (A) An Trainingszeitpunkt T4 zeigt die Gruppe mit dem 3D-Visualisierungssystem eine signifikant bessere Performance als die 2D-Gruppe (Mann-Whitney U Test). (B) Hinsichtlich der Zeit, in der die Übung absolviert wurde, wurde kein Unterschied zwischen den Gruppen festgestellt (einfaktorielle Varianzanalyse ANOVA). *p<0,05. 45

Abbildung 15: *Physical Demand*: Die körperliche Anstrengung wurde von der Gruppe mit 2D-Visualisierungstechnik niedriger empfunden als in der Gruppe, die die 3D-Technik nutzte (T-Test für unabhängige Stichproben). VAS: Visuelle Analogscala 0-100; *p<0,05; **p<0,01. 46

Abbildung 16: *PEG Transfer:* Es zeigt sich kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen. (Mann-Whitney U-Test: Performance; einfaktorielle Varianzanalyse ANOVA: Zeit). 47

Abbildung 17: *Intracorporeal Suture:* Es zeigt sich kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen. (Mann-Whitney U-Test: Performance; einfaktorielle Varianzanalyse ANOVA: Zeit).....48

Abbildung 18: Transfer Übung: Es zeigt sich kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen. (Mann-Whitney U-Test: Performance; einfaktorielle Varianzanalyse ANOVA: Zeit).....49

Abbildung 19: *PEG Transfer* (A) An Trainingszeitpunkt T1 und T3 zeigt die Gruppe unter Verwendung des 3D-Visualisierungssystems eine signifikant bessere Performance (Mann-Whitney U Test), (B) zu Trainingszeitpunkt T1 führten sie die Übung schneller durch, als die Novizen mit 2D-Optik (einfaktorielle Varianzanalyse ANOVA).Siehe Anhang 9.1.2. *p<0,05; **p<0,01. 51

Abbildung 20: *Intracorporeal Suture* (A) An Trainingszeitpunkt T3 und T5 zeigt die Gruppe unter Verwendung des 3D-Visualisierungssystems eine signifikant bessere Performance (Mann-Whitney U Test), (B) zu Trainingszeitpunkt T3 führten sie die Übung schneller durch, als die Novizen mit 2D-Optik (einfaktorielle Varianzanalyse ANOVA).*p<0,05. 53

Abbildung 21: Transfer Übung: (A) An Trainingszeitpunkt T3, T4 und T5 zeigt die Gruppe unter Verwendung des 3D-Visualisierungssystems eine signifikant bessere Performance als die Novizen mit 2D-Optik (Mann-Whitney U Test). (B) Ein zeitlicher Unterschied zum Absolvieren der Übung wurde nicht festgestellt (einfaktorielle Varianzanalyse ANOVA). *p<0,05; **p<0,01. 54

Abbildung 22: *Pattern Cut*: Es zeigt sich kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen. (Mann-Whitney U-Test: Performance; einfaktorielle Varianzanalyse ANOVA: Zeit). 56

Abbildung 23: Darstellung der Korrelation zwischen dem Performance-Score^{Transfer} und der subjektiven Bewertung zu den Trainingszeitpunkten T1-T5 (A-E): Zu allen fünf Trainingszeitpunkten korrelieren der Performance-Score und die subjektive Beurteilung signifikant. Ein hoher Performance-Score geht mit einer niedrigen subjektiven Beurteilung (0: beste Leistung, 6: schlechteste Leistung) einher (Spearman Korrelation).....59

Abbildung 24:Darstellung der Arbeitsbelastung im Bezug zum Performance-Score ^{Transfer} zu den Trainingszeitpunkten T1-T5. (A) Die generelle Arbeitsbelastung korreliert signifikant negativ mit dem Performance-Score ^{Transfer} am Trainingszeitpunkt T3-T5. Die weiteren signifikanten Korrelationen zwischen dem Performance-Score ^{Transfer} und (B) Mental Demand, (C) die selbst wahrgenommen Performance, (D) Frustration sind ebenfalls dargestellt (Korrelationsanalyse nach Pearson). VAS: visuelle Analogscala (0-100); *p<0,05; **p<0,01; ***p<0,001.....64

Abbildung 25: Darstellung der Arbeitsbelastung im Bezug zur Beurteilung der Transfer Übung durch die verblindeten Bewerter zu den Trainingszeitpunkten T1-T5. (A) Die (A) generelle Arbeitsbelastung, (B) Mental Demand, (C) Temporal Demand, (D)selbst empfundene Performance und die (E) Frustration korrelieren signifikant positiv mit der verblindeten Beurteilungen (Korrelationsanalyse nach Pearson). VAS: visuelle Analogscala (0-100); *p<0,05; **p<0,01; ***p<0,001.....68

Abbildung 26: Der NASA TLX Fragebogen in elektronischer Version auf dem Handy. (A-E) Nach einer Einleitung in den Fragebogen und Definition der gefragten Begriffe erfolgt zunächst eine Gegenüberstellung von „Pärchen“. (F-H) Im zweiten Schritt erfolgt das „Rating“, bei der jede erfragte Anforderung auf einer visuellen Analogscala beurteilt werden kann. Im Anschluss wird dem Supervisor von dem Programm eine Auswertung mit und ohne Gewichtung angezeigt (I)..... XVI

Abbildung 27: NASA TLX Fragebogen. (https://humansytems.arc.nasa.gov/groups/tlx/downloads/TLXScale.pdf). XVII

6.2 Tabellen

Tabelle 1: Auswahl an komplexen Instrumenten: artikulierende Instrumente. Bei den artikulierenden wird zwischen motorisierten und manuell zu bewegenden Instrumenten differenziert. SILS™ Dissect aus: https://www.medtronic.com/content/dam/covidien/library/global/en/product/hand-instruments-and-ligation/sils-dissect-f.jpg, Radius Surgical System aus: [56], RealHand aus: http://www.micro-co.com/2008/06/04/1752/, Autonomy Laparo Angle aus: [67], Kymerax© aus: [24], Dextérité (DEX) Arm aus: [69], JAIMY™ aus: [70]. 10

Tabelle 2: Auswahl an komplexen Instrumenten: Gebogene Instrumente und abwinkelbare Stapler. Die vorgebogenen Instrumente sind rigide und können über eine einfache oder doppelte Biegung verfügen. ROTATIP: https://www.karlstorz.com/cps/rde/xbcr/karlstorz_assets/ASSETS/3331342.pdf, Stapler aus: http://de.ethicon.com/healthcare-professionals/Unsere-Produkte/Klammernahtinstrumente/Endoskopische-Linear-Cutter/ECHELON-FLEX-powered-vascular-Endo-Cutter.....11

Tabelle 3: Hypothese und dazugehöriges experimentelles Setting im Trockenlabor. ...15

Tabelle 4: Simulationsübungen [8, 35], https://www.flsprogram.org/wp-content/uploads/2014/02/Proficiency-Based-Curriculum-Word-File-updated-February-2014.pdf. 28

Tabelle 5: Materialien- und Herstellernachweis. 30

Tabelle 6: Bewertungskriterien Transfer Übung 32

Tabelle 7: Demographische Daten der Probanden nach Gruppeneinteilung und Ergebnis des Einstufungstests. Zwischen den einzelnen Gruppen zeigte sich kein signifikanter Unterschied hinsichtlich des Geschlechts, Alters, Semesterzahl und des Performance-Scores des Einstufungstests. Der Performance-Score^{Einstufung} wurde aus der Summe der Performance-Scores der beiden Übungen *Pattern Cut* und *Intracorporeal Suture*

gebildet, welchen die Versuchsteilnehmer als Einstufungstest durchführten (siehe 2.1). (Geschlecht: Chi-Quadrat Test; Alter, Semesterzahl: Kruskal-Wallis). MW: Mittelwert, P-Score: Performance-Score, SD: Standardabweichung. 36

Tabelle 8: Gruppenvergleich der Performance-Scores ^{Einstufung}. Zwischen den einzelnen Gruppen zeigte sich kein signifikanter Unterschied (Mann-Whitney U Test). 36

Tabelle 9: Ergebnisse der Korrelation der Performance-Scores und der verblindeten Beurteilung zum jeweiligen Trainingszeitpunkt. Verwendet wurden die Daten aller Probanden (n=48), (Spearman Korrelation). P-Score: Performance-Score. 60

Tabelle 10: Ergebnisse der Korrelation der Performance-Scores der Übungen untereinander am Trainingszeitpunkt T5. Verwendet wurden die Daten aller Probanden (n=48), (Spearman Korrelation). P-Score: Performance-Score. 61

Tabelle 11: Ergebnisse der Korrelation zwischen dem Performance-Score^{Transfer} und den Subskalen des NASA TLX zum jeweiligen Trainingszeitpunkt. Verwendet wurden die Rohdaten aller Probanden (n=48), (Korrelationsanalyse nach Pearson); P-Score Transfer: Performance-Score ^{Transfer}; Arbeitsb.: Arbeitsbelastung, MD: Mental Demand; PD: Physical Demand; TD: Temporal Demand; Perf.: Performance; Frustr.: Frustration. 65

Tabelle 12: Ergebnisse der Korrelation zwischen der verblindeten Beurteilung der Transfer Übung und den Subskalen des NASA TLX zum jeweiligen Trainingszeitpunkt. Verwendet wurden die Rohdaten aller Probanden (n=48), (Korrelationsanalyse nach Pearson) VBB= verblindete Beurteilung; Arbeitsb.= Arbeitsbelastung, MD= Mental Demand; PD= Physical Demand; TD= Temporal Demand; Perf.= Performance; Frustr.= Frustration. 69

Tabelle 13: Hypothese, experimentelles Setting im Trockenlabor und Ergebnis der Studie. 84

Tabelle 14: Demographie der Probanden insgesamt und in den einzelnen Gruppen. .. VI
Tabelle 15: Performance-Score *PEG Transfer* für Trainingszeitpunkte T1-T5 der vier Gruppen. MW: Mittelwert, P-Score: Performance-Score, SD: Standardabweichung VII
Tabelle 16: Gruppenvergleich Performance-Score *PEG Transfer* (Mann-Whitney-U-Test). P-Score: Performance-Score. VII
Tabelle 17: Zeit zur Durchführung der Übung *PEG Transfer* für Trainingszeitpunkte T1-T5 der vier Gruppen. MW: Mittelwert, SD: Standardabweichung..... VIII
Tabelle 18: Gruppenvergleich Zeit *PEG Transfer* (Einfaktorielle Varianzanalyse ANOVA). VIII
Tabelle 19: Fehler *PEG Transfer* für Trainingszeitpunkte T1-T5 der vier Gruppen. Als Fehler bei der Übung wurde das Fallenlassen eines *Pegs* gewertet. MW: Mittelwert, SD: Standardabweichung.....IX
Tabelle 20: Gruppenvergleich Fehler *PEG Transfer* (Mann-Whitney-U-Test). IX
Tabelle 21: Performance-Score *Pattern Cut* für Trainingszeitpunkte T1-T5 der vier Gruppen. MW: Mittelwert, P-Score: Performance-Score, SD: Standardabweichung. X
Tabelle 22: Gruppenvergleich *Pattern Cut* (Mann-Whiney-U-Test). P-Score: Performance-Score. X
Tabelle 23: Zeit zur Durchführung der Übung *Pattern Cut* für Trainingszeitpunkte T1-T5 der vier Gruppen. MW: Mittelwert, SD: Standardabweichung. XI
Tabelle 24: Gruppenvergleich Zeit *Pattern Cut* (Einfaktorielle Varianzanalyse ANOVA).XI
Tabelle 25: Fehler *Pattern Cut* für Trainingszeitpunkte T1-T5 der vier Gruppen. Ein Fehlschnitt über den Toleranzbereich wurde als Fehler gewertet. MW: Mittelwert, SD: Standardabweichung.....XII
Tabelle 26: Gruppenvergleich Fehler *Pattern Cut* (Mann-Whitney-U-Test).....XII
Tabelle 27: Performance-Score *Intracorporeal Suture* für Trainingszeitpunkte T1-T5 der vier Gruppen (MW: Mittelwert, P-Score: Performance-Score, SD: Standardabweichung). XIII

