Aus der Klinik für Hals-, Nasen-, Ohrenheilkunde
Geschäftsführender Direktor: Univ.-Prof. Dr. med. Boris A. Stuck

des Fachbereichs Medizin der Philipps-Universität Marburg

Analyse verschiedener Trainingsprogramme am Da-Vinci-Skills-Simulator

Inaugural-Dissertation zur Erlangung des Doktorgrads der gesamten Humanmedizin
dem Fachbereich Medizin der Philipps-Universität Marburg

vorgelegt von

Marie Gesine Baumhaus geb. Schmitt
geboren am 13.07.1991 in Kaltenkirchen

Marburg 2019

Angenommen vom Fachbereich Medizin der Philipps-Universität Marburg am:
30.10.2019

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereichs

Dekan:	Prof. Dr. Helmut Schäfer
Referent:	Prof. Dr. Christian Güldner
1. Korreferent:	Prof. Dr. Axel Hegele

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit und Verständlichkeit wird bei geschlechterspezifischen Wörtern in dieser Arbeit lediglich stellvertretend die männliche Form verwendet. Es sind aber zu jeder Zeit, sofern nicht anders benannt, alle Geschlechter damit gemeint.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung 1

2. Material und Methoden 8

2.1 Studiendesign und Probanden 8

2.2 Steuerung und Bedienung des *Da-Vinci-Skills-Simulators* 8

2.3 Studienablauf 11

2.4 Roboterspezifische Fähigkeiten und die jeweiligen Übungen 14

2.5 Übungsaufgaben und Abschlusstests 14

2.5.1 „Peg Board 1 & 2“ 14

2.5.2 „Match Board 1, 2 & 3“ 15

2.5.3 „Ring and Rail 1 & 2“ 16

2.5.4 „Thread the Rings“ 17

2.5.5 „Needle Targeting“ 18

2.5.6 „Energy Dissection 2“ 18

2.5.7 „Stacking Challenge“ 19

2.6 Bewertungsparameter und Auswertung des *Da-Vinci-Skills-Simulators* 20

2.7 Einstufung der einzelnen Aufgaben und trainierte Fähigkeiten 26

2.8 Fragebogen 27

2.9 Statistische Auswertung 30

3. Ergebnisse 31

3.1 Gruppe 1 31

3.1.1 Übung 1 („Peg Board 1“) 31

3.1.2 Übung 4 („Match Board 2“) 32

3.1.3 Übung 7 („Needle Targeting“) 33

3.1.4 Gesamtzeit Gruppe 1 34

3.2 Gruppe 2 35

3.2.1 Übung 2 („Match Board 1“) 35

3.2.2 Übung 5 („Peg Board 2“) 36

3.2.3 Übung 8 („Ring and Rail 2) 37

3.2.4 Gesamtzeit Gruppe 2 38

3.3 Gruppe 3 39

3.3.1 Übung 3 („Ring and Rail 1“) 39

3.3.2 Übung 6 („Thread The Rings“) 40

3.3.3 Übung 9 („Match Board 3“) 41
3.3.4 Gesamtzeit Gruppe 3 41
3.4 Vergleich der Gruppen untereinander 43
3.4.1 Vergleich der Gesamtzeit 43
3.4.2 Vergleich der Übungen mit geringem Schwierigkeitsgrad 44
3.4.2.1 Vergleich der Übungen mit geringem Schwierigkeitsgrad zwischen Gruppe 1 und 2 ...44
3.4.2.2 Vergleich der Übungen geringer Schwierigkeit zwischen Gruppe 1 und 3 47
3.4.2.3 Vergleich der Übungen geringer Schwierigkeit zwischen Gruppe 2 und 3 49
3.4.3 Vergleich der Übungen mit mittlerem Schwierigkeitsgrad..... 52
3.4.3.1 Vergleich der Übungen mittlerer Schwierigkeit zwischen Gruppe 1 und 2.....52
3.4.3.2 Vergleich der Übungen mittlerer Schwierigkeit zwischen Gruppe 1 und 3.....55
3.4.3.3 Vergleich der Übungen mittlerer Schwierigkeit zwischen Gruppe 2 und 3.....57
3.4.4 Vergleich der Übungen mit hohem Schwierigkeitsgrad 60
3.4.4.1 Vergleich der Übungen mit hohem Schwierigkeitsgrad zwischen Gruppe 1 und 2 60
3.4.4.2 Vergleich der Übungen mit hohem Schwierigkeitsgrad zwischen Gruppe 1 und 3 62
3.4.4.1 Vergleich der Übungen mit hohem Schwierigkeitsgrad zwischen Gruppe 2 und 3 65
3.5 Abschlussaufgaben 68
3.5.1 „Energy Dissection 2“ 68
3.5.2 „Stacking Challenge“ 71
3.5.3 Fragebogen 72
4. Diskussion 74
5. Zusammenfassung 90
6. Abstract 92
Literaturverzeichnis 94
Literaturverzeichnis – alphabetisch 98
Abkürzungsverzeichnis 102
Anhang 103
Verzeichnis der akademischen Lehrer: 108
Danksagung 110
Ehrenwörtliche Erklärung ..... Fehler! Textmarke nicht definiert.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Konsole des Operationsroboters (eigenes Bild) 9
Abbildung 2: Steuerelemente (eigenes Bild) 9
Abbildung 3: Steuerelemente (eigenes Bild) 10
Abbildung 4: Virtuelle Instrumente (eigenes Bild) 10
Abbildung 5: „Peg Board 1“ (eigenes Bild) 15
Abbildung 6: „Match Board 2“ (eigenes Bild) 16
Abbildung 7: „Match Board 3“ (eigenes Bild) 16
Abbildung 8: „Ring and Rail 1“ (eigenes Bild) 17
Abbildung 9: „Ring and Rail 2“ (eigenes Bild) 17
Abbildung 10: „Thread the Rings“ (eigenes Bild) 17
Abbildung 11: „Needle Targeting“ (eigenes Bild) 18
Abbildung 12 „Energy Dissection 2" (eigenes Bild) 19
Abbildung 13: „Energy Dissection 2" (eigenes Bild) 19
Abbildung 14: „Stacking Challenge“ (eigenes Bild) 20
Abbildung 15: Bewertungsbildschirm nach Beenden der Übung „Energy Dissection 2“ (eigenes Bild) 21
Abbildung 16: „Energy Dissection 2“ (eigenes Bild) 69

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Ablauf der Versuchstage 13
Tabelle 2: Übungscurricula der einzelnen Gruppen 13
Tabelle 3: Gewichtung der einzelnen Parameter für den Gesamtprozentwert im Herstellerschema 23
Tabelle 4: Prozentgrenzen des Herstellers für die Parameter der einzelnen Übungen 25
Tabelle 5: Gruppe 1, Übung 1: Vergleich erster und letzter Durchgang mit Signifikanzniveau 5 % 32
Tabelle 6: Gruppe 1, Übung 4: Vergleich erster und letzter Durchgang mit Signifikanzniveau 5 % 33
Tabelle 7: Gruppe 1, Übung 7: Vergleich erster und letzter Durchgang mit Signifikanzniveau 5 % 34
Tabelle 8: Gruppe 2, Übung 2: Vergleich erster und letzter Durchgang mit Signifikanzniveau 5 % 35
Tabelle 9: Gruppe 2, Übung 5: Vergleich erster und letzter Durchgang mit Signifikanzniveau 5 % 36
Tabelle 10: Gruppe 2, Übung 8: Vergleich erster und letzter Durchgang mit Signifikanzniveau 5 % 37
Tabelle 11: Gruppe 3, Übung 3: Vergleich erster und letzter Durchgang mit Signifikanzniveau 5 % 39
Tabelle 12: Gruppe 3, Übung 6: Vergleich erster und letzter Durchgang mit Signifikanzniveau 5 % 40
Tabelle 13: Gruppe 3, Übung 9: Vergleich erster und letzter Durchgang mit Signifikanzniveau 5 % 41
Tabelle 14: Durchschnittlich benötigte Zeit pro Übung 43
Tabelle 15: Vergleich Gesamtprozentwert Gruppe 1 und 2, Übung 1 und 2 44
Tabelle 16: Vergleich „Time To Complete Exercise“ in Sekunden Gruppe 1 und 2, Übung 1 und 2 44
Tabelle 17: Vergleich „Economy Of Motion" in Zentimetern Gruppe 1 und 2, Übung 1 und 2 45
Tabelle 18: Vergleich Anzahl „Instrument Collisions“ Gruppe 1 und 2, Übung 1 und 2 45
Tabelle 19: Vergleich „Excessive Instrument Force“ in Sekunden Gruppe 1 und 2, Übung 1 und 2 45
Tabelle 20: Vergleich „Instruments Out Of View“ in Zentimetern Gruppe 1 und 2, Übung 1 und 2 46
Tabelle 21: Vergleich „Master Workspace Range“ in Zentimetern Gruppe 1 und 2, Übung 1 und 2 46
Tabelle 22: Vergleich Gesamtprozentwert Gruppe 1 und 3, Übung 1 und 3 47
Tabelle 23: Vergleich „Time To Complete Exercise“ in Sekunden Gruppe 1 und 3, Übung 1 und 3 47
Tabelle 24: Vergleich „Economy Of Motion“ in Zentimetern Gruppe 1 und 3, Übung 1 und 3 47
Tabelle 25: Vergleich Anzahl „Instrument Collisions“ Gruppe 1 und 3, Übung 1 und 3 48

Tabelle 26: Vergleich „Excessive Instrument Force“ in Sekunden Gruppe 1 und 3, Übung 1 und 3 48
Tabelle 27: Vergleich „Instruments Out Of View“ in Zentimetern Gruppe 1 und 3, Übung 1 und 3 48
Tabelle 28: Vergleich „Master Workspace Range“ in Zentimetern Gruppe 1 und 3, Übung 1 und 3 49
Tabelle 29: Vergleich Anzahl „Drops“ Gruppe 1 und 3, Übung 1 und 3 49
Tabelle 30: Vergleich Gesamtprozentwert Gruppe 2 und 3, Übung 2 und 3 49
Tabelle 31: Vergleich „Time To Complete Exercise“ in Sekunden Gruppe 2 und 3, Übung 2 und 3 50
Tabelle 32: Vergleich „Economy Of Motion“ in Zentimetern Gruppe 2 und 3, Übung 2 und 3 50
Tabelle 33: Vergleich Anzahl „Instrument Collisions“ Gruppe 2 und 3, Übung 2 und 3 50
Tabelle 34: Vergleich „Excessive Instrument Force“ in Sekunden Gruppe 2 und 3, Übung 2 und 3 50
Tabelle 35: Vergleich „Instruments Out Of View“ in Zentimetern Gruppe 2 und 3, Übung 2 und 3 51
Tabelle 36: Vergleich „Master Workspace Range“ in Zentimetern Gruppe 2 und 3, Übung 2 und 3 51
Tabelle 37: Vergleich Anzahl „Drops“ Gruppe 2 und 3, Übung 2 und 3 51
Tabelle 38: Vergleich Gesamtprozentwert Gruppe 1 und 2, Übung 4 und 5 52
Tabelle 39: Vergleich „Time To Complete Exercise“ in Sekunden Gruppe 1 und 2, Übung 4 und 5 52
Tabelle 40: Vergleich „Economy Of Motion“ in Zentimetern Gruppe 1 und 2, Übung 4 und 5 53
Tabelle 41: Vergleich Anzahl „Instrument Collisions“ Gruppe 1 und 2, Übung 4 und 5 53
Tabelle 42: Vergleich „Excessive Instrument Force“ in Sekunden Gruppe 1 und 2, Übung 4 und 5 53
Tabelle 43: Vergleich „Instruments Out Of View“ in Zentimetern Gruppe 1 und 2, Übung 4 und 5 54
Tabelle 44: Vergleich „Master Workspace Range“ in Zentimetern Gruppe 1 und 2, Übung 4 und 5 54
Tabelle 45: Vergleich Anzahl „Drops“ Gruppe 1 und 2, Übung 4 und 5 54
Tabelle 46: Vergleich Gesamtprozentwert Gruppe 1 und 3, Übung 4 und 6 55
Tabelle 47: Vergleich „Time To Complete Exercise“ in Sekunden Gruppe 1 und 3, Übung 4 und 6 55
Tabelle 48: Vergleich „Economy Of Motion“ in Zentimetern Gruppe 1 und 3, Übung 4 und 6 56
Tabelle 49: Vergleich Anzahl „Instrument Collisions“ Gruppe 1 und 3, Übung 4 und 6 56
Tabelle 50: Vergleich „ Excessive Instrument Force“ in Sekunden Gruppe 1 und 3, Übung 4 und 6 56
Tabelle 51: Vergleich „Instruments Out Of View“ in Zentimetern Gruppe 1 und 3, Übung 4 und 6 57
Tabelle 52: Vergleich „Master Workspace Range“ in Zentimetern Gruppe 1 und 3, Übung 4 und 6 57
Tabelle 53: Vergleich Anzahl „Drops“ Gruppe 1 und 3, Übung 4 und 6 57
Tabelle 54: Vergleich Gesamtprozentwert Gruppe 2 und 3, Übung 5 und 6 58
Tabelle 55: Vergleich „Time To Complete Exercise“ in Sekunden Gruppe 2 und 3, Übung 5 und 6 58
Tabelle 56: Vergleich „Economy Of Motion“ in Zentimetern Gruppe 2 und 3, Übung 5 und 6 58
Tabelle 57: Vergleich Anzahl „Instrument Collisions“ Gruppe 2 und 3, Übung 5 und 6 58
Tabelle 58: Vergleich „Excessive Instrument Force“ in Sekunden Gruppe 2 und 3, Übung 5 und 6 59
Tabelle 59: Vergleich „Master Workspace Range“ in Zentimetern Gruppe 2 und 3 Übung 5 und 6 59
Tabelle 60: Vergleich „Instruments Out Of View“ in Zentimetern Gruppe 2 und 3, Übung 5 und 6 59
Tabelle 61: Vergleich Anzahl „Drops“ Gruppe 2 und 3, Übung 5 und 6 59
Tabelle 62: Vergleich Gesamtprozentwert Gruppe 1 und 2, Übung 7 und 8 60
Tabelle 63: Vergleich „Time To Complete Exercise“ in Sekunden Gruppe 1 und 2, Übung 7 und 8 60
Tabelle 64: Vergleich „Economy Of Motion“ in Zentimetern Gruppe 1 und 2, Übung 7 und 8 61
Tabelle 65: Vergleich Anzahl „Instrument Collisions“ Gruppe 1 und 2, Übung 7 und 8 61
Tabelle 66: Vergleich „Excessive Instrument Force“ in Zentimetern Gruppe 1 und 2, Übung 7 und 8 61
Tabelle 67: Vergleich „Instruments Out Of View“ in Zentimetern Gruppe 1 und 2, Übung 7 und 8 62
Tabelle 68: Vergleich „Master Workspace Range“ in Zentimetern Gruppe 1 und 2, Übung 7 und 8 62
Tabelle 69: Vergleich Anzahl „Drops“ Gruppe 1 und 2, Übung 7 und 8 62
Tabelle 70: Vergleich Gesamtprozentwert Gruppe 1 und 3, Übung 7 und 9 63
Tabelle 71: Vergleich „Time To Complete Exercise“ in Sekunden Gruppe 1 und 3, Übung 7 und 9 63