Tabelle 28: Gruppenvergleich *Intracorporeal Suture* Performance-Score (Mann-Whitney-U-Test). P-Score: Performance-Score. XIV
Tabelle 29: Zeit zur Durchführung der Übung *Intracorporeal Suture* für Trainingszeitpunkte T1-T5 der vier Gruppen. MW: Mittelwert, P-Score: Performance-Score, sec: Sekunden, SD: Standardabweichung. XIV
Tabelle 30: Gruppenvergleich *Intracorporeal Suture* Zeit (Einfaktorielle Varianzanalyse ANOVA) XV
Tabelle 31: Fehler *Intracorporeal Suture* für Trainingszeitpunkte T1-T5 der vier Gruppen. Die Abweichung der Naht von einem markierten Durchstechungspunkt galt als Fehler. MW: Mittelwert, SD: Standardabweichung. I
Tabelle 32: Gruppenvergleich Fehler *Intracorporeal Suture* (Mann-Whitney-U-Test). I
Tabelle 33: Performance-Score ^{Transfer} Übung für Trainingszeitpunkte T1-T5 der vier Gruppen. MW: Mittelwert, P-Score: Performance-Score, SD: Standardabweichung. II
Tabelle 34: Gruppenvergleich Transfer Übung (Mann-Whitney-U-Test). P-Score: Performance-Score. II
Tabelle 35: Zeit zur Durchführung der Tranfer Übung für Trainingszeitpunkte T1-T5 der vier Gruppen. Die maximale Zeit zum Absolvieren der Übung lag bei 2400 Sekunden. MW: Mittelwert, P-Score: Performance-Score, sec: Sekunden, SD: Standardabweichung. III
Tabelle 36: Gruppenvergleich Transfer Übung Zeit (Einfaktorielle Varianzanalyse ANOVA). III
Tabelle 37: Fehler Transfer Übung für Trainingszeitpunkte T1-T5 der vier Gruppen. Ein Fehlschnitt über den Toleranzbereich wurde als Fehler gewertet (Fehlschnitte Anzahl). Zusätzlich wurde Fehlschnitte, die über eine längere Strecke verliefen, ausgemessen (Fehlschnitte Summe). Das rotmarkierte Restgewebe wurde ebenfalls als Anzahl (Restgewebe Anzahl) und Streckenwert (Restgewebe Summe) ausgewertet. $^{+}$ in Millimeter. MW: Mittelwert, SD: Standardabweichung. I

Tabelle 38: Gruppenvergleich Fehler Transfer Übung. Bei der Transferübung wurden unterschiedliche Fehler registriert. So wurden Fehlschnitte als Anzahl und über einen Streckenverlauf (Fehlschnitte Summe) ausgewertet. Belassenes Gewebe wurde als Restgewebe ebenfalls als Anzahl und im Streckenverlauf ausgewertet (Restgewebe Summe). (Mann-Whitney-U-Test). I

Tabelle 39: NASA TLX Arbeitsbelastung und Belastung in Subskalen zu den Trainingszeitpunkten T1-T5 der vier Gruppen. Dargestellt sind die Werte für die generelle Arbeitsbelastung [ungewichtet (Arbeitsbelastung)] sowie die ungewichteten Subskalen. V

Tabelle 40: Gruppenvergleich NASA TLX Arbeitsbelastung und Subskalen. Dargestellt sind die Werte für die generelle Arbeitsbelastung [ungewichtet (Arbeitsbelastung)] sowie die ungewichteten Subskalen (T-Test für Mittelwertgleichheit). VII

7 Affidavit

Eidesstattliche Versicherung

_____
Dr. med. Hidding, Johanna

Ich erkläre hiermit an Eides statt, dass ich die vorliegende Dissertation mit dem Titel:

Laparoskopie-Training mit gebogenen und geraden laparoskopischen Instrumenten- ist 3D-Visualisierung vorteilhaft?

selbständig verfasst, mich außer der angegebenen keiner weiteren Hilfsmittel bedient und alle Erkenntnisse, die aus dem Schrifttum ganz oder annähernd übernommen sind, als solche kenntlich gemacht und nach ihrer Herkunft unter Bezeichnung der Fundstelle einzeln nachgewiesen habe.

Ich erkläre des Weiteren, dass die hier vorgelegte Dissertation nicht in gleicher oder in ähnlicher Form bei einer anderen Stelle zur Erlangung eines akademischen Grades eingereicht wurde.

Köln, 17.11.2022_____ _____Johanna Hidding_____
Ort, Datum Unterschrift Doktorandin bzw. Doktorand

8 Danksagung

Zuallererst möchte ich meinen besonderen Dank meinem Doktorvater Prof. Dr. med. Dr. h.c. Konrad Karcz für seine engagierte Betreuung aussprechen. Er unterstütze mich von Beginn an sowohl bei der Entwicklung des Trainingslabors, der Ideenfindung dieses Projektes, als auch mit stetem Rat und praktischen Tipps für die Versuchsdurchführung.
Außerdem möchte ich mich bei meinem Betreuer Dr. med. Julian Bucher für die konstruktiven Gespräche und fokussierte Zusammenarbeit bedanken. Es war mir eine Freude mit ihm zusammenzuarbeiten. Ebenso gilt mein Dank Dr. med. Katharina Brüwer und Dr. med. Nicole Trebesius, die ebenfalls in diesem Projekt involviert waren und mich mit Rat und Tat unterstützten.
Zuletzt möchte ich mich bei meinem Mann, meinem Vater und meiner Freundin Lissy bedanken, für die vielen Verbesserungen der Arbeit, statistischen Hinweise und die wertvollen Anregungen, die bei der Vollendung dieser Arbeit sehr hilfreich waren.

9 Anhang

9.1 Tabellarische Ergebnisse

9.1.1 Demographie

Variable	Insgesamt (n=48)	2D gerade (n=12)	2D gebogen (n=12)	3D gerade (n=12)	3D gebogen (n=12)
Geschlecht, weiblich (n)	66,7% (32)	58,3% (7)	58,3% (7)	66,7% (8)	83,3% (10)
Alter, Jahre (MW ± SD; Range; Median)	25,8 ± 3,3 (22-33; 24,5)	26,2 ± 3,4 (22-32; 25)	26,5 ± 4,3 (22-34; 24,5)	25,3 ± 3,8 (22-33; 24)	26,2 ± 3,6 (22-35; 25,5)
Semester (MW ± SD; Range; Median)	9,4 ± 2,1 (5-13; 9)	9,5 ± 1,3 (7-12; 9)	9 ± 1,5 (6-11; 9)	8,18 ± 1,9 (5-11; 9)	9,8 ± 2,5 (5-13; 10)
Physikumsnote (MW ± SD; Range; Median)	2,4 ± 0,6 (1,5-3,5; 2)	2,3 ± 0,8 (1,5-3,5; 2)	2,6 ± 0,5 (2—3; 3)	2,5 ±0,5 (2-3: 2,5)	2,3 ± 0,5 (2-3; 2)
P-Score Einstufung MW ± SD (Range; Median)	-151,4 ± 146,9 (-420-205; -150,8)	-117,3 ± 162,4 (-400-179; -107,5)	-178,1 ± 118 (-400-3; -190,75)	-121,1 ± 150,1 (-390-205; -127,5)	-189,1 ± 13 (-420-84; -215)
VR Nutzung					
-1- trifft voll zu	0 % (0)	0 % (0)	0 % (0)	0 % (0)	0 % (0)
-2- trifft zu	0 % (0)	0 % (0)	0 % (0)	0 % (0)	0 % (0)
-3- trifft teilweise zu	0 % (0)	0 % (0)	0 % (0)	0 % (0)	0 % (0)
-4- teils teils	2,2 % (1)	0 % (0)	9,1% (1)	0 % (0)	0 % (0)
-5- trifft kaum zu	4,4% (2)	9,1% (1)	0 % (0)	0 % (0)	9,1% (1)
-6- trifft überhaupt nicht zu	93,3% (42)	90,9 % (10)	90,9% (10)	100 % (12)	90,9 % (10)
	(45)	(11)	(11)	(12)	(11)
Spielen eines Musikinstrument					
-1- trifft voll zu	51,5% (24)	50% (6)	50% (6)	81,8% (9)	25% (3)
-2- trifft zu	4,2% (2)	8,3% (1)	8,3% (1)	0% (0)	0% (0)
-3- trifft teilweise zu	12,8% (6)	16,7% (2)	16,7% (2)	9,1% (1)	8,3% (1)
-4- teils teils	0% (0)	0% (0)	0% (0)	0% (0)	0% (0)

Variable	Insgesamt (n=48)	2D gerade (n=12)	2D gebogen (n=12)	3D gerade (n=12)	3D gebogen (n=12)
-5- trifft kaum zu	2,1% (1)	8,3% (1)	0% (0)	0% (0)	0% (0)
-6- trifft überhaupt nicht zu	29,8% (14)	16,7% (2)	25% (3)	9,1% (1)	66,7% (8)
	(47)	(12)	(12)	(11)	(12)
Instrumententyp					
Tasteninstrument	41,2% (14)	20% (2)	44,4% (4)	54,5% (6)	50% (2)
Blasinstrument	8,8% (3)	10% (1)	11,1% (1)	0% (0)	25% (1)
Streichinstrument	8,8% (3)	10% (1)	11,1% (1)	9,1% (1)	0% (0)
Zupfinstrument	11,8% (4)	30% (3)	0% (0)	9,1% (1)	0% (0)
Schlagzeug	2,9% (1)	0% (0)	11,1% (1)	0% (0)	0% (0)
Tasteninstrumenten plus ein weiteres	26,5% (9)	30% (3)	22,2% (2)	27,3% (3)	25% (1)
	(34)	(10)	(9)	(11)	(4)
Professionelles Instrumentenspiel					
-1- trifft voll zu	7,7% (3)	20% (2)	0% (0)	9,1% (1)	0% (0)
-2- trifft zu	10,3% (4)	30% (3)	11,1% (1)	0% (0)	0% (0)
-3- trifft teilweise zu	7,7% (3)	0% (0)	0% (0)	9,1% (1)	22,2% (2)
-4- teils teils	0% (0)	0% (0)	0% (0)	0% (0)	0% (0)
-5- trifft kaum zu	5,1% (2)	0% (0)	11,1% (1)	9,1% (1)	0% (0)
-6- trifft überhaupt nicht zu	69,2% (27)	18,5% (5)	77,8% (7)	72,7% (8)	77,8% (7)
	(39)	(10)	(9)	(11)	(9)
Ich spiele Video-Spiele					
-1- trifft voll zu	12,5% (6)	25% (3)	8,3% (1)	0% (0)	16,7% (2)
-2- trifft zu	10,4% (5)	8,3% (1)	25% (3)	0% (0)	8,3% (1)
-3- trifft teilweise zu	10,4% (5)	0% (0)	25% (3)	8,3% (1)	8,3% (1)
-4- teils teils	8,3% (4)	16,7% (2)	0% (0)	8,3% (1)	8,3% (1)
-5- trifft kaum zu	16,7% (8)	16,7% (2)	25% (3)	0% (0)	25% (3)
-6- trifft überhaupt nicht zu	41,7% (20)	33,3% (4)	16,7% (2)	83,3% (10)	33,3% (4)
	(48)	(12)	(12)	(12)	(12)
Video-Spiele Häufigkeit					
< 2h/Woche	85,4% (41)	66,7% (8)	100% (12)	100% (12)	75% (9)

Variable	Insgesamt (n=48)	2D gerade (n=12)	2D gebogen (n=12)	3D gerade (n=12)	3D gebogen (n=12)
2-6h/Woche	10,4% (5)	16,7% (2)	0% (0)	0% (0)	25% (3)
>6h/Woche	4,2% (2)	16,7% (2)	0% (0)	0% (0)	0% (0)
	(48)	(12)	(12)	(12)	(12)
Ich spiele hauptsächlich Jump-and-Run-Spiele					
-1- trifft voll zu	4,3% (2)	9,1% (1)	0% (0)	0% (0)	8,3% (1)
-2- trifft zu	6,4% (3)	0% (0)	8,3% (1)	0% (0)	16,7% (2)
-3- trifft teilweise zu	14,9% (7)	18,2% (2)	33,3% (4)±	8,3% (1)	0% (0)
-4- teils teils	10,6% (5)	9,1% (1)	25% (3)	8,3% (1)	0% (0)
-5- trifft kaum zu	17% (8)	18,2% (2)	25% (3)	0% (0)	25% (3)
-6- trifft überhaupt nicht zu	46,8% (22)	45,5% (5)	8,3% (1)	83,3% (10)	50% (6)
	(47)	(11)	(12)	(12)	(12)
Hauptsächlich Strategiespiele					
-1- trifft voll zu	10,6% (5)	18,2% (2)	0% (0)	16,7% (2)	8,3% (1)
-2- trifft zu	8,5% (4)	9,1% (1)	8,3% (1)	0% (0)	16,7% (2)
-3- trifft teilweise zu	12,8% (6)	9,1% (1)	15% (3)	8,3% (1)	8,3% (1)
-4- teils teils	8,5% (4)	0% (0)	16,7% (2)	0% (0)	16,7% (2)
-5- trifft kaum zu	14,9% (7)	18,2% (2)	16,7% (2)	8,3% (1)	16,7% (2)
-6- trifft überhaupt nicht zu	44,7% (21)	45,5% (5)	33,3% (4)	66,7 % (8)	33,3% (4)
	(47)	(11)	(12)	(12)	(12)
Sportaktivitäten regelmäßig					
-1- trifft voll zu	58,3% (28)	50% (6)	41,7% (5)	83,3% (10)	58,3 % (7)
-2- trifft zu	16,7% (8)	25% (3)	16,7% (2)	0% (0)	25% (3)
-3- trifft teilweise zu	10,4% (5)	8,3% (1)	16,7% (2)	8,3% (1)	8,3% (1)
-4- teils teils	4,2% (2)	0% (0)	8,3% (1)	0% (0)	8,3% (1)
-5- trifft kaum zu	6,3% (3)	8,3% (1)	16,7% (2)	0% (0)	0% (0)
-6- trifft überhaupt nicht zu	4,2% (2)	8,3% (1)	0% (0)	8,3% (1)	0% (0)
	(48)	(12)	(12)	(12)	(12)
Sportart					
Ballsport	7,7% (2)	10% (1)	0% (0)	12,5% (1)	0% (0)