Tabelle 72: Vergleich „Economy Of Motion“ in Zentimetern Gruppe 1 und 3, Übung 7 und 9 63
Tabelle 73: Vergleich Anzahl „Instrument Collisions“ Gruppe 1 und 3, Übung 7 und 9 64
Tabelle 74: Vergleich „Excessive Instrument Force“ in Sekunden Gruppe 1 und 3, Übung 7 und 9 64
Tabelle 75: Vergleich „Instruments Out Of View“ in Zentimetern Gruppe 1 und 3, Übung 7 und 9 64
Tabelle 76: Vergleich „Master Workspace Range“ in Zentimetern Gruppe 1 und 3, Übung 7 und 9 65
Tabelle 77: Vergleich Anzahl „Drops“, Gruppe 1 und 3, Übung 7 und 9 65
Tabelle 78: Vergleich Gesamtprozentwert Gruppe 2 und 3, Übung 8 und 9 65
Tabelle 79: Vergleich „Time To Complete Exercise“ in Sekunden Gruppe 2 und 3, Übung 8 und 9 66
Tabelle 80: Vergleich „Economy Of Motion“ in Zentimetern Gruppe 2 und 3, Übung 8 und 9 66
Tabelle 81: Vergleich Anzahl „Instrument Collisions“ Gruppe 2 und 3, Übung 8 und 9 66
Tabelle 82: Vergleich „Excessive Instrument Force“ in Sekunden Gruppe 2 und 3, Übung 8 und 9 66
Tabelle 83: Vergleich „Instruments Out Of View“ in Zentimetern Gruppe 2 und 3, Übung 8 und 9 67
Tabelle 84: Vergleich „Master Workspace Range“ in Zentimetern Gruppe 2 und 3, Übung 8 und 9 67
Tabelle 85: Vergleich Anzahl „Drops“ Gruppe 2 und 3, Übung 8 und 9 67
Tabelle 86: Vergleich Abschlussaufgabe „Energy Dissection 2“ Gruppe 1,2 und 3 68
Tabelle 87: Vergleich Abschlussaufgabe „Stacking Challenge“ Gruppe 1, 2 und 3 71
Tabelle 88: Ausgezählte Ergebnisse des Fragebogens (eigene Tabelle) 73
Tabelle 89: Verteilung des Alters der Probanden (eigene Tabelle) 73

1. Einleitung

In der Humanmedizin ist es heutzutage eine stetige Herausforderung, den technischen Fortschritt in den Alltag der praktizierenden Mediziner zu integrieren und dabei eine bestmögliche medizinische Versorgung zu etablieren. Hierbei gilt es zunächst, ein standardisiertes, evidenzbasiertes Curriculum für das Erlernen der notwendigen neuen Fähigkeiten zu entwickeln. So soll ein professioneller, effizienter und sicherer Einsatz moderner Technologien sichergestellt werden.

Die roboterassistierte Chirurgie ist ein wachsendes Feld. Das *Da-Vinci-Operationssystem* (*Intuitive Surgical*, Sunnyvale, CA, USA) ist eines der führenden hierfür zur Verfügung stehenden Systeme.

Das *Da-Vinci-Surgical-System* erhielt, als erstes roboterassistiertes System, im Jahr 2000 die Zulassung für allgemeine laparoskopische Operationen durch die United States Food and Drug Administration in den USA. Seit diesem Zeitpunkt ist das System für mehr als drei Millionen Eingriffe weltweit genutzt worden. Es wird heute in 64 Ländern verwendet, mit 3.803 Konsolen weltweit.[1, 2] Hierbei ist zu bemerken, dass es sich bei dem *Da-Vinci-System* nicht um robotergesteuerte, sondern um roboterassistierte Chirurgie handelt. Gesteuert und kontrolliert wird das System zu jedem Zeitpunkt von einem oder mehreren qualifizierten Chirurgen. Das System unterstützt den operierenden Chirurgen lediglich. Zugelassen ist das *Da-Vinci-System* in den USA für urologische Operationen an Prostata, Blase und bei Nierenkarzinomen. Aber auch gynäkologische Operationen wie Hysterektomien, Myomexstirpationen und allgemeinchirurgische Operationen im kolorektalen Bereich und Leistenhernienoperationen, über den ventralen sowie inguinalen Zugangsweg, können damit durchgeführt werden. Das System kann außerdem in der Thoraxchirurgie für Lobektomien und bei Operationen mediastinaler Raumforderungen sowie in der Herzchirurgie zur Reparatur der Mitralklappe und bei pulmonalen Resektionen eingesetzt werden.[2] Durch die Entwicklung der sogenannten *Trans Oral Robotic Surgery* können auch benigne und maligne Tumore im Hals-Nasen-Ohrenbereich reseziert werden.[3] Die Vorteile des *Da-Vinci-Systems* entsprechen jenen der laparoskopischen Chirurgie. Laparoskopische Eingriffe werden generell mit kurzen Aufenthalten im Krankenhäusern und schnellerer Ausheilung assoziiert.[4] Hierbei ist jedoch zu beachten, dass die möglichen Verbesserungen durch einen laparoskopischen Eingriff individuell von der Art des Eingriffs abhängig sind.

Mit offenen chirurgischen Verfahren ist das *Da-Vinci-System* grundsätzlich nicht zu vergleichen. Für die minimalinvasiven Verfahren, dazu zählen sowohl roboterassistierte

als auch laparoskopische Eingriffe, gelten dieselben Vorteile wie die oben genannte kürzere Krankenhausverweildauer, geringere postoperative Schmerzbelastung, aber auch bessere und schnellere gastrointestinale Funktion sowie verbesserte kosmetische Resultate und alles in allem eine schnellere Rückkehr ins das alltägliche Leben für die Patienten.[5] Die roboterassistierte Chirurgie bietet noch einige zusätzliche Vor- und Nachteile gegenüber den konventionell durchgeführten laparoskopischen Eingriffen: Der *Da–Vinci-Operationsroboter* bietet unter anderem ein dreidimensionales Bild, sieben frei bewegliche Freiheitsgrade bei den Instrumenten und einen eingebauten Tremorfilter, durch welchen ein Tremor des Operateurs nicht auf die Instrumente übertragen wird. Der Operationsroboter versucht folglich, bekannte Probleme der konventionellen laparoskopischen Chirurgie zu beheben.[6] Anzumerken ist auch, dass der Operateur bei der roboterassistierten Chirurgie durch die räumliche Entfernung vom Operationsfeld in einer bequemen Position an der Steuerkonsole des Operationsroboters sitzen kann. Problematisch beziehungsweise nachteilig sind vor allem die Kosten der Konsole. Neben dem hohen Anschaffungspreis existieren hohe Kosten für die Erhaltung des Systems und durch die längere Operationsdauer höhere Personalkosten.[7]

Nichtsdestotrotz steigen die Zahlen der Operationen, welche roboterassistiert durchgeführt werden, kontinuierlich. Damit steigt auch die Relevanz des Systems für die Forschung. Dies zeigt sich in der steigenden Anzahl von veröffentlichten wissenschaftlichen Arbeiten innerhalb der letzten Jahre. Die Herstellerfirma benennt auf ihrem Internetauftritt die Anzahl der veröffentlichten Arbeiten mit insgesamt 10.500 seit 1998, wobei die Anzahl von unter 200 im Jahr 2005 in 10 Jahren auf über 1.700 im Jahr 2015 gestiegen ist.[8] Die alltägliche Relevanz des *Da-Vinci-Operationsroboter*s spiegelt sich ebenso in der steigenden Anzahl von Klagen in den USA gegen den Hersteller wider. Die Kläger machten hierbei auch geltend, dass die Chirurgen nicht gut genug an dem Operationsroboter ausgebildet worden wären. Der Hersteller überließ es bis jetzt stets den jeweiligen Krankenhäusern, wann die Operateure als kompetent für eigenständige Operationen einzustufen seien.[9] Es ist davon auszugehen, dass aufgrund der Neuartigkeit des Operationssystems und dem Fehlen eines einheitlichen Trainings in der Ausbildung der Chirurgen am *Da-Vinci-System* noch viel Raum besteht, um die Ergebnisse mit dem Operationsroboter zu verbessern und auszubauen. Bereits bestehende Trainingscurricula für laparoskopische Eingriffe sind hier allerdings nicht einfach so zu übernehmen. Wie Kowalewski et al. schrieben, unterscheiden sich die notwendigen Fähigkeiten für roboterassistierte Chirurgie von jenen, welche bei offenen oder lapa-

roskopischen Eingriffen relevant seien[10]. Training auf dem Gebiet der roboterassistierten Chirurgie sei vor einem solchen Eingriff notwendig.

Intuitive Surgical vertreibt für den *Da-Vinci-Operationsroboter* den *Da-Vinci-Skills-Simulator (DVSS)*. Dieser Simulator ermöglicht es, an der tatsächlichen Operationskonsole sitzend, die Handhabung des Operationsroboters in einem virtuellen Raum zu erlernen. Der Simulator wurde in Zusammenarbeit mit *Mimic Technologies* (*Mimic Technologies*, Seattle, WA) entwickelt und soll möglichst realitätsnah die tatsächliche Situation des Chirurgen bei einer Operation simulieren.

Die Software des Simulators ist die *Mimic Virtual Reality Training Software*. Den Simulator in der Kollaboration von *Mimic Technologies* und *Intuitive Surgical* gibt es seit 2003 zu erwerben. Der Vertrieb erfolgt jedoch ausschließlich über *Intuitive Surgical*.[11]

Der Simulator stellt verschiedene Übungen unterschiedlicher Schwierigkeitsgrade zur Verfügung. Bei deren Absolvierung werden jeweils sechs verschiedene roboterspezifische Fähigkeiten trainiert[12] (siehe Anhang 1: „Modules on the da Vinci Skills Simulator“, heruntergeladen am 21. März 2016 von: https://www.intuitivesurgical.com/products/skills_simulator.. Diese spezifischen erlauben es dem kundigen Chirurgen, die Handhabung des *Da-Vinci-Operationsroboters* zu erlernen. Es gibt Übungen, die primär bestimmte Fähigkeiten trainieren sollen und solche, in denen Fähigkeiten zusätzlich trainiert werden können. „EndoWrist Manipulation“ beschreibt die Geschicklichkeit und Vertrautheit in der Handhabung mit den speziellen EndoWrist-Instrumenten der Konsole. „Camera and Clutching“ ist die Fähigkeit, mit der Kamerasteuerung und dem Entkoppelungsmechanismus der Steuerelemente umgehen zu können. „Fourth Arm Control“ wird in jenen Aufgaben trainiert, in denen ein weiteres Instrument zum Einsatz kommt. Dazu muss strategisch überlegt werden, für welche Manöver welches Instrument benutzt wird oder wohin diese bewegt werden, wenn sie nicht benutzt werden. Die Fähigkeiten, die der Hersteller als „Needle Control and Driving“ bezeichnet, beziehen sich auf das Geschick in der Handhabung von Nadeln. Hierbei spielen auch Aufgaben wie die effektive Übergabe zwischen den einzelnen Instrumenten sowie die Positionierung der Nadeln eine Rolle. Die Fähigkeit „Energy and Dissection“ bezieht sich auf das Geschick, via Fußschalter verschiedene Arten von Strom an den einzelnen Instrumenten anzulegen und dies für Dissektionsaufgaben zu nutzen. Die letzte vom Hersteller benannte Fähigkeit ist „System Settings“. Sie bezieht sich auf die Kenntnis der einzelnen Symbole und ergonomischen Einstellungen.[12]

Nach dem Absolvieren einer bestimmten Aufgabe erhält der Auszubildende eine

Rückmeldung vom Simulator über die vollbrachte Leistung. Dort fließen verschiedene Parameter ein. Dies sind solche, die der Simulator direkt messen kann, wobei es in den meisten Fällen die folgenden sieben sind: „Time To Complete Exercise“, „Economy Of Motion“, Instrument Collisions“, „Excessive Instrument Force“, „Instrument Out Of View“ und „Drops“. Mit den für diese Parameter gemessenen Werten berechnet der Simulator den „Overall Score“, einen Gesamtprozentwert. Die erhobenen Parameter geben eine direkte Rückmeldung und erlauben es dem Auszubildenden, direkt einen persönlichen Übungsschwerpunkt zu legen.

Die Sinnhaftigkeit oder Aussagekraft des Trainings am *DVSS* ist bereits in mehreren Studien zuvor bestätigt worden. Die erste Studie, welche einen Zusammenhang zwischen tatsächlicher Leistung im Operationssaal und den Trainingsergebnissen am *DVSS* herstellte, war von Aghazadeh et al.[13] Auch in der Studie von Bric et al. wurde postuliert, dass das Training am *DVSS* die Trainierenden Fähigkeiten erlernen lasse, welche sie schlussendlich bessere Ergebnisse bei Aufgaben an der Operationskonsole erzielen ließen.[14] Weitere Autoren widmeten sich zum einen der Augenscheinvalidität („Face Validity“), also ob es der Simulator schaffe, das Gefühl, tatsächlich an der Konsole zu sitzen, und das Aussehen des Roboters realistisch abzubilden. Zum anderen wurde die Konstruktvalidität („Construct Validity“), also die Fähigkeit des Tests, zwischen Anfängern und Fortgeschrittenen zu unterscheiden, thematisiert. Auch die Inhaltsgültigkeit („Content Validity“) wurde in anderen Studien bereits belegt, also die Eignung des Trainings an diesem Simulator für die tatsächlichen chirurgischen Fähigkeiten. Diese sollen im Folgenden erläutert werden.[15–20]

Alzaharani et al. ließen in ihrer Studie die Augenscheinvalidität und Inhaltsgültigkeit mithilfe eines Fragebogens nachweisen. Zuvor bearbeiteten die Teilnehmer am *DVSS* verschiedene Aufgaben. Die Teilnehmer dieser Studie waren sowohl Chirurgen ohne Erfahrung im Bereich der roboterassistierten Chirurgie als auch Chirurgen mit Erfahrung in diesem Bereich. Die Konstruktvalidität konnte in dieser Studie bestätigt werden, indem nachgewiesen wurde, dass jene Chirurgen mit Erfahrung im Bereich der roboterassistierten Chirurgie bessere Ergebnis erreichen konnten als jene ohne.[15]

Abboudi et al. publizierten eine Zusammenfassung verschiedener Studien zur virtuellen Realität und Simulation im Bereich der roboterassistierten Chirurgie. Sie gelangten zu der Schlussfolgerung, dass sich Simulation und virtuelle Realität in der Chirurgie gut als zusätzliche Lernquelle für Chirurgen in der Ausbildung eignen.[16] Ähnlich ist die Studie von Patel et al., welche das Simulationstraining als Teil der Ausbildung zu einem

Chirurgen auf dem Gebiet sieht.[21] Bei Hung et al. durchliefen die Probanden verschiedene Trainingsprogramme: Neben den virtuellen Aufgaben am *DVSS* bearbeiteten sie eine standardisierte Aufgabe am leblosen Objekt und eine chirurgische Aufgabe an einem lebenden Schweinemodell. Um die Leistung außerhalb des *DVSS* zu bewerten, wurde bei dieser Studie das GEARS-Modell hinzugezogen. GEARS steht für *Global Evaluative Assessment of Robotic Skills*. Dieses Modell wurde im Jahr 2012 zum ersten Mal von Goh et al. publiziert und dient der Evaluierung der Leistung in der tatsächlichen roboterassistierten laparoskopischen Chirurgie. Die Leistung der Chirurgen wird hier auf einer 5-Point-Likert-Skala in sechs Kategorien von einem „Attending Surgeon", einem ausgebildeten Prüfer sowie dem ausführenden Chirurgen selbst eingeschätzt.[22]

Bei Hung et al. wurde das Modell dazu verwendet, die Konstruktvalidität des *DVSS* zu bestätigen sowie den Begriff der „Cross-method Validity" zu etablieren. Gemeint ist die Validität einer Trainingsmethode über korrespondierende Ergebnisse in anderen Trainingsmethoden.[17] Dieser Begriff ist als gleichwertig mit simultaner Validation (s. o.) zu sehen.

In einer weiteren Studie legten Hung et al. die Augenscheinvalidität, Konstruktvalidität und Inhaltsgültigkeit des *DVSS* dar. In dieser Studie bearbeiteten Probanden mit unterschiedlicher Erfahrung in der roboterassistierten Chirurgie verschiedene Aufgaben des Simulators. Die Ergebnisse wurden verglichen und auch hier konnte die Konstruktvalidität bestätigt werden. Mithilfe eines Fragebogens wurde anschließend noch die Augenscheinvalidität und Inhaltsgültigkeit bestätigt.[18]

Auch die simultane Validation („Concurrent Validation"), also das Ausmaß, mit bis zu welchem der Simulator mit dem Goldstandard, in diesem Fall zum Beispiel Dry-lab-Training, korreliert, ist belegt. Lee et al. wiesen in ihrer Studie sowohl Augenscheinvalidität, Inhaltsgültigkeit, Konstruktvalidität als auch simultane Validation oder auch Cross-method Validity nach. In diesem Fall wurden urologische Chirurgen als Probanden rekrutiert. Sie bearbeiteten zunächst Übungsaufgaben am *DVSS* und eine Woche später ähnliche Aufgaben am tatsächlichen Operationsroboter. Es wurden die benötigte Zeit und Anzahl der Fehler am Simulator und Roboter verglichen. Auch hier füllten die Probanden anschließend einen Fragebogen aus und schätzten die Realitätsnähe und Nützlichkeit des Simulators ein.[19]

Ramos et al. wiesen in ihrer Studie ebenfalls die Augenschein-, Inhalts- und Konstruktvalidität sowie die simultane Validität nach. Auch in dieser Studie wurden die Probanden in Gruppen eingeteilt, unterschieden wurde ferner nach der jeweiligen Erfahrung

der Probanden auf dem Gebiet der roboterassistierten Chirurgie. Sie bearbeiteten Aufgaben des *DVSS* und anschließend korrespondierende Dry-lab-Aufgaben. Auch diese Dry-lab-Aufgaben waren von *Mimic Technologies* entwickelt. Die Leistungen der Dry-lab-Aufgaben wurden durch das GEARS-System von Experten verblindet bewertet. Hierbei konnte der Simulator entsprechend weiter validiert werden.[20]

Ebenso nachgewiesen ist die prädikative Gültigkeit („Predictive Validation") einer Leistung am Simulator, also inwiefern der Simulator reale Leistung am Operationsroboter vorhersagen kann.[23] Hung et al. ließen hierfür die Probanden ihrer Studie sowohl eine Aufgabe am *DVSS* bearbeiten als auch mit dem Operationsroboter eine Aufgabe am Tierkadaver („ex vivo") durchführen. Bei der Ex-vivo-Aufgabe erhielten sie eine Einschätzung und Bewertung durch erfahrene Chirurgen. Die Probanden wurden schließlich in zwei Gruppen eingeteilt, wovon nur eine ein Training am Simulator durchlief. Bei der anschließenden Überprüfung der Leistung der Probanden am Ex-vivo-Gewebe zeigten jene, welche das Training am Simulator durchlaufen hatten, bessere Ergebnisse. Hierbei schienen besonders die vom Training am Simulator zu profitieren, welche am Anfang eher schlechte Ergebnisse erreicht hatten. Aber es zeigte sich auch, dass eben jene Probanden, welche bessere Ergebnisse am Simulator erreichten, zudem bessere Ergebnisse am Ex-vivo-Gewebe erreichen konnten.[23]

Zum virtuellen Training stehen Chirurgen auch andere Simulatoren zur Verfügung, aber keines der auf dem Markt befindlichen Modelle verfügt, nach eigener Aussage von *Mimic Technologies*, über eine vergleichbare Validation wie der *DVSS* mit der *Mimic Technologies* Software.[24] Tergas et al. beschreiben die Vorteile des Simulators im Vergleich zu den Dry-lab-Übungen von *Mimic Technologies*, sodass er einfach in eine bestehende Operationskonsole integriert wird. Das bedeutet in diesem Fall: Der Simulator ist einfach aufzubauen und mit verständlichem, automatisiertem Rückmeldemechanismus ausgestattet. Auszubildende können den *DVSS* einfach und autonom bedienen.[25] In der Studie von Hertz et al. wurden drei verschiedene Simulatoren von Chirurgen in Ausbildung miteinander verglichen, die Probanden konnten diese hier bewerten. Das Ergebnis ergab für alle drei Simulatoren gute Ergebnisse, mit jedoch dem besten Ergebnis zugunsten des *DVSS*.[26]

Aus diesem Grund wurde für die vorliegende Studie der *DVSS* verwendet; Chirurgen, die am Da-Vinci-Operationsroboter arbeiten möchten, profitieren von diesem Training in vergleichbarem Maß wie beim Training am tatsächlichen Operationsroboter, wie von Brown et al. festgestellt.[27] Trotz der nachgewiesenen guten und eindeutigen Resultate

gibt es nach dem derzeitigen Wissensstand noch kein einheitliches Curriculum für das Training an dem *DVSS*. Es wird als Grundlage für diese Arbeit angenommen, dass sich durch besseres, validiertes Training am *DVSS* schlussendlich auch Fähigkeiten und Leistungen der Chirurgen in der roboterassistierten Chirurgie verbessern lassen und so mehr Patienten von gut ausgebildeten Chirurgen an neuen Technologien profitieren können.

Für die vorliegende Studie wurden drei verschiedene Trainingscurricula zusammengestellt. Die Probanden absolvierten das entworfene Trainingsprogramm und bearbeiteten danach zwei Abschlussaufgaben. Die erreichten Ergebnisse während der Curricula wurden dokumentiert, ebenso die Ergebnisse der Abschlussaufgaben. So sollten die möglichst gleichmäßigen Verbesserungen der Probanden dokumentiert und zwischen den Gruppen verglichen werden können ebenso wie die Ergebnisse bei den Abschlussaufgaben zwischen den verschiedenen Gruppen. Ziel der Studie war es herauszufinden, ob unterschiedliche Trainingsprogramme zu unterschiedlichen Ergebnissen bei den Abschlussaufgaben führen und ob folgend davon ausgegangen werden kann, dass ein Curriculum oder einzelne Aufgaben anderen Aufgaben überlegen sind und ersteres die Probanden besser auf eine unbekannte Aufgabe vorbereiten kann. Diese Informationen können dafür genutzt werden, ein standardisiertes Curriculum für die Ausbildung am *DVSS* zu entwickeln. Bei der Auswahl der Aufgaben wurde darauf geachtet, dass jedes Trainingscurriculum drei Aufgaben mit vergleichbaren Schwierigkeitsgraden enthält, jeder Proband also jeweils eine Aufgabe mit niedrigem, mittlerem und hohem Schwierigkeitsgrad bearbeitete. Die vorliegende Studie ist Teil eines Forschungsprojekts mit mehreren Arbeiten und ähnlichem Aufbau, deren Ziel es ist, ideale Lernabläufe und Voraussetzungen am *DVSS* zu identifizieren. Hierfür besteht dringende Notwendigkeit, den auch andere Autoren wie Sun et al. sehen.[28]

2. Material und Methoden

2.1 Studiendesign und Probanden

Die vorliegende prospektive Studie wurde von Dezember 2014 bis Juni 2015 in der Hals-, Nasen- und Ohrenklinik, Universitätsklinikum Gießen und Marburg, Standort Marburg durchgeführt. Sie wurde von der Ethikkommission der Universität Marburg unter der AzStudie 132/14 mit einem positiven Votum genehmigt. In die Studie waren insgesamt 60 Probanden eingeschlossen, die auf drei gleich große Gruppen zu jeweils 20 Probanden randomisiert wurden. Um einen möglichen Alterseinfluss ausschließen zu können, wurden lediglich Probanden zwischen 20 und 35 Jahren eingeschlossen. Zur Verteilung des Alters bei den Probanden siehe Tabelle 89. In der ersten und zweiten Gruppe wurden neun Probandinnen und elf Probanden eingeschlossen. In der dritten Gruppe waren es acht Probandinnen und zwölf Probanden. Die Probanden durften keinerlei Erfahrungen mit dem *DVSS* oder dem dazugehörigen Operationsroboter haben. Ein medizinischer Bildungshintergrund war nicht notwendig. Dies ist in Übereinstimmung mit einer Studie von Mehta et al., welche beschrieb, dass es für das Erreichen von guten Ergebnissen im *DVSS* nicht notwendig sei, einen medizinischen oder chirurgischen Hintergrund zu haben.[29] Ein Versuchstag dauerte etwa zwischen 50 und 80 Minuten. Verglichen wurden die Ergebnisse der Gruppen zwischen den Übungen sowie die jeweiligen Ergebnisse der Gruppen in gemeinsamen Abschlussaufgaben.