Variable	Insgesamt (n=48)	2D gerade (n=12)	2D gebogen (n=12)	3D gerade (n=12)	3D gebogen (n=12)
Fitness/Ausdauer	50% (13)	70% (7)	40% (2)	37,5% (3)	33,3% (1)
Schwimmen	3,8% (1)	0% (0)	0% (0)	0% (0)	33,3% (1)
Ballsport plus Fitness/Ausdauer	15,4% (4)	20% (2)	20% (1)	12,5% (1)	0% (0)
Tanzen	3,8% (1)	0% (0)	0% (0)	12,5% (1)	0% (0)
Reiten plus Fitness/Ausdauer	15,4% (4)	0% (0)	40% (2)	12,5%(1)	33,3% (1)
Schwimmen plus Fitness/Ausdauer	3,8% (1)	0% (0)	0% (0)	12,5% (1)	0% (0)
	(26)	(10)	(5)	(8)	(3)
Sporthäufigkeit					
>2h/Woche	12,5% (6)	25% (3)	16,7% (2)	8,3% (1)	0% (0)
2-6h/Woche	64,6% (31)	50% (6)	58,3% (7)	58,3% (7)	91,7% (11)
>6h/Woche	22,9% (11)	25% (3)	25% (3)	33,3% (4)	8,3% (1)
	(48)	(12)	(12)	(12)	(12)
Leistungssport					
-1- trifft voll zu	4,2% (2)	8,3% (1)	0% (0)	0% (0)	8,1% (1)
-2- trifft zu	0% (0)	0% (0)	0% (0)	0% (0)	0% (0)
-3- trifft teilweise zu	4,2% (2)	0% (0)	0% (0)	8,3% (1)	8,3% (1)
-4- teils teils	4,2% (2)	0% (0)	8,3% (1)	0% (0)	8,3% (1)
-5- trifft kaum zu	0% (0)	0% (0)	0% (0)	0% (0)	0% (0)
-6- trifft überhaupt nicht zu	87,5% (42)	91,7% (11)	91,7% (11)	91,7% (11)	75% (9)
	(48)	(12)	(12)	(12)	(12)
Nutzung des Spiegels beim Einparken					
-1- trifft voll zu	18,8% (9)	8,3% (1)	0% (0)	41,7% (5)	25% (3)
-2- trifft zu	35,4% (17)	50% (6)	41,7% (5)	25% (3)	25% (3)
-3- trifft teilweise zu	18,8% (9)	16,7% (2)	16,7% (2)	16,7% (2)	25% (3)
-4- teils teils	10,4% (5)	8,3% (1)	16,7% (2)	0% (0)	16,7% (2)
-5- trifft kaum zu	8,3% (4)	8,3% (1)	8,3% (1)	16,7% (2)	0% (0)
-6- trifft überhaupt nicht zu	8,3% (4)	8,3% (1)	16,7% (2)	0% (0)	8,3% (1)
		(12)	(12)	(12)	(12)

Variable	Insgesamt (n=48)	2D gerade (n=12)	2D gebogen (n=12)	3D gerade (n=12)	3D gebogen (n=12)
Ich spiele gerne Geschicklichkeitsspiele					
-1- trifft voll zu	20,8% (10)	33,3% (4)	8,3% (1)	33,3% (4)	8,3% (1)
-2- trifft zu	16,7% (8)	8,3% (1)	25% (3)	8,3% (1)	25% (3)
-3- trifft teilweise zu	20,8% (10)	33,3% (4)	33,3% (4)	8,3% (1)	8,3% (1)
-4- teils teils	10,4% (5)	8,3% (1)	8,3% (1)	8,3% (1)	16,7% (2)
-5- trifft kaum zu	10,4% (5)	8,3% (1)	8,3% (1)	8,3% (1)	16,7% (2)
-6- trifft überhaupt nicht zu	20,8% (10)	8,3% (1)	16,7% (2)	33,3% (4)	25% (3)
	(48)	(12)	(12)	(12)	(12)
Ich spiele gerne Zauberwürfel					
-1- trifft voll zu	0% (0)	0% (0)	0% (0)	0% (0)	0% (0)
-2- trifft zu	10,4% (5)	25% (3)	16,7% (2)	0% (0)	0% (0)
-3- trifft teilweise zu	6,3% (3)	8,3% (1)	0% (0)	0% (0)	16,7% (2)
-4- teils teils	0% (0)	0% (0)	0% (0)	0% (0)	0% (0)
-5- trifft kaum zu	8,3% (4)	0% (0)	8,3% (1)	16,7% (2)	8,3% (1)
-6- trifft überhaupt nicht zu	75% (36)	66,7% (8)	75% (9)	83,3% (10)	75 % (9)
	(48)	(12)	(12)	(12)	(12)
Guter Räumlicher Orientierungssinn					
-1- trifft voll zu	18,8% (9)	16,7% (2)	16,7% (2)	25% (3)	16,7% (2)
-2- trifft zu	45,8% (22)	50% (6)	41,7% (5)	41,7 % (5)	50% (6)
-3- trifft teilweise zu	20,8% (10)	16,7% (2)	25% (3)	16,7% (2)	25% (3)
-4- teils teils	8,3% (4)	16,7% (2	8,3% (1)	0% (0)	8,3% (1)
-5- trifft kaum zu	0% (0)	0% (0)	0% (0)	0% (0)	0% (0)
-6- trifft überhaupt nicht zu	6,3% (3)	0% (0)	8,3% (1)	16,7% (2)	0% (0)
	(48)	(12)	(12)	(12)	(12)
Gut 3D sehen					
-1- trifft voll zu	34% (16)	33,3% (4)	16,7% (2)	58,3% (7)	27,3% (3)
-2- trifft zu	34% (16)	33,3% (4)	41,7% (5)	25% (3)	36,4% (4)
-3- trifft teilweise zu	12,8% (6)	25% (3)	16,7% (2)	0% (0)	9,1% (1)
-4- teils teils	10,6% (5)	8,3% (1)	8,3% (1)	0% (0)	27,3% (3)

Variable	Insgesamt (n=48)	2D gerade (n=12)	2D gebogen (n=12)	3D gerade (n=12)	3D gebogen (n=12)
-5- trifft kaum zu	4,3% (2)	0% (0)	8,3% (1)	8,3% (1)	0% (0)
-6- trifft überhaupt nicht zu	4,3% (2)	0% (0)	8,3% (1)	8,3% (1)	0% (0)
	(47)	(12)	(12)	(12)	(11)

Tabelle 14: Demographie der Probanden insgesamt und in den einzelnen Gruppen.

9.1.2 PEG Transfer

P-Score *PEG Transfer* Trainingszeitpunkt	**2D gerade P-Score** MW ± SD (Range; Median)	**2D gebogen P-Score** MW ± SD (Range; Median)	**3D gerade P-Score** MW ± SD (Range; Median)	**3D gebogen P-Score** MW ± SD (Range; Median)
T1	186,2 ± 38,9 (117-236; 195)	169,5 ± 54,1 (63-220; 191)	207,7 ± 32 (115-233; 218)	216,6 ± 17,8 (184-241; 221)
T2	224,1 ± 8,6 (209-239; 225)	190,1 ± 54,1 (104-220; 204,5)	223,3 ± 21 (172-260; 227)	212,8 ± 38,8 (108-247; 227)
T3	233,4 ± 21,1 (179-255; 240)	208,3 ± 28,6 (163-251; 210,5)	234,1 ± 16,1 (206-257; 237,5)	232,2 ± 24,6 (183-257; 237)
T4	239,9 ± 14,4 (214-258; 245)	222,3 ± 31,1 (166-258; 230,5)	240,9 ± 9,9 (223-252; 241,5)	239,4 ± 17,7 (199-256; 243)
T5	244,8 ± 16,6 (196-258; 250,5)	232 ± 23,6 (173-255; 240)	247,1 ±13,1 (217-262; 249,5)	246,3 ± 12,9 (217-261; 251)

Tabelle 15: Performance-Score *PEG Transfer* für Trainingszeitpunkte T1-T5 der vier Gruppen. MW: Mittelwert, P-Score: Performance-Score, SD: Standardabweichung

P-Score *PEG Transfer* Trainingszeitpunkt	**2D gerade vs. 2D gebogen** (p-Wert)	**2D gerade vs. 3D gerade** (p-Wert)	**2D gebogen vs. 3D gebogen** (p-Wert)
T1	0,551	0,114	**0,01**
T2	**0,024**	0,843	0,114
T3	**0,028**	0,843	**0,033**
T4	0,242	0,977	0,198
T5	0,06	0,843	0,068

Tabelle 16: Gruppenvergleich Performance-Score *PEG Transfer* (Mann-Whitney-U-Test). P-Score: Performance-Score.

Zeit *PEG Transfer* Trainingszeitpunkt	**2D gerade Zeit (sec)** MW ± SD (Range; Median)	**2D gebogen Zeit (sec)** MW ± SD (Range; Median)	**3D gerade Zeit (sec)** MW ± SD (Range; Median)	**3D gebogen Zeit (sec)** MW ± SD (Range; Median)
T1	102,2 ± 24,6 (64-143; 101)	118,8 ± 39,4 (76-177)	92,3 ± 32 (67-185; 82)	83,4 ± 17,8 (59-116; 79)
T2	74,3 ± 7,3 (61-87; 74,5)	98,3 ± 34,5 (59-175; 94,5)	70,1 ± 16,5 (40-108; 70)	82,3 ± 32,1 (53-172; 73)
T3	61,6 ± 10,9 (45-81; 60)	81,8 ± 25,5 (48-123; 79,5)	60,9 ± 10,6 (43-77; 58)	66,2 ± 21,9 (43-117; 63)
T4	56,8 ± 9,1 (42-73; 55)	71 ± 21,2 (42-109; 69,5)	55,8 ± 7,1 (48-68; 54)	58,9 ± 14,1 (44-81; 57)
T5	50,2 ± 7,2 (42-64; 49)	64,7 ± 17,7 (45-107; 60)	51,3 ± 9,8 (38-67; 50,5)	53,8 ± 12,9 (39-83; 49)

Tabelle 17: Zeit zur Durchführung der Übung *PEG Transfer* für Trainingszeitpunkte T1-T5 der vier Gruppen. MW: Mittelwert, SD: Standardabweichung.

Zeit *PEG Transfer* Trainingszeitpunkt	**2D gerade vs. 2D gebogen** (p-Wert)	**2D gerade vs. 3D gerade** (p-Wert)	**2D gebogen vs. 3D gebogen** (p-Wert)
T1	1	1	**0,032**
T2	0,146	1	0,763
T3	0,062	1	0,267
T4	0,099	1	0,241
T5	**0,041**	1	0,229

Tabelle 18: Gruppenvergleich Zeit *PEG Transfer* (Einfaktorielle Varianzanalyse A-NOVA).