Alle Probanden wurden vor ihrer Teilnahme über die Studie aufgeklärt und unterzeichneten eine Einverständniserklärung. Den Probanden war es jederzeit freigestellt, die Studie abzubrechen. Konnte ein Proband den zweiten Termin nicht einhalten, erfolgte ebenfalls der Abbruch der Studie. Dies war bei keinem Probanden der Fall.

2.2 Steuerung und Bedienung des *Da-Vinci-Skills-Simulators*

Die Studie wurde am *DVSS* und damit an der Originalsteuerkonsole des *Da-Vinci-Operationsroboter*s durchgeführt. Für die Bearbeitung der Aufgaben standen den Probanden alle Steuerelemente sowie die 3D-Optik des *Da-Vinci-Operationsroboters* über ein virtuelles 3D-Endoskop zur Verfügung.

Abbildung 1: Konsole des Operationsroboters (eigenes Bild)

Die Konsole bestand aus Optik (oben), Steuerungselementen (mittig) und Fußschalter für die Kamerasteuerung und Stromapplikation (unten, siehe Abbildung 1: Konsole des Operationsroboters (eigenes Bild)). Die drei Elemente der Steuerkonsole waren individuell für jeden Probanden einstellbar, sodass jeder Proband eine für ihn komfortable Position wählen konnte.

Für jede Hand verfügten die Probanden über ein Steuerelement, die sogenannten Master-Steuerungen (siehe Abbildung 2). Mittelfinger und Daumen fanden in zwei Schlaufen Halt. Der Zeigefinger lag zwischen beiden Fingern auf einem verschiebbaren Hebel (siehe Abbildung 3). Jede Bewegung der Hände des Probanden wurde direkt in Echtzeit auf die virtuellen EndoWrist-Instrumente auf dem Bildschirm übersetzt (siehe Abbildung 4).

Abbildung 2: Steuerelemente (eigenes Bild)

Abbildung 3: Steuerelemente (eigenes Bild)

Abbildung 4: Virtuelle Instrumente (eigenes Bild)

Die Steuerung sowohl der virtuellen als auch realen Instrumente an der Konsole erfolgte durch die Bewegung der Hände und Arme des Probanden oder Operateurs. Die Instrumente wurden direkt durch die Hände gesteuert und bewegten sich synchron zu diesen. Durch Zusammen- oder Auseinanderführen der beiden Finger wurde das entsprechende Instrument auf dem Bildschirm geschlossen oder geöffnet.

Durch Zurückschieben des Hebels zwischen Daumen und Mittelfinger mittels des Zeigefingers wurde die Verbindung zwischen Hand und Instrument entkoppelt. Die Probanden konnten dadurch, während der Hebel zurückgeschoben war, ihre Hand bewegen, ohne diese Bewegung auf das Instrument zu übertragen. Dies spielte vor allem eine Rolle, wenn die Grenzen des eigenen, durch die Armlänge bestimmten Bewegungsumfangs erreicht wurden oder die beiden Steuerelemente gegeneinanderstießen. Die Länge oder Reichweite der virtuellen Instrumente überstieg die Armlänge der Probanden.

Die beiden Steuerelemente waren ebenfalls für die Steuerung der Kamera zu gebrauchen. Hierfür musste ein links auf dem Fußboden positionierter Fußschalter (siehe Ab-

bildung 1) gedrückt und gehalten werden. Währenddessen konnten die Probanden mit ihren Steuerelementen die Kamera steuern.

Die rechten Fußschalter wurden für die Applikation von Strom über die Instrumente genutzt. Ein weiterer, hier relevanter Fußschalter befand sich an der linken Wand des unteren Anteils der Da-Vinci-Konsole. Wurden einer Hand bei einer Übung zwei Instrumente zugewiesen, konnte man mit diesem Hebel zwischen den beiden Instrumenten wechseln.

Die Steuerkonsole des *Da-Vinci-Operationsroboters* verfügte an der Optik, an welcher der Kopf der Probanden auflag, über eine Lichtschranke. Diese erfasste, ob sich der Kopf des Probanden nah genug an der Optik befand. Neigte der Proband seinen Kopf zu weit nach hinten, pausierte die Übung automatisch und die Instrumente wurden vom Simulator stabil in der letzten Position gehalten; die Steuerelemente ließen sich nicht weiterbewegen. Die Übungen konnten fortgesetzt werden, wenn sich der Kopf wieder innerhalb der Lichtschranke befand.

2.3 Studienablauf

Bei der ersten Datenerhebung der Probanden erfolgte eine ausführliche Erläuterung der Studie sowie der Bedienung der Steuerkonsole des Operationsroboters. Außerdem erhielten sie eine Einführung in die Sicherheits- und Hygienevorschriften des Operationsbereichs. Jeder Proband durfte sich vor Beginn seiner Übungen zunächst etwa drei Minuten lang bei der Übung „Playground“ mit der Steuerung des *DVSS* und der Kamerahandhabung vertraut machen. Anschließend absolvierte jeder Proband seine Übungen. Raum für richtige Aufwärmübungen wurde ihnen an dieser Stelle nicht gegeben. Die Relevanz von Aufwärmübungen ist in vielen Bereichen der Chirurgie mit verbesserten Ergebnissen belegt, dies wurde in den Studien von Calatayud et al., Kahol et al. sowie Lendavay et al.[45–48] beschrieben. Da Ergebnisoptimierung hier jedoch nicht an erster Stelle stand, wurde aus zeitlichen Effizienzgründen darauf verzichtet.

Insgesamt bearbeitete jeder Proband im Rahmen zweier Trainingseinheiten drei unterschiedliche Übungen mit verschiedenen Schwierigkeitsgraden sowie zwei Abschlussübungen. Probanden einer Gruppe absolvierten identische Übungen. Bei der Auswahl der Übungen wurde darauf geachtet, dass jede Gruppe nacheinander sich in der Schwierigkeit steigernde Übungen bearbeitete (siehe Tabelle 1).

Die zwei Trainingseinheiten fanden im Abstand von sechs bis acht Tagen statt. Jede Übung wurde in insgesamt sechs Durchläufen bearbeitet, Wiederholung eins bis drei am ersten Tag und vier bis sechs am zweiten Tag (siehe Tabelle 2). Sechs Wiederholungen

pro Übung wurden hier gewählt. Diese Anzahl wurde zum einen aus Gründen der zeitlichen Effizienz gewählt; außerdem schließen Rajanbabu et al. auf der Basis ihrer Studie „Virtual reality surgical simulators – a prerquisite for robotic surgery“, dass sechs Wiederholungen in einigen Übungen als die minimale Anzahl an Wiederholungen zu sehen seien, in welchen Übungen gemeistert werden könnten.[30] So wurden hier sechs Wiederholungen als ausreichend gesehen, um einen Fortschritt zu beobachten. Nach der Beendigung der zweiten Trainingseinheit wurden zwei den Probanden bis dahin unbekannte Abschlussübungen bearbeitet (siehe Tabelle 1), dies allerdings nur einmal. Am Ende erfolgte der Vergleich der Ergebnisse der Abschlussübungen zwischen den einzelnen Gruppen, um herauszufinden, ob und inwiefern die unterschiedlichen Trainingscurricula der Gruppen zu unterschiedlichen Ergebnissen bei den Abschlussübungen am *DVSS* führten.

1. Tag	1.) Übung geringer Schwierigkeitsgrad, Wiederholung 1–3
	2.) Übung mittlerer Schwierigkeitsgrad, Wiederholung 1–3
	3.) Übung hoher Schwierigkeitsgrad, Wiederholung 1–3
2. Tag	1.) Übung geringer Schwierigkeitsgrad, Wiederholung 4–6
	2.) Übung mittlerer Schwierigkeitsgrad, Wiederholung 4–6
	3.) Übung hoher Schwierigkeitsgrad, Wiederholung 4–6
	4.) Abschlussübung 1 + 2

Tabelle 1: Ablauf der Versuchstage

Jede Übung verfügte über ein festgelegtes Ende, war dies erreicht, beendete sich die Übung automatisch und der *DVSS* legte seine individuelle Bewertung des Probanden dar. Bei den meisten Übungen wurde die Übung beendet, wenn die klar definierte Aufgabe ausgeführt worden war. Die Bewertung setzte sich aus verschiedenen Parametern zusammen, welche für alle Übungen und Abschlusstests dokumentiert wurden und als Grundlage für die Ergebnisanalyse der Probanden diente. Das Bewertungssystem wurde von der Herstellerfirma entwickelt und in die Studie übernommen.

Gruppe 1 bearbeitete die Übungen „Peg Board 1“, „Match Board 2“ und „Needle Targeting“, Gruppe 2 die Übungen „Match Board 1“, „Peg Board 2“ sowie „Ring and Rail 2“ und Gruppe 3 „Ring and Rail 1“, „Thread the Rings“ und „Match Board 3“ (siehe Tabelle 2).

Schwierigkeitsgrad / Gruppe	Gering	Mittel	Hoch
Gruppe 1	Peg Board 1 (Übung 1)	Match Board 2 (Übung 4)	Needle Targeting (Übung 7)
Gruppe 2	Match Board 1 (Übung 2)	Peg Board 2 (Übung 5)	Ring and Rail 2 (Übung 8))
Gruppe 3	Ring and Rail 1 (Übung 3)	Thread the Rings (Übung 6)	Match Board 3 (Übung 9)

Tabelle 2: Übungscurricula der einzelnen Gruppen

2.4 Roboterspezifische Fähigkeiten und die jeweiligen Übungen

Der Hersteller des Simulators benennt roboterspezifische Fähigkeiten, die sich nicht direkt in den gemessenen Parametern widerspiegeln, sondern vielmehr durch das Bearbeiten der Übungen trainiert werden.

„EndoWrist Manipulation“ wurde bei allen verwendeten Übungen und bei beiden Abschlussaufgaben trainiert[12] (siehe Anhang 1: „Modules on the da Vinci Skills Simulator“, heruntergeladen am 21. März 2016 von: https://www.intuitivesurgical.com/products/skills_simulator..

„Camera Control“ und „Clutching“, also die Fähigkeiten, mit der Kamerasteuerung und dem Entkoppelungsmechanismus der Steuerelemente umgehen zu können, waren weitere Fähigkeiten. Die Kamerasteuerung wurde in den Übungen „Match Board 3“, „Peg Board 2“, „Ring and Rail“ in beiden Varianten sowie „Thread The Rings“ trainiert. Der Entkoppelungsmechanismus wurde bei „Match Board 2 und 3“, „Peg Board 2“, „Ring and Rail 2“ sowie „Stacking Challenge“ geübt.

Die Fähigkeit „Fourth Arm Control“ wurde in jenen Aufgaben trainiert, in denen ein weiteres Instrument zum Einsatz kam. Diese Fähigkeit wurde in der vorliegenden Arbeit ausschließlich bei „Match Board 3“ trainiert.

Die Fähigkeiten, die der Hersteller als „Needle Control“ und „Needle Driving“ bezeichnet, beziehen sich auf das Geschick in der Handhabung von Nadeln. Geübt wurden diese bei den Übungen „Needle Targeting“ und „Thread The Rings“.

Die Fähigkeit „Energy and Dissection“ bezieht sich auf das Geschick, via Fußschalter verschiedene Arten von Strom an den einzelnen Instrumenten anzulegen und dies für Dissektionsaufgaben zu nutzen. Die als Abschlussaufgabe genutzte Übung „Energy Dissection 2“ trainierte die Probanden in diesem Feld in der vorliegenden Arbeit. Die letzte vom Hersteller benannte Fähigkeit ist „System Settings“ und wurde aber in keiner der hier genutzten Aufgaben trainiert. Hierbei handelt es sich um die Fähigkeit, die korrekten, komfortablen Einstellungen für den jeweiligen Probanden am *DVSS* zu finden.

2.5 Übungsaufgaben und Abschlusstests

2.5.1 „Peg Board 1 & 2“

Bei den Übungen „Peg Board 1 & 2“ war es die Aufgabe, sechs Ringe von Stäben zu nehmen, welche an einer orthogonal zum Fußboden stehenden Wand befestigt waren, und die Ringe dann auf andere Stäbe zu legen, welche wiederum senkrecht auf dem Fußboden standen. Die Reihenfolge, in der die Ringe zu bewegen waren, wurde durch

gelbes Blinken selbiger angegeben (siehe Abbildung 5). Nach dem Herunternehmen der Ringe mussten sie zwischen den beiden Instrumenten übergeben werden. Auch diese blinkten, um den nächsten Schritt anzuzeigen. Auf dieselbe Art wurde indiziert, auf welchem der zwei Stäbe der Ring schlussendlich zu platzieren war. Bei der Übung „Peg Board 2“ kam als Steigerung des Schwierigkeitsgrads hinzu, dass die sechs Ringe an der Wand über drei Reihen verteilt waren und so der Arbeitsraum der Probanden vergrößert wurde.

Abbildung 5: „Peg Board 1“ (eigenes Bild)

2.5.2 „Match Board 1, 2 & 3“

Bei den Übungen „Match Board 1“ sowie den Varianten 2 und 3 mussten neun Buchstaben und Zahlen in die korrespondierenden Fächer einer Schachtel gelegt werden. Bei der Übung „Match Board 2“ kam als Steigerung des Schwierigkeitsgrads dazu, dass die Schachtel durch drei Klappdeckel abgedeckt war, welche nach oben aufgeklappt und in dieser Position durch den Probanden gehalten werden mussten, um an die darunterliegenden Fächer zu gelangen (siehe Abbildungen 6 & 7). Dafür reichte es bei dieser Übung aus, die Objekte in die zugewiesenen Fächer zu legen, ohne dass diese eine bestimmte Position innehaben mussten. Bei „Match Board 1“ mussten die Buchstaben und Zahlen passend in eine ausgestanzte Silhouette selbiger gelegt werden. Die Übung „Match Board 3“ verfügte sowohl über die vertikal verlaufenden Klappdeckel wie „Match Board 2“ als auch horizontal laufende Schubladen, welche nach rechts herausgezogen und ebenso festgehalten werden mussten, um an die darunterliegenden Fächer zu gelangen (siehe Abbildung 6 & 7). Hierfür stand den Probanden ein drittes Instrument („Cadiere Forceps“) für die rechte Hand zur Verfügung. Dieses Instrument konnte durch Drücken eines seitlichen Fußpedals angewählt werden.

Abbildung 6: „Match Board 2“ (eigenes Bild)

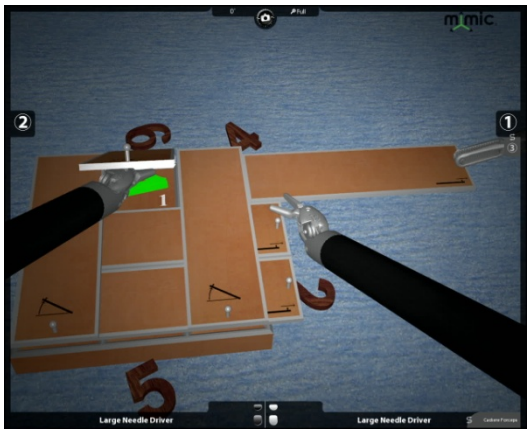


Abbildung 7: „Match Board 3“ (eigenes Bild)

2.5.3 „Ring and Rail 1 & 2“

Bei den Übungen „Ring and Rail 1“ und Variante 2 bestand die Aufgabe darin, Ringe über farblich passende Stangen zu führen und an deren Ende die Ringe auf der Zielplattform abzulegen. Bei der Übung „Ring and Rail 1“ gab es nur einen Ring und eine Stange (siehe Abbildung 8 & 9), bei der Übung „Ring and Rail 2“ hingegen drei Stangen und drei Ringe (siehe Abbildung 8 & 9). Zudem kam erschwerend hinzu, dass die drei Stangen miteinander umschlungen und jeweils mit Steigungen und Gefällen versehen waren.

Die Ringe konnten, bei zu starkem Zug der Instrumente, von den Stangen abgerissen werden. In diesem Fall war der Ring zwar intakt, musste aber neu am Anfang auf die Stangen aufgezogen werden. Um die Übung fertigzustellen, mussten alle zur Verfügung stehenden Ringe auf der für sie vorgesehenen Platte am Ende der Stangen liegen.

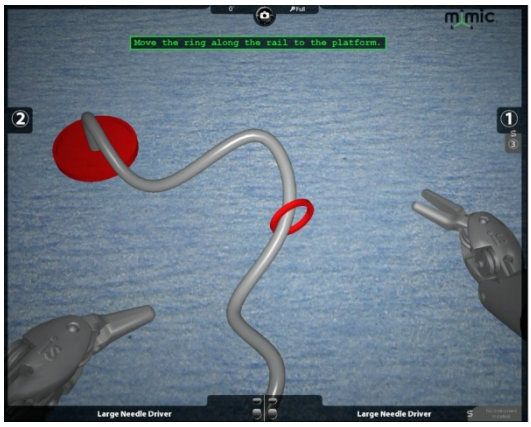


Abbildung 8: „Ring and Rail 1“ (eigenes Bild)

Abbildung 9: „Ring and Rail 2“ (eigenes Bild)

2.5.4 „Thread the Rings“

Die Übung „Thread the Rings“ bestand aus neun auf Stangen befestigten Ringen unterschiedlicher Höhe. Die Aufgabe der Probanden war es, eine chirurgische Nadel mit einem kurzen Faden durch die einzelnen Ringe zu führen (siehe Abbildung 10). Die Reihenfolge der Ringe wurde durch gelbes Aufleuchten angegeben. Die Nadel sollte zwischen den beiden Instrumenten übergeben, nicht auf den Ringen abgelegt werden.

Abbildung 10: „Thread the Rings“ (eigenes Bild)

2.5.5 „Needle Targeting“

Bei der Übung „Needle Targeting“ war es die Aufgabe, sechs chirurgische Nadeln mit einem kurzen farbigen Faden mittig durch farbig korrespondierende Zielscheiben zu schieben und auf einer kleineren Scheibe dahinter mit der Spitze zum Ruhen kommen zu lassen. Die korrekte Position der Nadel wurde durch grünes Aufleuchten der Zielscheibe und Nadel angegeben (siehe Abbildung 11). Wurde die Nadel nicht mittig durch die Zielscheibe geschoben oder verfehlt die Spitze die kleinere Scheibe, leuchtete die Zielscheibe rot auf und die Position der Nadel musste korrigiert werden.

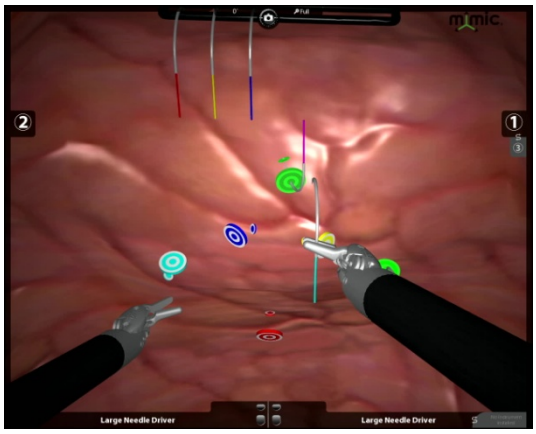


Abbildung 11: „Needle Targeting“ (eigenes Bild)

2.5.6 „Energy Dissection 2“

Bei der Übung „Energy Dissection 2“ sollten in einer virtuellen Bauchhöhle sechs Blutgefäße mit einer Schere („Monopolar Curved Scissors“) durchtrennt werden. Zuvor musste das Gefäß seitlich der Schnittstelle mit einer bipolaren Pinzette („Maryland Bipolar Forceps“) elektrisch verödet werden (siehe Abbildung 12). Die bereits durchtrennten Gefäße konnten bei zu geringer Breite des verödeten Gebiets wieder aufreißen und in die Bauchhöhle bluten, was eine erneute elektrische Verödung erforderlich machte (siehe Abbildung 12). Des Weiteren konnten die Gefäße durch zu starken Zug der Instrumente abgerissen werden und folgend ebenfalls bluten.

Abbildung 12 „Energy Dissection 2" (eigenes Bild)

Abbildung 13: „Energy Dissection 2" (eigenes Bild)

2.5.7 „Stacking Challenge“

Bei der Übung „Stacking Challenge“ war es die Aufgabe, einen möglichst hohen Turm aus Würfeln und Dominosteinen zu bauen (siehe Abbildung 13). Hierfür standen 120 Sekunden Zeit zur Verfügung. Nach Ablauf der Zeit wurde die Übung beendet. Diese Übung war die einzige, bei der die Probanden ein Ziel innerhalb einer bestimmten Zeitvorgabe erreichen mussten. War der Turm nicht stabil genug, konnte er zusammenstürzen. Entsprechend dem Verlust an Höhe reduzierte sich in diesem Fall die erreichte Punktzahl.

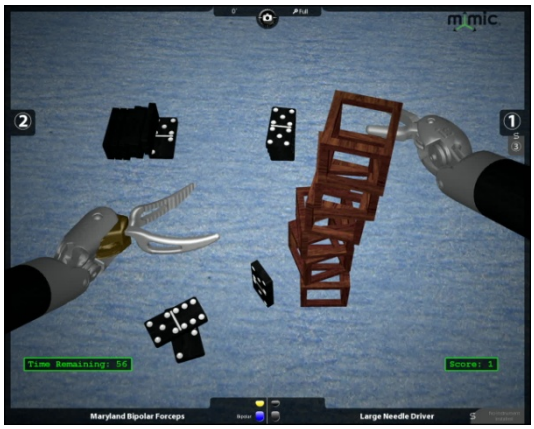


Abbildung 14: „Stacking Challenge“ (eigenes Bild)

2.6 Bewertungsparameter und Auswertung des *Da-Vinci-Skills-Simulators*

Nach jedem beendeten Durchlauf erhielten Trainierende, wie die Probanden der Studie, eine Bewertung, den sogenannten „M-Score“ (siehe Abbildung 15), welcher automatisch durch die Software von *Mimic Technologies* erstellt wurde.

Hierbei erfolgte auch eine farbige Bewertung der einzelnen Parameter. Es gab hierfür drei Symbole: einen grünen Haken, ein gelbes Dreieck und ein rotes Kreuz. So war es jedem Probanden schnell ersichtlich, bei welchen Parametern die Leistung gut und bei welchen verbesserungswürdig war. Alle Werte zwischen 100 und 80 % wurden mit Grün bewertet, zwischen 79 und 60 % mit Gelb und Prozentwerte von 59 und niedriger Rot.

Der Bewertungsrahmen der einzelnen Parameter und der daraus berechnete Gesamtprozentwert pro Person basierten auf einem Bewertungsschema des Herstellers. Dem Schema lagen Daten von erfahrenen Operateuren auf dem Gebiet der roboterassistierten Chirurgie zugrunde. Deren korrespondiere Daten für jeden Parameter wurden erfasst und die dazugehörige Standardabweichung innerhalb dieser Gruppe ermittelt. Eine Standardabweichung schlechter als der Mittelwert entsprach, laut diesem Schema, 80 % bei dem jeweiligen Parameter. Werte oberhalb von 80 % galten als bestanden, aus diesem Grund ist die 80%-Grenze relevant[31, 32] (siehe Anhang 3: „Measure proficiency, exchange expertise“, heruntergeladen am 21.03.2016 von: http://www.mimicsimulation.com/resources).

Abbildung 15: Bewertungsbildschirm nach Beenden der Übung „Energy Dissection 2“ (eigenes Bild)

Die Bewertung setzte sich aus folgenden Einzelparametern zusammen (siehe Tabelle 3): „Time To Complete Exercise“, „Economy Of Motion“, „Instrument Collisions“, „Excessive Instrument Force“, „Instruments Out Of View“, „Master Workspace Range“, „Drops“ sowie bei der Übung „Needle Targeting“ noch die Kategorie „Missed Targets“. Bei der Abschlussübung „Energy Dissection 2“ ermittelte der *DVSS* zusätzlich die Parameter „Misapplied Energy Time“, „Blood Loss Volume“ und „Broken Vessels“.

Bei dem Parameter „Time To Complete Exercise“ wurde die Zeit in Sekunden von der ersten Bewegung der Instrumente oder der Kamera bis zum Beenden der Aufgabe gemessen. Ziel war es stets, die Aufgaben möglichst schnell zu lösen.

Bei „Economy of Motion“ erfasste der *DVSS* die zurückgelegte Bewegungsdistanz der benutzten Instrumente in Zentimetern. Hierbei wurde eine niedrige Distanz angestrebt, überflüssige Bewegungen sollten vermieden werden.

Bei „Instrument Collisions“ hielt der Simulator fest, wie oft sich die Instrumente während der Übung mit Kraft berührten. So wenige Berührungen wie möglich wurden hier angestrebt.

Der Parameter „Excessive Instrument Force“ maß die Zeit in Sekunden, in der zu hohe Kräfte auf die Instrumente ausgeübt wurden. Dies konnte durch Kollisionen, Zugkräfte oder einen ungünstigen Winkel des Instruments ausgelöst werden. In diesem Fall leuchtete das entsprechende Instrument rot auf.