Fehler *PEG Transfer* Trainingszeitpunkt	**2D gerade Fehler** MW ± SD (Range; Median)	**2D gebogen Fehler** MW ± SD (Range; Median)	**3D gerade Fehler** MW ± SD (Range; Median)	**3D gebogen Fehler** MW ± SD (Range; Median)
T1	0,58 ± 1 (0-3; 0)	0,42 ± 0,67 (0-2; 0)	0 ± 0 (0-0; 0)	0 ± 0 (0-0; 0)
T2	0,08 ± 0,29 (0-1; 0)	0,58 ± 1,17 (0-4; 0)	0,33 ± 0,49 (0-1; 0)	0,25 ± 0,62 (0-2; 0)
T3	0,08 ± 0,29 (0-1; 0)	0,5 ± 0,67 (0-2; 0)	0,25 ± 0,45 (0-1; 0)	0,08 ± 0,29 (0-1; 0)
T4	0,17 ± 0,39 (0-1; 0)	0,17 ± 0,58 (0-2; 0)	0,17 ± 0,39 (0-1; 0)	0,8 ± 0,29 (0-1; 0)
T5	0,08 ± 0,29 (0-1; 0)	0,17 ± 0,39 (0-1; 0)	0,08 ± 0,29 (0-1; 0)	0 ± 0 (0-0; 0)

Tabelle 19: Fehler *PEG Transfer* für Trainingszeitpunkte T1-T5 der vier Gruppen. Als Fehler bei der Übung wurde das Fallenlassen eines *Pegs* gewertet. MW: Mittelwert, SD: Standardabweichung.

Fehler *PEG Transfer* Trainingszeitpunkt	**2D gerade vs. 2D gebogen** (p-Wert)	**2D gerade vs. 3D gerade** (p-Wert)	**2D gebogen vs. 3D gebogen** (p-Wert)
T1	0,887	0,178	0,178
T2	0,291	0,319	0,5143
T3	0,16	0,514	0,16
T4	0,799	1	0,977
T5	0,755	1	0,514

Tabelle 20: Gruppenvergleich Fehler *PEG Transfer* (Mann-Whitney-U-Test).

9.1.3 Pattern Cut

P-Score *Pattern Cut* Trainingszeit-punkt	**2D gerade P-score** MW ± SD (Range; Median)	**2D gebogen P-Score** MW ± SD (Range; Median)	**3D gerade P-Score** MW ± SD (Range; Median)	**3D gebogen P-Score** MW ± SD (Range; Median)
T1	-28,3 ±56,7 (-131-109; -30)	-26,8 ± 47,8 (-100-81; -30)	10,3 ± 65,1 (-100-107; -10)	-8,5 ± 63,7 (-100-150; -4)
T2	32,6 ±70,9 (-80-154; 29)	14,8 ±84,6 (-100-204; 0)	48,2 ± 48,4 (-19-130; 51)	24,8 ± 110,6 (-220-174; 19,5)
T3	63,6 ± 64,7 (-38-166; 64)	54,7 ± 100,1 (-96-210; 42)	109,1 ± 58,3 (0-188; 126,5)	51,6 ± 75,4 (-80-158; 65,5)
T4	68,3 ± 69,4 (-120-157; 85,5)	66 ± 86,4 (-79-185; 87,5)	121,6 ± 43,9 (25-189; 124,5)	75,8 ± 90,8 (-100-194; 84,5)
T5	106,5 ±76,8 (-33-208; 109)	105,5 ±62,6 (6-184; 90)	134,2 ±45,6 (52-205; 134)	119,7 ± 70,4 (2-219; 128)

Tabelle 21: Performance-Score *Pattern Cut* für Trainingszeitpunkte T1-T5 der vier Gruppen. MW: Mittelwert, P-Score: Performance-Score, SD: Standardabweichung.

P-Score *Pattern Cut* Trainingszeitpunkt	**2D gerade vs. 2D gebogen** (p-Wert)	**2D gerade vs. 3D gerade** (p-Wert)	**2D gebogen vs. 3D gebogen** (p-Wert)
T1	0,932	0,198	0,41
T2	0,347	0,478	0,671
T3	0,755	0,089	0,977
T4	0,932	**0,02**	0,887
T5	0,843	0,443	0,713

Tabelle 22: Gruppenvergleich *Pattern Cut* (Mann-Whiney-U-Test). P-Score: Performance-Score.

Zeit *Pattern Cut* Trainingszeitpunkt	**2D gerade Zeit (sec)** MW ± SD (Range; Median)	**2D gebogen Zeit (sec)** MW ± SD (Range; Median)	**3D gerade Zeit (sec)** MW ± SD (Range; Median)	**3D gebogen Zeit (sec)** MW ± SD (Range; Median)
T1	288,3 ± 37 (171-300; 300)	283,5 ± 46,7 (139-300; 300)	258 ± 49,3 (178-300; 278)	270,2 ± 50,3 (150-300; 300)
T2	235,8 ± 62,1 (126-300; 249)	253,6 ± 75,6 (96-300; 300)	230,2 ± 47,8 (164-299; 239,5)	225,2 ± 74,9 (106-300; 226,5)
T3	216,4 ± 64,2 (134-300; 217)	223,7 ± 79,3 (90-300; 248,5)	167,6 ± 50 (112-300; 155)	208,4 ± 53,9 (142-300; 210,5)
T4	203,3 ± 52,8 (103-300; 201)	199 ± 79,3 (95-300; 177)	156,8 ± 45,9 (111-275; 146)	187,5 ± 59,4 (106-300; 190)
T5	181,8 ± 67,3 (91-267; 191)	169,5 ± 60,5 (76-254; 171)	135,8 ± 29 (95-198; 136)	157 ± 55 (81-238; 158,5)

Tabelle 23: Zeit zur Durchführung der Übung *Pattern Cut* für Trainingszeitpunkte T1-T5 der vier Gruppen. MW: Mittelwert, SD: Standardabweichung.

Zeit *Pattern Cut* Trainingszeitpunkt	**2D gerade vs. 2D gebogen** (p-Wert)	**2D gerade vs. 3D gerade** (p-Wert)	**2D gebogen vs. 3D gebogen** (p-Wert)
T1	1	0,687	1
T2	1	1	1
T3	1	0,382	1
T4	1	0,328	1
T5	1	0,277	1

Tabelle 24: Gruppenvergleich Zeit *Pattern Cut* (Einfaktorielle Varianzanalyse ANOVA).

Fehler *Pattern Cut* Trainingszeitpunkt	**2D gerade Fehler** MW ± SD (Range; Median)	**2D gebogen Fehler** MW ± SD (Range; Median)	**3D gerade Fehler** MW ± SD (Range; Median)	**3D gebogen Fehler** MW ± SD (Range; Median)
T1	2 ± 1,95 (0-7; 1,5)	2,17 ± 1,7 (0-5; 2)	1,58 ± 1,56 (0-5; 1)	1,92 ± 2,47 (0-8; 1)
T2	1,58 ± 1,17 (0-4; 1,5)	1,58 ± 1,88 (0-5; 1)	1,08 ± 1,17 (0-4; 1)	2,5 ± 3,5 (0-11; 1)
T3	1 ± 1,13 (0-3; 0,5)	1,08 ± 1,56 (0-5; 0,5)	1,17 ±1,8 (0-5; 0)	2 ± 2,3 (0-8; 1)
T4	1,42 ± 1,62 (0-6; 1)	1,75 ± 1,6 (0-5; 1)	1,08 ± 0,79 (0-2; 1)	1,83 ± 2,69 (0-9; 1)
T5	0,58 ± 1,17 (0-4; 0)	1,25 ± 0,97 (0-3; 1)	1,5 ± 1,38 (0-4; 1,5)	1,17 ± 1,4 (0-4; 1)

Tabelle 25: Fehler *Pattern Cut* für Trainingszeitpunkte T1-T5 der vier Gruppen. Ein Fehlschnitt über den Toleranzbereich wurde als Fehler gewertet. MW: Mittelwert, SD: Standardabweichung.

Fehler *Pattern Cut* Trainingszeitpunkt	**2D gerade vs. 2D gebogen** (p-Wert)	**2D gerade vs. 3D gerade** (p-Wert)	**2D gebogen vs. 3D gebogen** (p-Wert)
T1	0,63	0,63	0,478
T2	0,63	0,242	0,671
T3	0,932	0,887	0,242
T4	0,671	0,932	0,59
T5	0,06	0,089	0,59

Tabelle 26: Gruppenvergleich Fehler *Pattern Cut* (Mann-Whitney-U-Test).

9.1.4 Intracorporeal Suture

P-Score *Intracorporeal Suture* Trainingszeit-punkt	**2D gerade P-score** MW ± SD (Range; Median)	**2D gebogen P-score** MW ± SD (Range; Median)	**3D gerade P-score** MW ± SD (Range; Median)	**3D gebogen P-Score** MW ± SD (Range; Median)
T1	80,2 ± 151,5 (-154-331; 143)	-98,1 ± 204,6 (-380-258, -180)	99 ± 142,3 (-120-324; 91)	1 ± 179,3 (-380-264,5; 26,8)
T2	207,8 ± 93,7 (29-350; 194)	19,3 ± 180,1 (-260-279; 3,3)	242,1 ± 110,4 (44-405,5; 267,5)	70,4 ± 228,3 (-380-409; 58,5)
T3	257,1 ± 95 (63-396; 278)	-38,2 ± 237,2 (-380-317; -92)	321,8 ± 43,3 (277,5-422; 304,8)	172,8 ± 203,8 (-140-398; 234)
T4	255,9 ± 113,6 (-4-419,5; 232,5)	189,6 ±124,4 (-105-353,5; 236)	218,7 ± 172,1 (-38-521; 316,5)	269 ± 116,5 (83-441; 282,5)
T5	305 ± 100,5 (7-401; 321,8)	147,3 ± 191,5 (-202,5-384; 202,5)	319,7 ± 149,8 (-15-473; 380)	294,4 ± 153,3 (-119-435; 348)

Tabelle 27: Performance-Score *Intracorporeal Suture* für Trainingszeitpunkte T1-T5 der vier Gruppen (MW: Mittelwert, P-Score: Performance-Score, SD: Standardabweichung).

P-Score *Intracorporeal Suture* Tainingszeitpunkt	**2D gerade vs. 2D gebogen** (p-Wert)	**2D gerade vs. 3D gerade** (p-Wert)	**2D gebogen vs. 3D gebogen** (p-Wert)
T1	**0,028**	0,887	0,266
T2	**0,007**	0,347	0,514
T3	**0,002**	0,06	**0,028**
T4	0,291	0,443	0,114
T5	**0,012**	0,143	**0,017**

Tabelle 28: Gruppenvergleich *Intracorporeal Suture* Performance-Score (Mann-Whitney-U-Test). P-Score: Performance-Score.

Zeit *Intracorporeal Suture* Trainings-zeitpunkt	**2D gerade Zeit (sec)** MW ± SD (Range; Median)	**2D gebogen Zeit (sec)** MW ± SD (Range; Median)	**3D gerade Zeit (sec)** MW ± SD (Range; Median)	**3D gebogen Zeit (sec)** MW ± SD (Range; Median)
T1	451,7 ± 122 (264-600; 407,5)	521,3 ± 134,9 (242-600; 600)	411,4 ± 159,9 (176-600; 407,5)	460,7 ± 135,5 (188-600; 477)
T2	294,9 ± 99,3 (150-471; 302)	458 ± 161 (221-600; 521,5)	262,5 ± 97,9 (154-446; 246,5)	393,6 ± 165,8 (181-600; 401,5)
T3	238,2 ± 94,2 (104-427; 217,5)	468,4 ± 166,6 (173-600; 576)	179,1 ± 44,6 (78-240; 188)	314,9 ± 175,4 (142-600; 208,5)
T4	249,3 ± 103,8 (123-504; 250,5)	305,8 ± 121,5 (144-600; 264)	224,6 ± 153,8 (79-538; 166,5)	239,6 ± 106,1 (105-412; 220,5)
T5	188,1 ± 82,7 (99-423; 177)	329,8 ±165,4 (116-600; 287,5)	185,1 ± 137,5 (65-505; 123,5)	198,5 ± 145,8 (65-599; 152)

Tabelle 29: Zeit zur Durchführung der Übung *Intracorporeal Suture* für Trainingszeitpunkte T1-T5 der vier Gruppen. MW: Mittelwert, P-Score: Performance-Score, sec: Sekunden, SD: Standardabweichung.

Zeit *Intracorporeal Suture* Trainings-zeitpunkt	**2D gerade vs. 2D gebogen** (p-Wert)	**2D gerade vs. 3D gerade** (p-Wert)	**2D gebogen vs. 3D gebogen** (p-Wert)
T1	1	1	1
T2	**0,03**	1	1
T3	**0,001**	1	**0,039**
T4	1	1	1
T5	0,087	1	0,137

Tabelle 30: Gruppenvergleich *Intracorporeal Suture* Zeit (Einfaktorielle Varianzanalyse ANOVA)

Fehler *Intracorporeal Suture* Trainingszeitpunkt	**2D gerade Fehler** MW ± SD (Range; Median)	**2D gebogen Fehler** MW ± SD (Range; Median)	**3D gerade Fehler** MW ± SD (Range; Median)	**3D gebogen Fehler** MW ± SD (Range; Median)
T1	0,34 ± 0,9 (0-3; 0)	1,58 ± 1,39 (0-4; 2)	1,46 ± 2,39 (0-8; 0,5)	2,2 ± 3,47 (0-11; 0,88)
T2	0,32 ± 0,78 (0-2,5; 0)	1,94 ± 2,63 (0-6,5; 1)	1,21 ± 1,6 (0-4,5; 0,63)	1,23 ± 1,85 (0-6; 0,63)
T3	0,5 ± 0,67 (0-2; 0)	0,86 ± 1,26 (0-3; 0,25)	0,74 ± 1,27 (0-4,25; 0)	2,68 ± 4,86 (0-16; 1,13)
T4	0,31 ± 0,9 (0-3; 0)	0,53 ± 0,99 (0-3; 0)	1,04 ± 1,32 (0-4; 0,25)	0,83 ± 1,6 (0-5; 0)
T5	0,75 ± 2,09 (0-7; 0)	0,97 ± 1,03 (0-2,75; 0,5)	0,35 ± 0,96 (0-3,25; 0)	0,65 ± 1,33 (0-4; 0)

Tabelle 31: Fehler *Intracorporeal Suture* für Trainingszeitpunkte T1-T5 der vier Gruppen. Die Abweichung der Naht von einem markierten Durchstechungspunkt galt als Fehler. MW: Mittelwert, SD: Standardabweichung.

Fehler *Intracorporeal Suture* Trainingszeitpunkt	**2D gerade vs. 2D gebogen** (p-Wert)	**2D gerade vs. 3D gerade** (p-Wert)	**2D gebogen vs. 3D gebogen** (p-Wert)
T1	**0,008**	0,235	0,652
T2	0,06	0,198	0,566
T3	0,722	0,887	0,159
T4	0,319	0,219	0,671
T5	**0,033**	0,755	0,142

Tabelle 32: Gruppenvergleich Fehler *Intracorporeal Suture* (Mann-Whitney-U-Test).

9.1.5 Transfer Übung

Transfer Übung Trainingszeitpunkt	**2D gerade P-Score** MW ± SD (Range; Median)	**2D gebogen P-Score** MW ± SD (Range; Median)	**3D gerade P-Score** MW ± SD (Range; Median)	**3D gebogen P-Score** MW ± SD (Range; Median)
T1	-3610,3 ± 4092,7 (-14854-394,5; -2595,8)	-1840,5 ± 1452 (-5075- -151; -1646,5)	-1260 ± 1322,7 (-4870,5- -136; -856,5)	-1215,5 ± 1613,3 (-5904-119; -737)
T2	-1206,9 ± 1947,1 (-6624-780; -626,5)	-986,4 ± 1382,4 (-4638-534; -734)	-780,9 ± 827,6 (-2988-75; -726)	-700,2 ± 878,5 (-2670,5-395; -550)
T3	-652,8 ± 1259,6 (-3652,5-1238; -263)	-1424, 8 ± 1014,7 (-3329,5-86; -1415,5)	-766,2 ± 1031,4 (-2758-785,5; -963,3)	-208,3 ± 467,3 (-1594-245; -93,8)
T4	-435,7 ± 848,7 (-2104-1201,5; -486)	-769,1 ± 1181,4 (-2961-566; -658,5)	-383,6 ± 1183,8 (-3849-502,5; 81)	184,5 ± 621,6 (-1398,5-1184; 147)
T5	-186,4 ±1018,1 (-2468-1227; -229,5)	-251,7 ± 732,5 (-1581-746; -222,5)	-161,6 ± 805,2 (-2237,5-1112; -134,5)	286,3 ± 1047,9 (-2777-1272,5; 464,5)

Tabelle 33: Performance-Score ^{Transfer} Übung für Trainingszeitpunkte T1-T5 der vier Gruppen. MW: Mittelwert, P-Score: Performance-Score, SD: Standardabweichung.

Transfer Trainingszeitpunkt Performance Score	**2D gerade vs. 2D gebogen** (p-Wert)	**2D gerade vs. 3D gerade** (p-Wert)	**2D gebogen vs. 3D gebogen** (p-Wert)
T1	0,291	0,052	0,128
T2	0,932	0,799	0,731
T3	0,078	0,887	**0,006**
T4	0,843	0,41	**0,039**
T5	0,713	0,887	**0,024**

Tabelle 34: Gruppenvergleich Transfer Übung (Mann-Whitney-U-Test). P-Score: Performance-Score.

Zeit **Transfer Übung** **Trainingszeitpunkt**	**2D gerade** **Zeit (sec)** MW ± SD (Range; Median)	**2D gebogen** **Zeit (sec)** MW ± SD (Range; Median)	**3D gerade** **Zeit (sec)** MW ± SD (Range; Median)	**3D gebogen** **Zeit (sec)** MW ± SD (Range; Median)
T1	2385 ± 52 (2220-2400; 2400)	2379,6 ± 70,7 (2155-2400; 2400)	2400 ± 0 (2400-2400; 2400)	2387,2 ± 44,5 (2246-2400; 2400)
T2	2339,9 ± 167,5 (1825-2400; 2400)	2274,7 ± 296,9 (1531-2400; 2400)	2349,6 ± 141,5 (1909-2400; 2400)	2366,2 ± 84,5 (2127-2400; 2400)
T3	2301,8 ± 286 (1410-2400; 2400)	2400 ± 0 (2400-2400; 2400)	2311 ± 205,6 (1847-2400; 2400)	2400 ± 0 (2400-2400; 2400)
T4	2279,4 ± 270,7 (1494-2400; 2400)	2202,3 ± 295,7 (1702-2400; 2400)	2254,8 ± 246,9 (1741-2400; 2400)	2172 ± 361,8 (1422-2400; 2400)
T5	2209,5 ± 350,9 (1435-2400; 2400)	2173,8 ± 306,6 (1401-2400; 2290,5)	2259,3 ± 235,1 (1578-2400; 2343,5)	2035,3 ± 391,5 (1376-2400; 2064)

Tabelle 35: Zeit zur Durchführung der Tranfer Übung für Trainingszeitpunkte T1-T5 der vier Gruppen. Die maximale Zeit zum Absolvieren der Übung lag bei 2400 Sekunden. MW: Mittelwert, P-Score: Performance-Score, sec: Sekunden, SD: Standardabweichung.

Zeit **Transfer Übung** **Trainingszeitpunkt**	**2D gerade vs.** **2D gebogen** (p-Wert)	**2D gerade vs.** **3D gerade** (p-Wert)	**2D gebogen vs.** **3D gebogen** (p-Wert)
T1	1	1	1
T2	1	1	1
T3	1	1	1
T4	1	1	1
T5	1	1	1

Tabelle 36: Gruppenvergleich Transfer Übung Zeit (Einfaktorielle Varianzanalyse ANOVA).

Fehler **Transfer Übung**	**2D gerade** MW ± SD (Range; Median)		**2D gebogen** MW ± SD (Range; Median)		**3D gerade** MW ± SD (Range; Median)		**3D gebogen** MW ± SD (Range; Median)	
Fehlschnitte								
	Anzahl	**Summe⁺**	**Anzahl**	**Summe⁺**	**Anzahl**	**Summe⁺**	**Anzahl**	**Summe⁺**
T1	14,67 ± 8,95 (3-32; 13)	164,33 ± 141,11 (45-470; 109)	9,75 ± 6,59 (1-22; 8)	70,08 ± 84,76 (2-241; 25,5)	8,67 ± 6,79 (2-28; 7)	64,58 ± 85,11 (5-247; 22,5)	8,42 ± 5,47 (2-21; 7,5)	91,5 ± 71,31 (10-204; 67,5)
T2	9,42 ± 4,74 (3-20; 7,5)	100 ± 87,73 (18-275; 61,5)	7,08 ± 4,66 (0-15; 5,5)	55,25 ± 36,28 (0-123; 51)	8,08 ± 4,85 (1-18; 7,5)	70,17 ± 73,73 (3-192; 30)	6,33 ± 3,55 (1-13; 6)	63,42 ± 79,6 (5-266; 33,5)
T3	9 ± 4,71 (4-21; 7,5)	96,83 ± 119,62 (15-400; 45)	7,75 ± 6,61 (1-21; 4,5)	64,75 ± 92,14 (3-323; 26)	7,42 ± 3,73 (3-16; 6,5)	38,83 ± 33,09 (2-107; 30)	5,17 ± 2,17 (2-10; 5)	42,33 ± 53,21 (2-186 ± 18,5)
T4	6,75 ± 3,25 (1-12; 6,5)	90,5 ±96,19 (3-339; 52)	6,17 ± 5,59 (1-20; 4,5)	41,96 ± 50,5 (0-151; 21,75)	5,58 ± 4,91 (0-19; 5)	32,17 ± 36,22 (0-110; 18,5)	5,42 ± 2,94 (2-11; 5)	47,42 ± 39,64 (11-149; 35,5)
T5	7 ± 3,95 (1-14; 6)	79,33 ± 103,71 (2-364; 32,5)	5,58 ± 3,53 (0-14; 5)	45,83 ± 54,3 (0-199; 31)	4,83 ± 5,34 (1-21; 3)	42,25 ± 49,93 (2-127; 12)	4,08 ± 3,15 (0-11; 3,5)	26,58 ± 38,91 (0-140; 13,5)
Restgewebe								
	Anzahl	**Summe+**	**Anzahl**	**Summe+**	**Anzahl**	**Summe+**	**Anzahl**	**Summe+**
T1	8,5 ±6,3 (1-20; 8)	166,08 ± 273, 38 (3-989; 94)	9,33 ± 5,18 (4-22; 8,5)	123,5 ± 58,53 (22-227; 128,5)	7,25 ± 4,65 (0-16; 8,5)	100,67 ± 137,32 (0-519; 67)	7 ± 3,05 (3-14; 6,5)	85,92 ± 81,22 (9-256; 70,5)
T2	5,08 ± 4,98 (0-14; 3,5)	88,67 ± 94,1 (0-327; 81,5)	9,25 ± 4,62 (4-21; 8)	88,33 ± 57,32 (8-216; 75)	7,17 ± 4,06 (2-13;8)	61,25 ± 48,82 (11-178; 57,5)	6,75 ± 4,98 (0-18; 7)	67,08 ± 59,15 (0-190; 46,5)
T3	4,08 ± 3,5 (0-10; 4)	40,5 ± 46,85 (0-138; 14,5)	8,83 ± 3,76 (2-14; 9,5)	112,75 ± 70,73 (8-237; 117,5)	7,25 ± 5,36 (1-14; 8,5)	77,17 ± 60,99 (3-159; 99,5)	5,42 ± 2,97 (0-11; 6)	41,83 ± 29,62 (0-119; 36,5)
T4	4,67 ± 3,6 (0-13; 4)	38,17 ± 35,5 (0-102; 25,5)	9,42 ± 3,97 (4-17; 9)	80,17 ± 61,31 (5-215; 56)	6,33 ± 4,14 (2-15; 5)	54,83 ± 51,68 (8-155; 29,5)	4,17 ± 2,04 (1-8; 4)	26,67 ±34,46 (2-129; 14)
T5	3,42 ± 3,45 (0-11; 2,5)	20 ± 25,84 (0-78; 10)	7,5 ± 2,58 (3-11; 7,5)	57,75 ± 35,54 (8-116; 48)	5,25 ± 3,36 (0-11; 4,5)	43,92 ± 36,34 (0-120; 47,5)	3,58 ± 2,94 (0-11; 3,5)	37,67 ± 52,16 (0-187; 25)

Tabelle 37: Fehler Transfer Übung für Trainingszeitpunkte T1-T5 der vier Gruppen. Ein Fehlschnitt über den Toleranzbereich wurde als Fehler gewertet (Fehlschnitte Anzahl). Zusätzlich wurde Fehlschnitte, die über eine längere Strecke verliefen, ausgemessen (Fehlschnitte Summe). Das rotmarkierte Restgewebe wurde ebenfalls als Anzahl (Restgewebe Anzahl) und Streckenwert (Restgewebe Summe) ausgewertet. ⁺in Millimeter. MW: Mittelwert, SD: Standardabweichung.