Bei „Instruments Out Of View“ wurde die zurückgelegte Strecke in Zentimetern gemessen, in der sich die Instrumente außerhalb des Blickfelds befanden. Auch hier wurde eine möglichst kleine Strecke angestrebt.
Der Parameter „Master Workspace Range“ maß den Radius des Arbeitsvolumens, den der Proband mit den Steuerelementen benötigte. Eine möglichst geringe Distanz wurde hier angestrebt.
„Drops“ erhob die Anzahl der fallengelassenen Gegenstände während der Aufgabe.
Bei dem nur bei der Übung „Needle Targeting“ zur Anwendung gekommenen Parameter „Missed Targets“ handelte es sich um die Anzahl der verfehlten Ziele, wie oft also die Nadel nicht in die korrekte Position gestochen wurde und folglich herausgezogen und die Position korrigiert werden musste.
Bei „Misapplied Energy Time“ wurde die Zeit in Sekunden gemessen, in der zwar über ein Fußpedal Strom an ein Instrument angelegt wurde, dieser aber keinen Nutzen erfüllte.
Bei „Blood Loss Volume“ erfasste der Simulator, wie viel virtuelles Blut aus den Gefäßen in die virtuelle Bauchhöhle strömte. Hier war für eine gute Bewertung ein möglichst geringes Volumen notwendig. Allerdings gab es für diesen Parameter keine vom *DVSS* angegebene Einheit.
„Broken Vessels“ schließlich zählte die Anzahl beschädigter virtueller Gefäße, welche nicht mit der Schere durchtrennt, sondern beispielsweise durch zu starken Zug der Instrumente abgerissen wurden.
Aus den jeweiligen erhobenen oder gemessenen Zahlenwerten errechnete der *DVSS* mit unterschiedlicher Gewichtung der einzelnen Parameter einen Gesamtprozentwert, auch „Overallscore“ genannt, welcher in Prozent angegeben wurde, wobei 100 % die bestmögliche Bewertung war.
Bei den Übungen „Peg Board 1 & 2“, „Match Board 1“, „Ring and Rail 1 & 2“ sowie „Thread the Rings“ erfolgte dieselbe Gewichtung der Parameter. Die Übung „Needle Targeting“ und die Abschlussübung „Energy Dissection 2“ verfügten über eine leicht variierte Gewichtung, da hier die Zusammensetzung der Parameter etwas variierte. Die Übungen „Match Board 2 & 3“ hatten ebenfalls eine etwas andere Gewichtung, wobei hier der Parameter „Excessive Instrument Force“ einen niedrigeren Stellenwert hatte als in anderen Übungen. Die Wertung der anderen Parameter verschob sich damit entsprechend.

Bei der Übung „Needle Targeting“ wurde „Missed Targets“ zusätzlich erhoben und bei der Abschlussübung „Energy Dissection 2“ zusätzlich „Blood Loss Volume“, „Misapplied Energy Time“ sowie „Broken Vessels“.

	„Time to Complete Exercise“	„Economy of Motion“	„Instrument Collisions“	„Excessive Instrument Force“	„Instruments out of View“	„Master Workspace Range“	„Drops“	„Blood Loss Volume“	„Misapplied Energy Time“	„Broken Vessels“
Standard der hier verwendeten Übungen	16,13 %	16,13 %	16,13 %	16,13 %	16,13 %	3,23 %	16,13 %	/	/	/
„Needle Targeting“	13,89 %	13,89 %	13,89 %	13,89 %	13,89 %	2,78 %	13,89 %	/	/	/
„Match Board 2 & 3“	17,54 %	17,54 %	17,54 %	8,77 %	17,54 %	3,51 %	17,54 %	/	/	/
„Energy Dissection 2“	12,2 %	12,2 .	12,2 %	12,2 %	12,2 %	2,44 %	/	12,2 %	12,2 %	12,2 %

Tabelle 3: Gewichtung der einzelnen Parameter für den Gesamtprozentwert im Herstellerschema

Für die Berechnung der Gesamtprozentzahl wurde jedem Parameter bei jeder Übung eine 100%- und eine 0%-Grenze zugewiesen. Dem schlussendlich gemessenen Wert wies der *DVSS* dann im Verhältnis zu den Grenzen einen Prozentwert zu. Lag der erreichte Wert jenseits der beiden Grenzen, wurde er mit 100 oder 0 % bewertet, abhängig von der jeweiligen Grenze. Ab bestimmten Werten war also keine Verbesserung oder Verschlechterung in der Bewertung möglich. Die jeweils für die Einzelparameter ermittelten Prozentwerte wurden schlussendlich mit der jeweiligen Gewichtung zur Berechnung des Gesamtprozentwerts genutzt.

Die jeweils festgelegten 0 und 100%-Grenzen unterschieden sich bei einigen Parametern abhängig von der jeweiligen Übung (siehe Tabelle 4). Die Parameter, welche der *DVSS* erhob, konnten gemäß den Herstellerangaben in sogenannte Effizienz- und Stilparameter eingeteilt werden. Effizienzparameter waren: „Time To Complete Exercise“, „Economy Of Motion“ und „Master Workspace Range“, wohingegen Parameter wie „Drops“, „Instruments Out Of View“, „Excessive Instrument Force“, „Blood Loss Volume“ und „Excessive Instrument Force“ den Stil eines Trainierenden

charakterisierten.[31] Die Wertigkeit der Parameter zur Berechnung des Gesamtprozentwerts war bei jeder Aufgabe gleichmäßig verteilt. Lediglich der Parameter „Master Workspace Range“ besaß nur ein Fünftel der Wertigkeit. Dies mag der engen Verknüpfung zu „Economy Of Motion“ geschuldet sein oder der Tatsache, dass dieser Parameter nur einen einzelnen Wert erhebt, eine Begründung des Herstellers gibt es soweit nicht. Bei den Aufgaben „Match Board 2 & 3“ erhielt der Parameter „Excessive Instrument Force“ ebenfalls eine geringere Wertung. Dies ist höchstwahrscheinlich der Aufgabenstruktur geschuldet, hierzu folgen später Erläuterungen.

		„Peg Board 1“	„Peg Board 2“	„Match Board 1“	„Match Board 2“	„Match Board 3“	„Ring and Rail 1“	„Ring and Rail 2“	„Thread The Rings“	„Needle Targeting“	„Energy Dissection 2“
„Time To Complete E.“ Sekunden	0 %	120	240	180	160	400	120	500	240	320	240
	100 %	40	65	70	65	120	30	120	80	150	120
„Economy Of Motion“ Zentimeter	0 %	200	400	400	400	1000	100	800	350	500	500
	100 %	125	225	200	225	400	35	300	175	325	150
„Instrument Collisions“ Anzahl	0 %	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	100 %	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
„Excessive Instrument Force“ Sekunden	0 %	10	10	10	10	10	10	10	10	10	5
	100 %	2	2	2	2	2	2	2	2	2	0
„Instruments Out Of View“ Zentimeter	0 %	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	100 %	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
„Master Workspace Range“ Zentimeter	0 %	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
	100 %	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
„Drop“ Anzahl	0 %	5	5	5	5	5	5	5	5	5	/
	100 %	0	0	0	0	0	0	0	0	0	/
„Missed Targets“ Anzahl	0 %	/	/	/	/	/	/	/	/	10	/
	100 %	/	/	/	/	/	/	/	/	5	/
„Blood Loss Volume“	0 %	/	/	/	/	/	/	/	/	/	500
	100 %	/	/	/	/	/	/	/	/	/	100
„Misapplied Energy Time“ Sekunden	0 %	/	/	/	/	/	/	/	/	/	20
	100 %	/	/	/	/	/	/	/	/	/	5
„Broken Vessels“ Anzahl	0 %	/	/	/	/	/	/	/	/	/	1
	100 %	/	/	/	/	/	/	/	/	/	0

Tabelle 4: Prozentgrenzen des Herstellers für die Parameter der einzelnen Übungen

Errechnen eines einzelnen Prozentwerts:

$Prozentwert_x = (100 / (0\%\text{-Grenze} - 100\%\text{-Grenze})) \times gemessener\ Wert$

$Gesamtprozentwert = Pr_1 \times 0{,}1613 + Pr_2 \times 0{,}1613 + Pr_3 \times 0{,}1613 + Pr_4 \times 0{,}163 + Pr_5 \times 0{,}163 + Pr_6 \times 0{,}0323 + Pr_7 \times 0{,}163$

Pr_1 = Prozentwert „Time To Complete Exercise“
Pr_2 = Prozentwert „Economy Of Motion“
Pr_3 = Prozentwert „Instrument Collisions“
Pr_4 = Prozentwert „Excessive Instrument Force“
Pr_5 = Prozentwert „Instruments Out Of View“
Pr_6 = Prozentwert „Master Workspace Range“
Pr_7 = Prozentwert „Drops“

Bei der Übung „Stacking Challenge“ wurde lediglich eine Punktzahl gemessen, die sich auf die Höhe des gebauten Turms bezog, und daraus ein Prozentwert abgeleitet. Die mit den zur Verfügung stehenden Bausteinen maximal zu erreichende Höhe wurde hierbei als 100 % beziehungsweise 150 Punkte gesetzt und die jeweils erreichten Höhen dazu im Verhältnis bewertet.

$Prozentwert = 100 / (150 / gemessener\ Punktwert)$

Die individuelle Bewertung und Einordnung, auf denen diese Prozentwerte basierten, und der daraus berechnete Gesamtprozentwert fußten also auf einem Bewertungsschema des Herstellers. Jede Übung hatte eine etwas andere Formel. Um eine Vergleichbarkeit zu gewährleisten, wurde entschieden, bei diesen Herstellerformeln zu bleiben. Dem Entwickler des „M-Score“ *(Mimic Technologies)* nach basiert das individuelle Bewertungsschema jeder Übung auf den erhobenen Daten von Chirurgen, welche auf tatsächliche Erfahrung mit Bereich der roboterassistierten Chirurgie zurückblicken können. Aufgrund der erhobenen Expertendaten wurde jeweils der Bewertungsrahmen festgelegt[31, 32] (für weitere Erläuterungen siehe 2.6 Bewertungsparameter und Auswertung des *Da-Vinci-Skills-Simulators*, siehe Anhang 3: „Measure proficiency, exchange expertise“, heruntergeladen am 21.03.2016 von: http://www.mimicsimulation.com/resources).

2.7 Einstufung der einzelnen Aufgaben und trainierte Fähigkeiten

Die erste Gruppe bearbeitete mit „Peg Board 1“ und „Match Board 2“ zwei Aufgaben zum Trainieren von „EndoWrist Manipulation“, wobei „Match Board 2“ zusätzlich die

Fähigkeit „Clutching“ trainieren sollte, sowie eine Aufgabe für „Needle Control“ („Needle Targeting“) mit zusätzlichem Training von „EndoWrist Manipulation“. Ebenso war die Auswahl der Aufgaben mit einer sichtbaren Steigerung des Schwierigkeitsgrads zu vereinbaren. Auch wenn für „Match Board 2“ laut Herstellerschema weniger Zeit vorgesehen war, gestaltete sich die Aufgabe durch das zusätzliche Anheben der Deckel etwas komplexer als „Match Board 1“. Dass hier weniger Zeit benötigt wurde, lag wohl vielmehr daran, dass es bei „Match Board 2“ irrelevant war, in welcher Position die jeweiligen Buchstaben und Zahlen lagen. Hierauf wurde bei „Match Board 1“ Wert gelegt, die Buchstaben und Zahlen mussten in einer bestimmten Position liegen.
Die zweite Gruppe bearbeitete mit „Match Board 1“ eine Übung zum Trainieren von „EndoWrist Manipulation“. „Peg Board 2“ war vorrangig ebenfalls zum Trainieren der „EndoWrist Manipulation“ und zusätzlich für „Camera Control“ und „Clutching“. Die letzte Übung der Gruppe, „Ring and Rail 2“, hatte die gleichen Trainingsziele.
Die dritte Gruppe trainierte innerhalb ihres Curriculums mit „Ring and Rail 1“ ebenfalls hauptsächlich „EndoWrist Manipulation“, sekundär auch „Camera Control“. Bei der Übung „Thread The Rings“ wurde hauptsächlich „Needle Control“ und zusätzlich „EndoWrist Manipulation“ sowie „Camera Control“ trainiert. Bei „Match Board 3“ gehörte vornehmlich „Fourth Arm Control“ sowie zusätzlich „EndoWrist Manipulation“, „Camera Control“ und „Clutching“ zu den trainierten Fähigkeiten.
Die als Abschlussübung oder Vergleichsmaßstab eingesetzte Übung „Energy Dissection 2“ trainierte hauptsächlich „Energy Control“, zusätzlich „Dissection“ und „EndoWrist Manipulation“. Die „Stacking Challenge“ hingegen hauptsächlich „EndoWrist Manipulation“, zusätzlich „Clutching“. Bezogen auf die roboterspezifischen Fähigkeiten waren die zusammengestellten Curricula durchaus vergleichbar. Gruppe 2 trainierte allerdings kein „Needle Control“, Gruppe 3 in der Übung mit hohem Schwierigkeitsgrad zusätzlich „Fourth Arm Control“[12] (siehe Anhang 1: „Modules on the da Vinci Skills Simulator“, heruntergeladen am 21. März 2016 von: https://www.intuitivesurgical.com/products/skills_simulator..

2.8 Fragebogen

Nach der Fertigstellung der beiden Abschlussaufgaben wurden die Probanden darum gebeten, einen Fragebogen auszufüllen (siehe die Tabelle 89). Erstellt wurde dieser Fragebogen von Frau Dr. med. Ute Walliczek-Dworschak. Der Fragebogen erfasste Geschlecht (Item 1), Alter (Item 2) und Händigkeit (Item 3) der Probanden. Mithilfe einer 5-Point-Likert-Skala, bei der die Probanden sich zwischen „trifft völlig zu“, „trifft zu“,

„neutral“, „trifft nicht zu“ und „trifft überhaupt nicht zu“ entscheiden konnten, wurden ihre Einschätzungen und Erfahrungen zu verschiedenen Aussagen erfasst.

Die Aussagen „Das Training am *da Vinci Skills Simulator* hat mir Spaß gemacht“ (Item 4) und „Das Training am *da Vinci Skills Simulator* hat mich frustriert“ (Item 5) zielten auf die persönlichen Erfahrungen der Probanden während der Absolvierung des Trainings und der Abschlussaufgaben ab.