Fehler Transfer Übung Trainingszeit-punkt	**2D gerade vs. 2D gebogen** (p-Wert)		**2D gerade vs. 3D gerade** (p-Wert)		**2D gebogen vs. 3D gebogen** (p-Wert)	
Fehlschnitte						
	Anzahl	**Summe**	**Anzahl**	**Summe**	**Anzahl**	**Summe**
T1	0,178	**0,02**	**0,039**	**0,014**	0,713	0,319
T2	0,219	0,347	0,63	0,198	0,755	0,478
T3	0,266	0,219	0,347	0,143	0,843	0,63
T4	0,378	0,078	0,198	**0,033**	0,799	0,198
T5	0,443	0,671	**0,06**	0,378	0,242	0,178
Restgewebe						
	Anzahl	**Summe**	**Anzahl**	**Summe**	**Anzahl**	**Summe**
T1	0,63	0,319	0,843	0,63	0,378	0,089
T2	**0,045**	0,799	0,219	0,755	0,16	0,266
T3	**0,006**	**0,005**	0,218	0,068	**0,017**	**0,028**
T4	**0,005**	0,068	0,319	0,319	**0,0**	**0,002**
T5	**0,005**	**0,006**	0,16	0,101	**0,002**	**0,045**

Tabelle 38: Gruppenvergleich Fehler Transfer Übung. Bei der Transferübung wurden unterschiedliche Fehler registriert. So wurden Fehlschnitte als Anzahl und über einen Streckenverlauf (Fehlschnitte Summe) ausgewertet. Belassenes Gewebe wurde als Restgewebe ebenfalls als Anzahl und im Streckenverlauf ausgewertet (Restgewebe Summe). (Mann-Whitney-U-Test).

9.1.6 NASA TLX

Gruppe	2D gerade MW ± SD (Range; Median)	2D gebogen MW ± SD (Range; Median)	3D gerade MW ± SD (Range; Median)	3D gebogen MW ± SD (Range; Median)
Arbeitsbelastung				
T1	378,7 ± 66,8 (270-500; 372,5)	392, 9 ± 57,4 (295-470; 402,5)	418,8 ± 74,7 (295-525; 407,5)	416,3 ± 68,1 (320-530; 392,5)
T2	366,7 ± 66,9 (215-445; 375)	378,3 ±48,1 (295-455; 375)	384,2 ±73,5 (275-515; 387,5)	366,7 ± 69,1 (250-535; 365)
T3	395,6 ± 81,3 (185-445; 395)	370 ±76,8 (240-505; 362,5)	376,3 ± 78,1 (200-470; 387,5)	357,1 ± 78,6 (245-570; 352,5)
T4	323,8 ± 74,9 (155-465; 330)	358,3 ± 104,2 (155-545; 367,5)	360,8 ± 51,1 (265-465; 352,5)	333,8 ± 93,1 (205-520; 315)
T5	335 ± 116,7 (40-500; 360)	348,2 ± 115,3 (85-525; 350)	339,2 ± 101,9 (90-475; 360)	320,4 ±104,4 (155-545; 317,5)
Mental Demand				
T1	62,1 ± 25,9 (15-95; 65)	70,4 ± 10,5 (50-90; 70)	70 ±21,5 (30-90; 75)	75,8 ± 11,2 (50-90; 77,5)
T2	65,4 ± 19,6 (30-95; 65)	68,8 ± 10,3 (55-85; 67,5)	68,8 ± 16,3 (35-85; 75)	69,6 ± 13,4 (45-90; 65)
T3	61,3 ± 19,1 (15-80; 67,5)	64,2 ± 17,6 (30-90; 62,5)	60,8 ± 17 (25-95; 60)	68,3 ± 12,9 (45-95; 67,5)
T4	54,2 ± 18,4 (25-80; 57,5)	62,1 ± 19,8 (30-90; 65)	63,8 ± 17,5 (35-90; 67,5)	64,2 ± 16,2 (40-90; 60)
T5	50 ± 25 (5-90; 57,5)	62,9 ± 22,3 (10-85; 70)	58,3 ± 21,1 (15-90; 62,5)	63,8 ± 21,2 (30-95; 65)

Gruppe	2D gerade MW ± SD (Range; Median)	2D gebogen MW ± SD (Range; Median)	3D gerade MW ± SD (Range; Median)	3D gebogen MW ± SD (Range; Median)
Physical Demand				
T1	58,3 ± 25,1 (14-90; 60)	55 ± 26,7 (10-95; 55)	70,8 ± 5,6 (60-80; 70)	70 ± 24,3 (5-100; 72,5)
T2	55 ± 18 (25-80; 55)	58,8 ± 22,2 (10-90; 67,5)	62,1 ± 13,9 (30-80; 67,5)	65,8 ± 21,1 (30-100; 65)
T3	46,7 ± 19,6 (15-80; 47,5)	62,9 ± 23 (10-95; 67,5)	71,3 ± 13,2 (40-90; 72,5)	63,8 ± 23,7 (20-100; 62,5)
T4	40,8 ± 25,1 (10-80; 32,5)	60,4 ± 27 (15-95; 62,5)	61,3 ± 16,4 (35-85; 62,5)	58,3 ± 23,8 (25-95; 57,5)
T5	47,5 ± 21,9 (15-75; 57,5)	58,3 ± 25,6 (5-100; 60)	55,8 ± 20,3 (20-85; 62,5)	58,8 ± 28 (20-100; 62,5)
Temporal Demand				
T1	61,3 ± 25,1 (20-100; 65)	64,2 ± 28,7 (10-95; 75)	71,3 ± 30,7 (10-100; 82,5)	57,9 ± 27,5 (10-90; 62,5)
T2	67,1 ± 24,3 (30-95; 75)	67,9 ± 16,3 (35-90; 70)	68,8 ± 24,4 (15-100; 72,5)	54,2 ± 21,9 (20-85; 52,5)
T3	65,8 ± 22,5 (25-95; 62,5)	64,9 ± 24,4 (20-95; 70)	65,4 ± 25,5 (5-90; 75)	40,3 ± 25,1 (15-95; 55)
T4	62,9 ± 19,1 (35-90; 62,5)	65 ± 24,8 (15-100; 75)	62,5 ± 19,7 (30-95; 62,5)	56,7 ± 28,7 (5-95; 60)
T5	58,8 ± 28,9 (5-95; 70)	63,3 ± 24,3 (10-90; 70)	64,6 ± 28,6 (0-100; 62,5)	53,3 ± 27,7 (10-90; 55)
Performance				
T1	57,9 ± 31,1 (5-100; 60)	56,3 ± 14,9 (40-85; 50)	59,2 ± 21 (20-80; 70)	73,8 ± 15,2 (45-100; 72,5)
T2	52,9 ± 22,2	45,8 ± 9,7	48,8 ± 18,6	52,1 ± 13,4

Gruppe	2D gerade MW ± SD (Range; Median)	2D gebogen MW ± SD (Range; Median)	3D gerade MW ± SD (Range; Median)	3D gebogen MW ± SD (Range; Median)
T2	(10-95; 52,5)	(30-60; 50)	(15-70; 52,5)	(30-80; 55)
T3	58,8 ± 20,7 (20-85; 62,5)	50,4 ± 23,3 (15-85; 47,5)	44,2 ± 24,5 (10-85; 50)	47,9 ± 13,6 (30-80; 50)
T4	47,1 ± 23,1 (10-85; 47,5)	41,3 ± 23,3 (10-95; 35)	40 ± 13,1 (15-60; 40)	42,5 ± 19 (10-70; 45)
T5	54,6 ± 30 (0-95; 62,5)	35,8 ± 19,3 (10-65; 40)	37,5 ± 25,5 (0-80; 37,5)	35,8 ± 23,7 (10-85; 30)
Effort				
T1	73,3 ± 14 (35-85; 75)	77,1 ± 17,1 (30-95; 80)	81,7 ± 14,8 (50-100; 87,5)	76,3 ± 16,9 (50-100; 77,5)
T2	69,2 ± 14,9 (40-90; 70)	78,3 ± 13,7 (50-95; 80)	78,8 ± 12,6 (60-100; 75)	74,2 ± 17,8 (40-100; 75)
T3	67,5 ± 16,2 (30-85; 70)	72,9 ± 13,9 (40-95; 75)	78,8 ± 11,5 (60-95; 77,5)	70 ± 19,9 (30-100; 67,5)
T4	72,1 ± 8,4 (60-85; 75)	75,4 ± 15,4 (45-100; 77,5)	78,8 ± 13,5 (60-95; 75)	70,4 ± 19,7 (25-100; 70)
T5	68,8 ± 23,6 (10-90; 75)	76,3 ± 16,9 (45-100; 82,5)	71,7 ± 18,6 (35-100; 70)	74,2 ± 23,2 (15-100; 82,5)
Frustration				
T1	65,8 ± 23,8 (15-100; 70)	70 ± 28,1 (15-100; 80)	65,8 ± 22,1 (25-100; 72,5)	62,5 ± 28,1 (5-100; 65)
T2	57,1 ± 20,1 (30-85; 60)	58,8 ± 22,8 (15-90; 62,5)	57,1 ± 30 (15-100; 60)	50,8 ± 17,9 (30-90; 47,5)
T3	59,6 ± 21,9 (25-85; 67,5)	56,7 ± 29,1 (5-95; 62,5)	55,8 ± 30,2 (0-85; 67,5)	50,8 ± 20 (15-100; 45)

Gruppe	2D gerade MW ± SD (Range; Median)	2D gebogen MW ± SD (Range; Median)	3D gerade MW ± SD (Range; Median)	3D gebogen MW ± SD (Range; Median)
T4	46,7 ± 26,1 (10-85; 40)	54,2 ± 30,8 (10-90; 65)	54,6 ± 14,1 (30-80; 55)	41,7 ± 23,1 (10-90; 42,5)
T5	55, 4 ± 33,9 (5-100; 67,5)	51,7 ± 31,1 (5-95; 52,5)	51,3 ± 29 (0-85; 62,5)	34,6 ± 25,1 (5-100; 27,5)

Tabelle 39: NASA TLX Arbeitsbelastung und Belastung in Subskalen zu den Trainingszeitpunkten T1-T5 der vier Gruppen. Dargestellt sind die Werte für die generelle Arbeitsbelastung [ungewichtet (Arbeitsbelastung)] sowie die ungewichteten Subskalen.

NASA TLX	**2D gerade vs. 2D gebogen** (p-Wert)	**2D gerade vs. 3D gerade** (p-Wert)	**2D gebogen vs. 3D gebogen** (p-Wert)
Arbeitsbelastung			
T1	0,581	0,18	0,374
T2	0,629	0,548	0,636
T3	0,75	0,614	0,688
T4	0,361	0,17	0,548
T5	0,781	0,927	0,54
Mental Demand			
T1	0,319	0,424	0,236
T2	0,607	0,655	0,866
T3	0,701	0,956	0,514
T4	0,322	0,205	0,781
T5	0,195	0,387	0,926
Physical Demand			
T1	0,762	0,116	0,164
T2	0,653	0,292	0,431
T3	0,076	**0,002**	0,931
T4	0,079	**0,028**	0,843
T5	0,277	0,344	0,97
Temporal Demand			
T1	0,794	0,392	0,591
T2	0,922	0,868	0,096

T3	0,764	0,967	0,516
T4	0,82	0,959	0,455
T5	0,679	0,624	0,358
Performance			
T1	0,869	0,909	**0,01**
T2	0,322	0,623	0,204
T3	0,364	0,129	0,751
T4	0,544	0,369	0,887
T5	0,082	0,146	1
Effort			
T1	0,563	0,171	0,906
T2	0,131	0,103	0,527
T3	0,388	0,062	0,681
T4	0,518	0,163	0,496
T5	0,38	0,74	0,804
Frustration			
T1	0,699	1	0,52
T2	0,851	1	0,355
T3	0,784	0,731	0,574
T4	0,527	0,366	0,273
T5	0,78	0,75	0,153

Tabelle 40: Gruppenvergleich NASA TLX Arbeitsbelastung und Subskalen. Dargestellt sind die Werte für die generelle Arbeitsbelastung [ungewichtet (Arbeitsbelastung)] sowie die ungewichteten Subskalen (T-Test für Mittelwertgleichheit).

9.2 Ethikvotum

LMU LUDWIG-MAXIMILIANS-UNIVERSITÄT MÜNCHEN

ETHIKKOMMISSION BEI DER MED. FAKULTÄT DER LMU MÜNCHEN

Ethikkommission · Pettenkoferstr. 8 · 80336 München

Klinikum der Universität München
Klinik f. Allgemein-, Viszeral-, Gefäß- und Transplantationschirurgie
Dr. Julian Bucher
Klinikum Großhadern
81377 München

Vorsitzender:
Prof. Dr. W. Eisenmenger
Telefon+49 (0)89 440055191
Telefax+49 (0)89 440055192
Ethikkommission@med.uni-muenchen.de
www.ethikkommission.med.uni-muenchen.de

Anschrift:
Pettenkoferstr. 8a
D-80336 München

30.10.2017 Hb/om

Projekt Nr: **17-534** (bitte bei Schriftwechsel angeben)

Beratung nach Fakultätsrecht

Studientitel: VideoSurgery-Studie - Eine randomisierte, kontrollierte Interventionsstudie zur Überprüfung neuer Trainingskonzepte in der Laparoskopie-Ausbildung
Antragsteller: Dr. Julian Bucher, Klinikum der Universität München, Klinik f. Allgemein-, Viszeral-, Gefäß- und Transplantationschirurgie, Klinikum Großhadern, 81377 München

Sehr geehrter Herr Dr. Bucher,

der Antrag vom 31.07.2017 zur o.g. Studie wurde auf der Basis der vorgelegten Unterlagen und Informationen entsprechend § 15 der Berufsordnung und des Fakultätsrechts beraten.

Die Ethikkommission (EK) erhebt keine Einwände gegen die Durchführung der Studie.

Allgemeine Hinweise:

- Änderungen im Verlauf der Studie sind der EK zur erneuten Prüfung vorzulegen.
- Schwerwiegende unerwartete studienabhängige Ereignisse sind der EK mitzuteilen.
- Das Ende der Studie ist anzuzeigen und das Ergebnis vorzulegen.
- Die ärztliche und juristische Verantwortung bei der Durchführung der Studie verbleibt uneingeschränkt bei Ihnen und Ihren Mitarbeitern.

Die Ethikkommission wünscht Ihnen für Ihr Vorhaben viel Erfolg.

Mit freundlichen Grüßen

[redacted]

Prof. Dr. W. Eisenmenger
Vorsitzender der Ethikkommission

Mitglieder der Kommission:
Prof. Dr. W. Eisenmenger (Vorsitzender), Prof. Dr. E. Held (Vorsitzender), Prof. Dr. H. Angstwurm, Prof Dr. C. Bausewein, PD Dr. Th. Beinert, Prof. Dr. C. Belka, Prof. Dr. B. Emmerich, Prof. Dr. St. Endres, Prof. Dr. H. U. Gallwas, Prof. Dr. O. Genzel- Boroviczény, Prof. Dr. A. Gerbes, Prof. Dr. K. Hahn, Prof. Dr. N. Harbeck, Dr. B. Henrikus, Prof. Dr. Ch. Heumann, Prof. Dr. V. Klauss, Prof. Dr. G. Marckmann, Dr. V. Mönch, Prof. Dr. A. Nassehi, Prof. Dr. D. Nowak, Prof. Dr. R. Penning, Prof. Dr. J. Peters, Prof. Dr. K. Pfeifer, Dr. I. Saake, Prof. Dr. M. Schmauss, Prof. Dr. U. Schroth, Prof. Dr. A. Spickhoff, Prof. Dr. O. Steinlein, PD Dr. U. Wandl, Prof. Dr. C. Wendtner, Dr. A. Yassouridis, Dr. Ch. Zach

9.3 Probandeninformation und Einverständniserklärung

Klinikum der Universität München ·
Chirurgische Klinik und Poliklinik
Großhadern ·
Marchioninistr. 15 · 81377 München

Arbeitsgruppe
Minimalinvasive Chirurgie

Chirurgische Klinik und Poliklinik

Telefon +49 (0)89 4400 – 72791
Telefax +49 (0)89 4400 – 78893

Studienleiter:
Dr. med. Julian Bucher
julian.bucher@med.uni-muenchen.de

Dr. med. Katharina Brüwer
katharina.bruewer@med.uni-muenchen.de

Probandeninformation und Einwilligungserklärung

Ihr Zeichen: Unser Zeichen:

München, 01.06.2017

Eine randomisierte, kontrollierte Interventionsstudie zum Präparieren und Nähen im dreidimensionalen Raum in der Laparoskopie-Ausbildung

Sehr geehrte Probandin, sehr geehrter Proband,

Sie wurden gefragt, ob Sie Interesse haben, an einer Interventionsstudie teilzunehmen.

Minimalinvasive Operationsverfahren haben die Chirurgie revolutioniert und gehört heutzutage zur Kernkompetenz aller Chirurgen. Somit hat die **Minimalinvasive Chirurgie** (MIC) einen essenziellen Stellenwert in der Ausbildung von jungen Chirurgen. Die Lernkurve in der MIC ist allerdings flacher als in der offenen Chirurgie. Die Performance bei laparoskopischen Eingriffen lässt sich nachweislich durch Simulator-basiertes Training optimieren. Daher wurde das Simulator-basierte Laparoskopie-Training (u.a. FLS-Kurrikulum) z.B. vom American College of Surgeons in das offizielle Ausbildungskurrikulum aufgenommen.

Arbeiten im dreidimensionalen Raum

Einer der Hauptfaktoren für die flache Lernkurve der Laparoskopie ist die Arbeit im dreidimensionalen Raum, die gewöhnlich auf einen zweidimensionalen Bildschirm übertragen wird. Beherrscht ein Operateur dieses, so hat es entscheidenden Einfluss auf Erfolg und Dauer des laparoskopischen Eingriffs.

Das Klinikum der Universität München ist eine Anstalt des öffentlichen Rechts

Die folgende Information gibt Ihnen einen Überblick über die Ziele und den Ablauf dieser Interventionsstudie, sowie über alle Testungen, die während der Studie durchgeführt werden. Die Studie wird gemäß der Deklaration von Helsinki durchgeführt, die zum Schutz der an klinischen Prüfungen teilnehmenden Patienten und Probanden verabschiedet wurde.

Ihre Entscheidung zur Teilnahme an der Interventionsstudie im Rahmen des Wahlfaches ist vollkommen freiwillig.
Der/die Studienleiter/in werden Sie über den Ablauf der Studie sowie über den möglichen Nutzen und eventuelle Risiken im Zusammenhang mit der Studie aufklären. Alle Fragen Ihrerseits wird der/die Studienleiter/in ausführlich beantworten. Wenn Sie an der Studie teilnehmen möchten, müssen Sie eine Probandeneinverständniserklärung unterschreiben.

Sollten Sie sich für oder gegen eine Studienteilnahme entscheiden, entsteht in keiner Weise ein Nachteil – die Notenvergabe und Teilnahmebestätigung für das Wahlfach erfolgt daher ausdrücklich vor dem Studienbeginn.

ZIEL DER STUDIE

Diese Studie soll den Lernerfolg des FLS-Kurrikulums unter Einsatz von verschiedenen laparoskopischen Instrumenten im Hinblick auf das Arbeiten im dreidimensionalen Raum untersuchen.

ANFORDERUNGEN IM RAHMEN DER STUDIE

Nach einer Einführung in die theoretischen Grundlagen (Technik, Instrumente, Strategien) der minimalinvasiven Chirurgie werden die Teilnehmer in Versuchs- und Kontrollgruppe randomisiert. Es folgt für alle Gruppen die Vermittlung eines strukturierten, praktischen Trainings mit diverse Testaufgaben, die in einem standardisierten Versuchsaufbau innerhalb der vorgegebenen Zeit absolviert werden sollen. Je nach Gruppenzuordnung kommen unterschiedliche Lap-Instrumente zur Lösung der Aufgaben zum Einsatz. Zur späteren Auswertung werden diverse Performanceparameter erhoben und unter dem Pseudonym des Probanden gespeichert.

Die Aufgaben:

1. PEG-Transfer: Sechs Plastikhülsen müssen jeweils einzeln aus einem definierten Bereich mit der Fasszange der nicht-dominanten Hand aufgenommen, ohne Absetzen von der Fasszange der dominanten übernommen und in einem anderen, definierten Areal abgelegt werden. Nachdem sämtliche Hülsen transferiert wurden, müssen sie in gleicher Weise zum Ausgangspunkt zurück gebracht werden. Für diese Aufgabe stehen 300 Sekunden zur Verfügung
2. Präzises Schneiden: Zwischen zwei markierten Kreisen (innerer Kreis mit 6 cm Durchmesser, äußerer Kreis 8,5 cm Durchmesser) auf einer aufgespannten Textilfläche muss ein Kreis ausgeschnitten werden. Hierfür stehen eine Fasszange und eine laparoskopische Schere zur Verfügung. Die Aufgabe muss in 600 Sekunden bewältigt werden.
3. Ligating Loop: Eine stabile, monofile Schlinge (Endoloop) muss mit Hilfe einer Fasszange um einen Schaumstoffstab geschlungen, zugezogen und das Fadenende abgeschnitten werden. 1 mm Genauigkeit beim Anlegen der Schlinge wird erwartet.

Für die Aufgabe stehen 150 Sekunden zur Verfügung.

4. Intracorporeal Knot: In ein Plastikgewebe muss an vorgezeichneter Stelle mit einem Faden (z.B. Seralon 2-0) ein Stich gesetzt werden und anschließend in dem Simulator 3 Knoten gesetzt werden. Für die Übung sind max. 600 Sekunden vorgesehen.

Nach dem Absolvieren dieser vier Übungen erfolgt die Transferaufgabe:

1. Der Studienteilnehmer soll eine dreidimensionale Form mithilfe einer Lap-Schere und einer Fasszange präzise ausschneiden. Anschließend soll er zwei der drei ausgeschnittenen Formen mit intrakorporalem Nähen (z.B. Seralon 2-0) stufenfrei adaptieren. Für die Übung hat der Teilnehmer max. 40 Minuten Zeit.

POTENTIELLER NUTZEN EINER STUDIENTEILNAHME

Durch diese Studie ist ein Erkenntnisgewinn in Hinblick auf das Arbeiten im dreidimensionellen Raum in der minimalinvasiven Chirurgie zu erwarten. Die Vor- und Nachteile von unterschiedlichen Instrumenten wird getestet.

RISIKEN EINER STUDIENTEILNAHME

Alle in dieser Studie verwendeten Geräte und Instrumente sind zugelassene medizintechnische Produkte. Der Einsatz erfolgt nur am Laparoskopiesimulator. Durch die Verwendung der Instrumente entsteht für keinen der Beteiligten eine relevante Verletzungsgefahr.

Sie haben keine relevanten Risiken und keine direkten Nachteile durch die Studie zu befürchten. Durch die geringen Risiken ist auch keine spezielle Probandenversicherung für Sie abgeschlossen worden.

WIDERRUF DER EINWILLIGUNGSERKLÄRUNG

Ihre Teilnahme an der Studie ist vollkommen freiwillig und Sie können Ihre Einwilligung zur Teilnahme an der Studie jederzeit und ohne Angabe von Gründen zurückziehen. Diese Entscheidung hat keinen Einfluss auf den verlauf und die Bewertung der Wahlfachteilnahme. Falls Sie Ihre Teilnahme an der Studie abbrechen möchten, müssen Sie den/die Studienleiter/in unverzüglich über Ihre Entscheidung unterrichten.

DATENSCHUTZ

Bei dieser Interventionsstudie werden die Vorschriften über die ärztliche Schweigepflicht und den Datenschutz eingehalten. Es werden persönliche Daten und Befunde über die/den Probandin/-en erhoben, gespeichert und verschlüsselt (pseudonymisiert), d.h. der Name, Initialen oder das exakte Geburtsdatum erscheinen nicht im Verschlüsselungscode. Im Falle des Widerrufs der Einwilligung werden die pseudonymisiert gespeicherten Daten gelöscht. Der Zugang zu der Datenbank ist auf folgende Personen beschränkt (Dr. med. Katharina Brüwer, Dr. med. Julian Bucher, Dr. med. Johanna Hidding). Die Unterlagen werden in der Chirurgischen Klinik für 10 Jahre aufbewahrt. Im Falle von Veröffentlichungen der Studienergebnisse bleibt die Vertraulichkeit der persönlichen Daten ebenfalls gewährleistet.

Sollten Sie zu einem späteren Zeitpunkt noch weitere Fragen haben, setzen Sie sich bitte mit der/dem Studienleiter in Verbindung.

Mit Ihrer Unterschrift auf der folgenden Einverständniserklärung bestätigen Sie, dass Sie eine Kopie dieser Probandeninformation erhalten haben, Sie einer Studienteilnahme zustimmen und über die datenschutzrechtlichen Belange aufgeklärt wurden.