Die Aussagen „Das Training am *da Vinci Skills Simulator* empfand ich als sinnvoll zur Vorbereitung auf roboter-gestützte Eingriffe“ (Item 6), „Ich halte es für sinnvoll, das Training am *da Vinci Skills Simulator* zur Vorbereitung auf roboter-gestützte Eingriffe in der Zukunft fortsetzen“ (Item 7), „Ich halte es für sinnvoll, das Training am *da Vinci Skills Simulator* zur Vorbereitung auf roboter-gestützte Eingriffe als festen Bestandteil der Facharztweiterbildung für chirurgische Fächer zu integrieren“ (Item 8), „Ich halte das Training am *da Vinci Skills Simulator* zur alleinigen Vorbereitung auf roboter-gestützte Eingriffe für ausreichend“ (Item 9), „Ich denke, dass die roboter-gestützte Chirurgie in der Zukunft zunehmen wird“ (Item 10) erfassten die individuellen Einschätzungen zur Relevanz des Simulators und Operationsroboters allgemein.

Die Aussagen „Ich denke, das Training am *da Vinci Skills Simulator* hat meine Geschicklichkeit im Zusammenhang mit roboter-gestützter Chirurgie verbessert“ (Item 11), „Ich denke, das Training am *da Vinci Skills Simulator* hat mein ‚Instrument Handling‘ im Zusammenhang mit roboter-gestützter Chirurgie verbessert“ (Item 12), „Ich denke, das Training am *da Vinci Skills Simulator* hat mein 3D-Vorstellungsvermögen im Zusammenhang mit roboter-gestützter Chirurgie verbessert“ (Item 13) sollten die Eigeneinschätzung der Probanden bezüglich der erlernten Fähigkeiten erfassen.

Die Aussagen „Nach dem Training am *da Vinci Skills Simulator* hatte ich Nackenschmerzen“ (Item 14), „Ich denke, meine Körperhaltung hat sich verbessert im Laufe des Trainings mit dem *da Vinci Skills Simulator*“ (Item 15), „Nach dem Training am *da Vinci Skills Simulator* hatte ich Schmerzen im Bereich der Hände/Handgelenke“ (Item 16), „Ich denke, meine Handhaltung hat sich verbessert im Laufe des Trainings mit dem *da Vinci Skills Simulator*“ (Item 17), „Ich konnte während des Trainings am *da Vinci Skills Simulator* meine Konzentration halten“ (Item 18) gingen wiederum mehr auf die körperlichen Aspekte der Probanden während des Trainings ein.

Die letzten beiden Aussagen zielten darauf, das individuelle Computerspielverhalten der Probanden zu erfassen, um einen möglichen Zusammenhang zwischen Computerspielhäufigkeit und Geschicklichkeit am Simulator herausarbeiten zu können. Die Aussage

„Ich spiele/spielte oft mit Computerspielen“ (Item 19) erfasste auf der bekannten Ordinalskala die Eigeneinschätzung der Probanden. Bei der letzten Frage „Häufigkeit Computerspiele“ (Item 20) gaben die Probanden an, in welchem Rhythmus sie Computerspiele spielten. Zur Auswahl standen hier „jährlich/nie“, „monatlich“ und „täglich“.

2.9 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung erfolgte durch das Statistikprogramm IBM SPSS 23.0 (International Business Machines Corporation, Armonk NY, USA) auf der Basis von mit dem Programm Microsoft Excel (Microsoft Corporation, Redmond Seattle, WA USA) dokumentierten Daten. Es wurden Häufigkeitsverteilungen und deskriptive Statistik genutzt. Als vergleichender Test wurde der T-Test mit einem Konfidenzintervall von 95 % genutzt.

Bei dem unabhängigen T-Test wurde für die beiden Stichproben, in diesem Fall jeweils zwei Gruppen und deren dokumentierte Ergebnisse, der Levenes-Test für die Gleichheit der Varianzen angewendet, um die Varianzen der Stichproben, in diesem Fall die Ergebnisse bei den einzelnen Parametern sowie des Gesamtprozentwerts der unterschiedlichen Gruppen, miteinander zu vergleichen. Auf der Basis des Levenes-Tests erfolgte dann die Auswertung des T-Tests. Als statistisch signifikant wurden nur jene Ergebnisse mit einem Signifikanzwert von $p \leq 0{,}05$ gewertet.

3. Ergebnisse

Im Verlauf der Datenerhebung konnten bei allen Gruppen in allen Schwierigkeitsgraden signifikante Verbesserungen in dem erreichten Gesamtprozentwert und bei der für die Übung benötigten Zeit gezeigt werden.

3.1 Gruppe 1

3.1.1 Übung 1 („Peg Board 1“)

In der ersten Gruppe verbesserte sich der durchschnittlich erreichte Gesamtprozentwert bei der Übung mit geringem Schwierigkeitsgrad signifikant von erreichten 70,90 % in der ersten Wiederholung auf 90,25 % in der sechsten Wiederholung ($p < 0{,}001$, folgend abgerundet beschrieben als $p = 0{,}000$, siehe Tabelle 5).

Ebenso wurden signifikante Verbesserungen bei „Time To Complete Exercise“ erreicht. Die Probanden der Gruppe verbesserten sich durchschnittlich von zunächst 110,80 Sekunden auf 56,85 ($p = 0{,}000$).

Auch das erreichte Ergebnis im Parameter „Economy Of Motion“ verringerte sich signifikant von 182,55 cm auf 129,55 ($p = 0{,}000$). Die Veränderungen der restlichen Parameter für die leichte Übung der ersten Gruppen stellten sich als statistisch nicht signifikant dar (siehe Tabelle 5).

Parameter	Erster Durchgang	SD	Letzter Durchgang	SD	p-Wert
1. Gesamtprozentwert	70,90 %	14,62	90,25 %	5,12	0,000
2. „Time To Complete Exercise“ (Sekunden)	110,80 (11,5 %)	44,50	56,85 (78,94 %)	12,09	0,000
3. „Economy Of Motion“ (Zentimeter)	182,55 (23,27 %)	64,11	129,55 (93,93 %)	16,91	0,001
4. „Instrument Collisions“ (Anzahl)	2,00 (60 %)	2,22	1,05 (79 %)	1,23	0,106
5. „Excessive Instrument Force“ (Sekunden)	0,00 (100 %)	0,00	0,00 (100 %)	0	-
6. „Instruments Out Of View“ (Zentimeter)	0,05 (99 %)	0,22	0,00 (100 %)	0	0,330
7. „Master Workspace Range“ (Zentimeter)	10,80 (84 %)	1,70	10,20 (96 %)	1,88	0,181
8. „Drops“ (Anzahl)	0,55 (89 %)	1,47	0,05 (99 %)	0,22	0,154

Tabelle 5: Gruppe 1, Übung 1: Vergleich erster und letzter Durchgang mit Signifikanzniveau 5 %

3.1.2 Übung 4 („Match Board 2“)

Im Vergleich zwischen dem ersten und letzten Trainingsdurchlauf bei der Übung mittleren Schwierigkeitsgrads steigerte sich der durchschnittlich erreichte Gesamtprozentwert der ersten Gruppe signifikant von 53,50 % auf 79,90 % ($p = 0,000$). Im Verlauf der Durchgänge war eine kontinuierliche Verbesserung bei dem erreichten Gesamtprozentwert und der benötigten Zeit zu beobachten.

„Time To Complete Exercise“ verbesserte sich durchschnittlich von 248,15 Sekunden auf 126,05 ($p = 0,000$), „Economy Of Motion“ von 398,15 auf 270,05 cm ($p = 0,000$).

Auch alle Ergebnisse in den weiteren Parametern verbesserten sich im Vergleich zwischen erstem und letztem Durchgang signifikant (siehe Tabelle 6). Lediglich die Verbesserung des Parameters „Instrument Collisions“ war statistisch nicht signifikant bei einem Signifikanzniveau von 5 %.

Parameter	Erster Durchgang	SD	Letzter Durchgang	SD	p-Wert
1. Gesamtprozentwert	53,50 %	12,70	79,90 %	6,94	0,000
2. „Time To Complete Exercise“ (Sekunden)	248,15 (0 %)	90,53	126,05 (35,74 %)	19,91	0,000
3. „Economy Of Motion“ (Zentimeter)	398,15 (1,06 %)	134,52	270,05 (74,26 %)	46,20	0,000
4. „Instrument Collisions“ (Anzahl)	0,85 (83 %)	1,39	0,70 (86 %)	0,92	0,527
5. „Excessive Instrument Force“ (Sekunden)	19,85 (0 %)	35,74	0,40 (100 %)	0,88	0,025
6. „Instruments Out Of View“ (Zentimeter)	1,60 (68 %)	2,50	0,05 (99 %)	0,22	0,011
7. „Master Workspace Range“ (Zentimeter)	13,20 (36 %)	3,07	11,10 (78 %)	2,24	0,007
8. „Drops“ (Anzahl)	0,30 (94 %)	0,47	0,00 (100 %)	0	0,010

Tabelle 6: Gruppe 1, Übung 4: Vergleich erster und letzter Durchgang mit Signifikanzniveau 5 %

3.1.3 Übung 7 („Needle Targeting“)

Eine vergleichbare Tendenz zur Verbesserung im Laufe der Übungsdurchläufe war auch bei der schweren Übung der ersten Gruppe zu beobachten.

Bei der dritten Übung verbesserten sich die Probanden signifikant ($p = 0{,}001$) von durchschnittlich 71,85 % auf 90,95 % in der Gesamtbewertung. Die benötigte Zeit reduzierte sich signifikant von 277 Sekunden auf 147 Sekunden mit einem p-Wert = 0,000, dies entspricht einer Verbesserung von 25,29 % auf 100 % innerhalb des Prozentschemas bei einem Signifikanzniveau von 5 %.

Sowohl die erreichten Ergebnisse bei „Economy of Motion“ als auch „Instrument Collisions“ und „Drops“ verbesserten sich ebenfalls signifikant (siehe Tabelle 7).

Parameter	Erster Durchgang	SD	Letzter Durchgang	1,35	p-Wert
1. Gesamtprozentwert	71,85 %	25,76	90,95 %	10,65	0,001
2. „Time To Complete Exercise“ (Sekunden)	277,00 (25,29 %)	135,00	147,85 (100 %)	56,41	0,000
3. „Economy Of Motion“ (Zentimeter)	329,95 (97,17 %)	211,90	209,90 (100 %)	58,69	0,009
4. „Instrument Collisions“ (Anzahl)	5,85 (0 %)	8,25	2,05 (59 %)	4,27	0,042
5. „Excessive Instrument Force“ (Sekunden)	2,75 (90,63 %)	5,26	0,70 (100 %)	1,87	0,135
6. „Instruments Out Of View“ (Zentimeter)	0,90 (82 %)	2,40	0,05 (99 %)	0,22	0,135
7. „Master Workspace Range“ (Zentimeter)	10,55 (89 %)	1,70	10,50 (90 %)	2,12	0,920
8. „Drops“ (Anzahl)	0,50 (90 %)	0,89	0,00 (100 %)	0,00	0,021
9. „Missed Targets“ (Anzahl)	4,85 (100 %)	4,02	3,60 (100 %)	3,25	0,154

Tabelle 7: Gruppe 1, Übung 7: Vergleich erster und letzter Durchgang mit Signifikanzniveau 5 %

3.1.4 Gesamtzeit Gruppe 1

Insgesamt konnte bei allen drei Übungen eine starke Reduktion der Zeit für alle drei Bearbeitungen eines Tages beobachtet werden. Bei der Übung mit leichtem Schwierigkeitsgrad wurden am ersten Tag noch durchschnittlich 4,65 Minuten für die drei Durchläufe benötigt, am zweiten Tag nur noch 3,30 Minuten. Bei der mittleren Übung reduzierte sich die insgesamt benötigte Zeit von 9,70 Minuten auf 6,70, bei der Übung mit hohem Schwierigkeitsgrad von 11,85 auf 8,20 Minuten. Die Zeit, die für alle Übungen eines Tages benötigt wurde, reduziert sich schließlich von 26,15 Minuten für den ersten Tag auf 18,35 Minuten für den zweiten Tag.

3.2 Gruppe 2

3.2.1 Übung 2 („Match Board 1“)

Bei der leichten Übung der Gruppe 2 konnte sich die Gruppe durchschnittlich beim Gesamtprozentwert signifikant (p = 0,000) von 60,00 % auf 79,80 % steigern. Die Verbesserung war kontinuierlich im Verlauf der Durchgänge zu sehen. Die benötigte Zeit für die Übung reduzierte sich ebenfalls signifikant (p = 0,000) von 253,35 Sekunden auf 150,50 Sekunden (p = 0,000), was innerhalb des Prozentrahmens einer Verbesserung von 0 % auf 26,82 % entsprach. Auch hier war eine kontinuierliche Reduktion der Zeit während des Verlaufs der Übungstage zu beobachten.

Ebenfalls signifikant verbessern konnte sich die Gruppe bei den Parametern „Economy Of Motion“, „Instrument Collisions“ und „Master Workspace Range“. Die Verbesserungen für die übrigen Parameter stellten sich als statistisch nicht signifikant dar (siehe Tabelle 8). Das Signifikanzniveau lag hier bei 5 %.