Schriftliche Einverständniserklärung

"Ich habe diese Information gelesen, sie wurde mir erläutert und ich habe alles verstanden. Ich hatte ausreichend Zeit, Fragen zu stellen, und die Fragen wurden mir zu meiner Zufriedenheit beantwortet. Durch meine Unterschrift bestätige ich mein Einverständnis zur freiwilligen Teilnahme an dieser Studie und, dass ich eine Kopie dieser Probandeninformation erhalten habe."

“Ich bin damit einverstanden, dass meine Daten pseudonymisiert (d. h. ohne Bezug zu meinen unmittelbar identifizierenden Daten) gespeichert bzw. aufbewahrt werden und für die wissenschaftliche Nutzung nach Maßgabe der Probandeninformation zur Verfügung stehen.“

_____	_____
Name des Probanden	Name des aufklärenden Studienleiters
_____	_____
Datum, Unterschrift des Probanden	Unterschrift des aufklärenden Studienleiters

Ansprechpartner, Kontaktadresse

Während der Laufzeit der Studie können Sie bei Fragen Ihrerseits jederzeit einen der verantwortlichen Prüfarzte kontaktieren:

Dr. med. Julian Bucher

Klinik für Allgemein-, Viszeral- und Transplantationschirurgie
Klinikum Großhadern, Marchioninistraße 15, 81377 München
Email: julian.bucher@med.uni-muenchen.de
Telefon: 089/4400-72791

Dr. med. Katharina Brüwer

Klinik für Allgemein-, Viszeral- und Transplantationschirurgie
Klinikum Großhadern, Marchioninistraße 15, 81377 München
Email: katharina.bruewer@med.uni-muenchen.de
Telefon: 089/4400-72791

9.4 Fragebogen zur Demographie

Fragebogen Datum: Pseudonym:

Demographie	Antwort
Alter (Jahre)	
Geschlecht (w/m)	
Semesterzahl (incl. Vorklinik)	
Physikumsnote (optional)	

	Schulnoten (1 = trifft voll zu; 6 trifft überhaupt nicht zu)
1 Ich benutze beim Einparken lieber den Spiegel/ Kamera anstatt mich umzudrehen	
2 Ich benutze Virtual Reality Produkte (falls nein Frage 3.1, falls ja Frage 2.1?)	
2.1 Wie oft benutzen Sie diese (h/p.W.)?	
3 Ich spiele ein Musikinstrument (falls nein Frage 4, falls ja Frage 3.1)	
3.1 Welches Instrument?	
3.2 Ich spiele ein Musikinstrument auf professionellem Niveau (öffentliche Auftritte oder Wettbewerbe)	
4 Ich spiele gerne Geschicklichkeitsspiele. (Mikado, Jenga, etc.)	
5 Ich spiele Konsolen-Spiele (X-Box, Playstation etc.)	
5.1 Ich spiele hauptsächlich „jump-and-run-Spiele“	
5.2 Ich spiele hauptsächlich Strategie-Spiele	
5.3 Ich spiele weniger als 2h/Woche Konsolen-Spiele	
5.4 Ich spiele zwischen 2 und 6h/Woche Konsolen-Spiele	
5.5 Ich spiele mehr als 6h/Woche Konsolen-Spiele	
6 Ich spiele gerne RubixCube/ Zauberwürfel. (falls ja, weiter zu Frage 6.1)	
6.1 Was ist Ihre Bestzeit?	
7 Ich habe einen guten räumlichen Orientierungssinn.	
8. Ich kann gut dreidimensional sehen?	
9. Ich treibe regelmäßig Sport (auch spezifizieren welche Sportart)	
9.1. Ich treibe weniger als 2h/Woche Sport	
9.2. Ich treibe zwischen 2 und 6h/Woche Sport	
9.3. Ich treibe mehr als 6h/Woche Sport	
9.4. Ich treibe regelmäßig Leistungssport (Wettkämpfe organisiert durch offizielle Sportverbände)	

9.5 Dokumentationsbogen

VideoSurgery: Checkliste Testaufgaben - FLS

2D gerade	2D gebogen
3D gerade	3D gebogen

Pseudonym:

DeKa Test:

Precision-Cutting:

Zeitpunkt	Baseline-Test					
Zeit (in sec.; maximal 300 sec.)						
Kreis bis... Grad ausgeschnitten						
Anzahl an Fehlschnitten						
Ausriss des Gewebes						

Suture with intracorporeal knot:

Zeitpunkt	Baseline-Test					
Zeit (in sec.; maximal 600 sec.)						
Naht nicht im markierten Bereich						
Knoten ist fehlerhaft ausgeführt						
Knoten ist nicht belastbar						
Abweichung in mm						

Peg-Transfer:

Zeitpunkt					
Zeit (in sec.; maximal 300 sec.)					
Objekt verloren					
Objekt fällt aus dem Blickfeld oder kann nicht mehr aufgenommen werden					
Aufgabe nicht bestanden					

Transfer-Übung:

Zeitpunkt					
Zeit (in sec.; maximal 2400 sec=40min.)					
Form komplett ausgeschnitten?					
Wieviel mm stehen noch (Vorder und Rückseite addieren)					
Mittelstück in einem ausgeschnitten? 1=ein Stück 2= in 2 Stücken etc.					
Anzahl an Fehlschnitten (>5mm über schwarze Linie hinaus)					
Wieviel „Rot“ ist noch zu sehen? Anzahl					
Rote Strecken ausgemessen in mm addiert					
Anzahl an korrekten Knoten					
Stufe im Nahtbereich in mm addiert					

9.6 NASA TLX

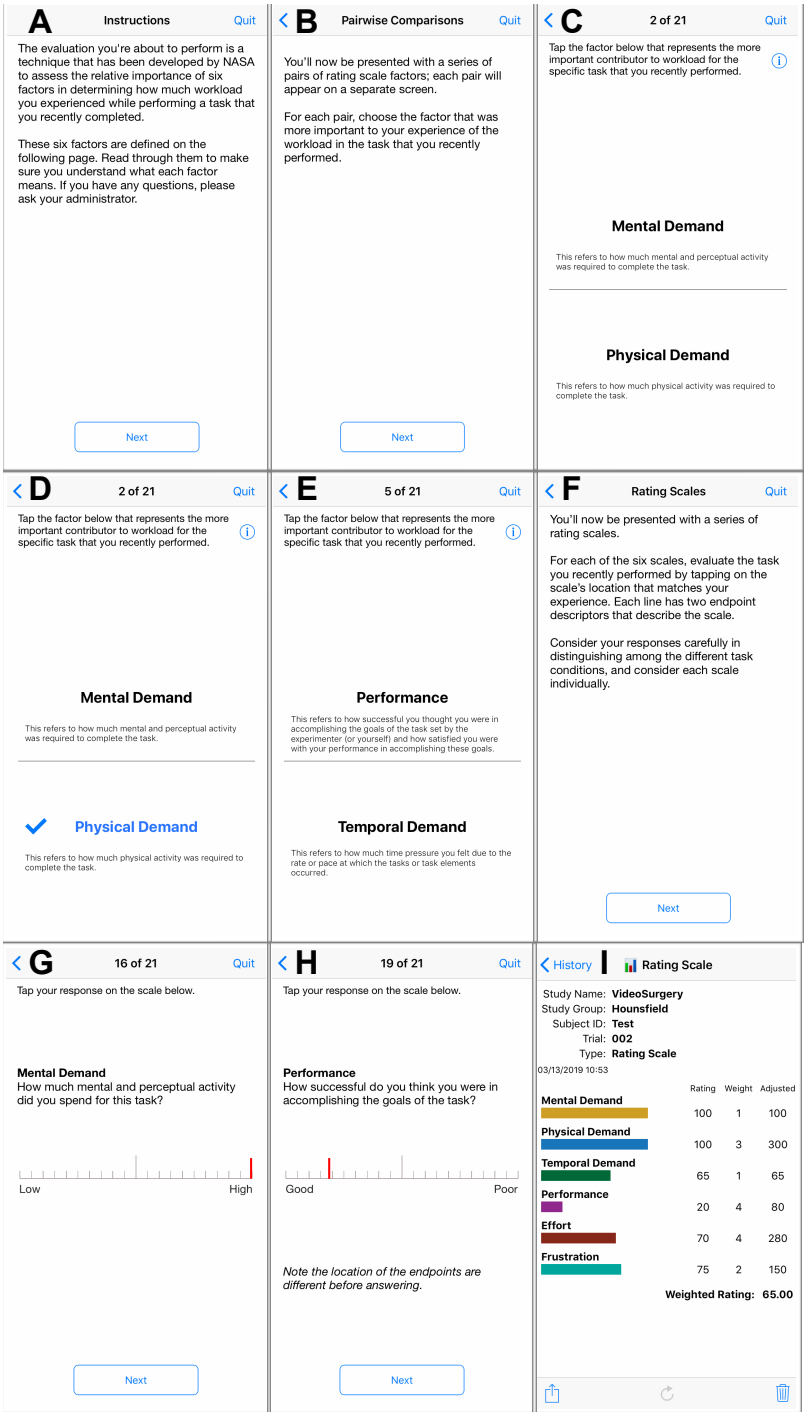
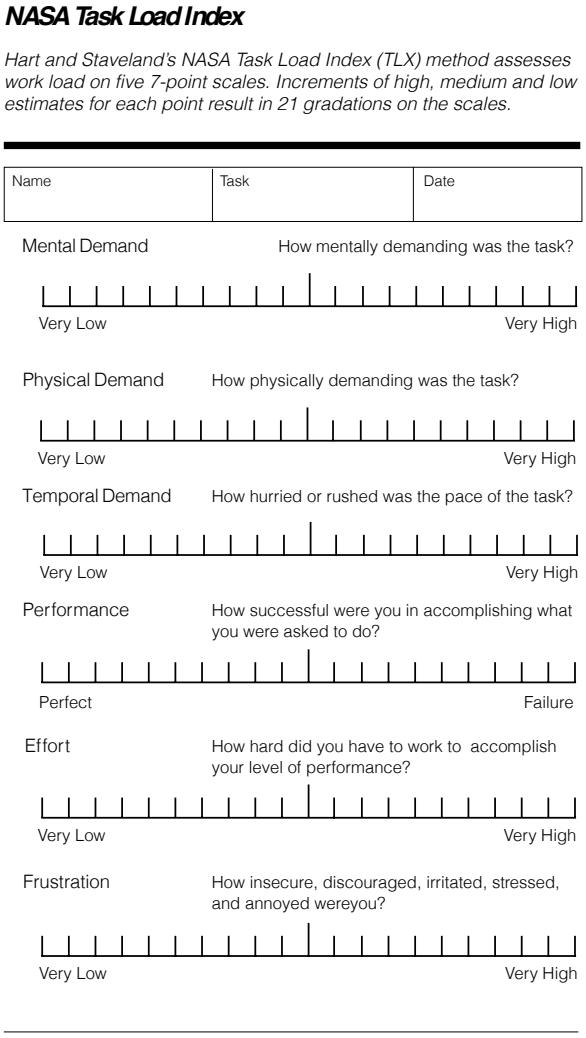


Abbildung 26: Der NASA TLX Fragebogen in elektronischer Version auf dem Handy. (A-E) Nach einer Einleitung in den Fragebogen und Definition der gefragten Begriffe erfolgt zunächst eine Gegenüberstellung von „Pärchen“. (F-H) Im zweiten Schritt erfolgt das „Rating“, bei der jede erfragte Anforderung auf einer visuellen Analogscala beurteilt werden kann. Im Anschluss wird dem Supervisor von dem Programm eine Auswertung mit und ohne Gewichtung angezeigt (I).



NASA Task Load Index

Hart and Staveland's NASA Task Load Index (TLX) method assesses work load on five 7-point scales. Increments of high, medium and low estimates for each point result in 21 gradations on the scales.

Name	Task	Date

Mental Demand — How mentally demanding was the task?
Very Low — Very High

Physical Demand — How physically demanding was the task?
Very Low — Very High

Temporal Demand — How hurried or rushed was the pace of the task?
Very Low — Very High

Performance — How successful were you in accomplishing what you were asked to do?
Perfect — Failure

Effort — How hard did you have to work to accomplish your level of performance?
Very Low — Very High

Frustration — How insecure, discouraged, irritated, stressed, and annoyed wereyou?
Very Low — Very High

Abbildung 27: NASA TLX Fragebogen. (https://humansytems.arc.nasa.gov/groups/tlx/downloads/TLXScale.pdf).