Parameter	Erster Durchgang	SD	Letzter Durchgang	SD	p-Wert
1. Gesamtprozentwert	60,00 %	12,30	79,80 %	7,66	0,000
2. „Time To Complete Exercise“ (Sekunden)	235,35 (0 %)	65,05	150,50 (26,82 %)	23,72	0,000
3. „Economy Of Motion“ (Zentimeter)	381,95 (9,03 %)	101,43	256,30 (71,85 %)	33,89	0,000
4. „Instrument Collisions“ (Anzahl)	1,90 (62 %)	2,45	0,45 (91 %)	0,69	0,019
5. „Excessive Instrument Force“ (Sekunden)	1,95 (100 %)	5,48	0,00 (100 %)	0	0,128
6. „Instruments Out Of View“ (Zentimeter)	1,80 (64 %)	5,65	0,45 (91 %)	1,1	0,314
7. „Master Workspace Range“ (Zentimeter)	12,20 (56 %)	2,84	10,15 (97 %)	2,58	0,001
8. „Drops“ (Anzahl)	0,20 (96 %)	0,52	0,00 (100 %)	0	0,104

Tabelle 8: Gruppe 2, Übung 2: Vergleich erster und letzter Durchgang mit Signifikanzniveau 5 %

3.2.2 Übung 5 („Peg Board 2“)

Bei der Übung mit mittlerem Schwierigkeitsgrad konnte sich die zweite Gruppe im Gesamtprozentwert signifikant (p = 0,000) von durchschnittlich 80,10 % im ersten Durchgang auf 91,65 % im letzten Durchgang verbessern. Bei „Time To Complete Exercise“ verbesserte sich die Gruppe signifikant (p = 0,000) von 140,15 Sekunden auf 95,20 Sekunden, das entsprach einer Verbesserung von 56,86 % auf 82,69 %. Eine kontinuierliche Verbesserung über den Verlauf der Übungen war zu beobachten. Ebenso signifikant waren die Verbesserungen bei „Economy Of Motion“, „Instrument Collisions“ und „Master Workspace Range“ (siehe Tabelle 9). Bei „Excessive Instrument Force“ zeigte sich keinerlei Verbesserung, da die Gruppe im ersten wie im letzten Durchgang das bestmögliche Ergebnis von 0 (100 %) erreichte. Das Signifikanzniveau lag hier bei 5 %.

Parameter	Erster Durchgang	SD	Letzter Durchgang	SD	p-Wert
1. Gesamtprozentwert	80,10 %	6,97	91,65 %	5,27	0,000
2. „Time To Complete Exercise“ (Sekunden)	140,15 (56,86 %)	31,35	95,20 (82,69 %)	29,9	0,000
3. „Economy Of Motion“ (Zentimeter)	269,80 (74,4 %)	40,44	222,35 (100 %)	28,95	0,000
4. „Instrument Collisions“ (Anzahl)	11,65 (67 %)	1,46	0,65 (87 %)	0,81	0,019
5. „Excessive Instrument Force“ (Sekunden)	0,00 (100 %)	0,00	0,00 (100 %)	0	-
6. „Instruments Out Of View“ (Zentimeter)	0,05 (99 %)	0,22	0,00 (100 %)	0	0,330
7. „Master Workspace Range“ (Zentimeter)	13,00 (40 %)	2,47	11,75 (65 %)	2,59	0,004
8. „Drops“ (Anzahl)	0,30 (94 %)	0,47	0,20 (96 %)	0,52	0,494

Tabelle 9: Gruppe 2, Übung 5: Vergleich erster und letzter Durchgang mit Signifikanzniveau 5 %

3.2.3 Übung 8 („Ring and Rail 2)

Die schwere Übung der zweiten Gruppe war „Ring and Rail 2“. Hier verbesserte sich die Gruppe durchschnittlich in allen erhobenen Parametern im Vergleich zur ersten Bearbeitung. Der Gesamtprozentwert verbesserte sich von 50,65 auf 70,90 %. Mit einem p-Wert von 0 war diese Verbesserung signifikant bei einem Signifikanzniveau von 5 %. Eine kontinuierliche Verbesserung im Verlauf der Durchläufe war auch hier sichtbar. „Time To Complete Exercise“ verbesserte sich von 382,55 auf 240 Sekunden, dies korrelierte mit einem p-Wert von 0,000 und war somit ebenfalls signifikant. Die Reduktion der benötigten Zeit zeigte sich auch hier kontinuierlich.

Ebenso signifikant verbesserte sich die Gruppe im Parameter „Economy Of Motion“. Die übrigen Parameter verbesserten sich zwar ebenfalls alle, jedoch war diese Verbesserung bei keinem weiteren statistisch signifikant (siehe Tabelle 10).

Parameter	Erster Durchgang	SD	Letzter Durchgang	SD	p-Wert
1. Gesamtprozentwert	50,65 %	19,34	70,90 %	17,07	0,000
2. „Time To Complete Exercise“ (Sekunden)	382,55 (30,91 %)	114,29	240,50 (68,29 %)	86,04	0,000
3. „Economy Of Motion“ (Zentimeter)	558,30 (48,34 %)	171,14	432,90 (73,42 %)	87,87	0,005
4. „Instrument Collisions“ (Anzahl)	4,60 (8 %)	3,56	2,75 (45 %)	2,84	0,128
5. „Excessive Instrument Force“ (Sekunden)	13,60 (0 %)	21,05	12,30 (0 %)	35,77	0,861
6. „Instruments Out Of View“ (Zentimeter)	9,10 (0 %)	9,04	8,65 (0 %)	25,97	0,942
7. „Master Workspace Range“ (Zentimeter)	10,60 (88 %)	1,79	10,30 (94 %)	1,66	0,494
8. „Drops“ (Anzahl)	0,30 (94 %)	0,66	0,10 (98 %)	0,31	0,163

Tabelle 10: Gruppe 2, Übung 8: Vergleich erster und letzter Durchgang mit Signifikanzniveau 5 %

3.2.4 Gesamtzeit Gruppe 2

Bei der zweiten Gruppe zeigte sich eine sichtbare Reduktion der benötigten Zeit für alle drei Bearbeitungen einer jeweiligen Aufgabe an einem Tag. Während am ersten Tag noch durchschnittlich 10,50 Minuten für „Match Board 1“ benötigt wurden, konnte dies auf 8,25 Minuten am zweiten Tag reduziert werden. Für die zweite Aufgabe „Peg Board 2“ wurden am ersten Tag noch durchschnittlich 6,40 Minuten benötigt, am zweiten Tag nur noch 5,10. Bei der dritten Aufgabe („Ring and Rail 2“) wurden am ersten Tag noch 15,90 Minuten und am zweiten schließlich nur noch 12,35 Minuten benötigt. Die benötigte Zeit für den gesamten Tag wurde damit ebenso von 32,80 Minuten für den ersten Tag auf 25,70 Minuten für den zweiten Tag reduziert.

3.3 Gruppe 3

3.3.1 Übung 3 („Ring and Rail 1“)

Die dritte Gruppe bearbeitete als Übung mit geringem Schwierigkeitsgrad die Übung „Ring and Rail 1“. Hierbei verbesserte sich die Gruppe im durchschnittlich erreichten Gesamtprozentwert von 76,20 % auf 92,75 %. Diese Verbesserung war mit p = 0,000 statistisch signifikant. Zu sehen war eine kontinuierliche Verbesserung im Verlauf der Durchgänge. Ebenso gab es eine Verbesserung bei „Time To Complete Exercise“, wo sich die Gruppe von 73,90 auf 32,75 Sekunden mit p = 0,000 verbesserte, dies entsprach innerhalb des Prozentschemas einer Verbesserung von 51,22 % auf 96,94 %. Auch hier zeigten sich die Fortschritte der Gruppe kontinuierlich, wenn auch bereits mit Beginn der Übung auf recht hohem Niveau. Ebenso statistisch signifikant verbesserte sich die Gruppe beim Parameter „Economy Of Motion“. Die Verbesserungen waren – bei einem Signifikanzniveau von 5 % – bei den restlichen Parametern, wenngleich vorhanden, nicht statistisch signifikant (siehe Tabelle 11).

Parameter	Erster Durchgang	SD	Letzter Durchgang	SD	p-Wert
1. Gesamtprozentwert	76,20 %	12,28	92,75 %	4,89	0,000
2. „Time To Complete Exercise“ (Sekunden)	73,90 (51,22 %)	28,02	32,75 (96,94 %)	10.24	0,000
3. „Economy Of Motion“ (Zentimeter)	72,20 (42,77 %)	38,97	53,45 (71,62 %)	10,92	0,030
4. „Instrument Collisions“ (Anzahl)	0,20 (95 %)	0,52	0,05 (99 %)	0,22	0,267
5. „Excessive Instrument Force“ (Sekunden)	1,75 (100 %)	3,84	0,05 (100 %)	0,22	0,064
6. „Instruments Out Of View“ (Zentimeter)	1,25 (75 %)	1,92	0,35 (93 %)	1,14	0,083
7. „Master Workspace Range“ (Zentimeter)	8,75 (100 %)	2,31	7,70 (100 %)	1,78	0,060
8. „Drops“ (Anzahl)	0,15 (97 %)	0,49	0,00 (100 %)	0,00	0,186

Tabelle 11: Gruppe 3, Übung 3: Vergleich erster und letzter Durchgang mit Signifikanzniveau 5 %

3.3.2 Übung 6 („Thread The Rings“)

Die dritte Gruppe zeigte bei ihrer Übung mit mittlerem Schwierigkeitsgrad beim durchschnittlich erreichtem Gesamtprozentwert eine Verbesserung von 46,90 % auf 79,20 %, diese Verbesserung war mit p = 0,000 statistisch signifikant bei einem Signifikanzniveau von 5 %. Sichtbar war hier eine stetige Verbesserung mit jedem Durchgang. Ebenso war die Verbesserung bei „Time To Complete Exercise“ von 274,30 auf 147,30 Sekunden mit p = 0,000 statistisch signifikant. Auch dort konnte deutlich eine kontinuierliche Verbesserung im Verlauf der Durchgänge beobachtet werden. Die Verbesserungen entsprachen im Prozentschema einer Verbesserung von 0 % auf 71,31 %. Des Weiteren zeigten sich noch statistisch signifikante Verbesserungen bei den Parametern „Economy Of Motion“, „Excessive Instrument Force“, „Master Workspace Range“ und „Drops“. Lediglich beim Parameter „Instruments Out Of View“ war die Verbesserung nicht signifikant (siehe Tabelle 12).

Parameter	Erster Durchgang	SD	Letzter Durchgang	SD	p-Wert
1. Gesamtprozentwert	46,90 %	21,25	79,20 %	7,21	0,000
2. „Time To Complete Exercise“ (Sekunden)	274,30 (0 %)	99,80	147,30 (71,31 %)	28,55	0,000
3. „Economy Of Motion“ (Zentimeter)	351,40 (0 %)	132,58	229,50 (68,86 %)	31,38	0,000
4. „Instrument Collisions“ (Anzahl)	4,75 (5 %)	3,34	2,00 (60 %)	1,72	0,003
5. „Excessive Instrument Force“ (Sekunden)	12,35 (0 %)	13,50	1,20 (100 %)	1,61	0,001
6. „Instruments Out Of View“ (Zentimeter)	0,95 (81 %)	2,54	0,20 (96 %)	0,7	0,231
7. „Master Workspace Range“ (Zentimeter)	8,75 (100 %)	2,06	7,70 (100 %)	1,82	0,000
8. „Drops“ (Anzahl)	1,50 (70 %)	2,28	0,15 (100 %)	0,49	0,012

Tabelle 12: Gruppe 3, Übung 6: Vergleich erster und letzter Durchgang mit Signifikanzniveau 5 %

3.3.3 Übung 9 („Match Board 3“)

Bei der Übung mit hohem Schwierigkeitsgrad verbesserte sich Gruppe 3 im erreichten Gesamtprozentwert von 29,60 % auf 61,60 %. Mit p = 0,000 war diese Verbesserung statistisch signifikant. Das Signifikanzniveau war bei 5 %. Deutlich sichtbar war hier eine Verbesserung der gesamten Gruppe mit jedem Durchgang der Übung, ebenso wie beim Parameter „Time To Complete Exercise“, bei dem sich die Gruppe signifikant (p = 0,000) von 562,55 (0 %) auf 262,55 Sekunden (49,09 %) verbesserte. Auch hier konnte deutlich eine stetige Reduktion der benötigten Zeit mit jedem Durchgang gesehen werden. Bei dieser Übung stellte sich die Verbesserung jedes Parameters als statistisch signifikant dar (siehe Tabelle 13). Lediglich beim Parameter „Drops“ war keinerlei Verbesserung im durchschnittlich erreichten Wert der Gruppe zu erkennen.

Parameter	Erster Durchgang	SD	Letzter Durchgang	SD	p-Wert
1. Gesamtprozentwert	29,60 %	10,42	61,60 %	17,09	0,000
2. „Time To Complete Exercise“ (Sekunden)	562,55 (0 %)	200,55	262,55 (49,09 %)	46,19	0,000
3. „Economy Of Motion“ (Zentimeter)	896,30 (17,28 %)	296,04	542,60 (76,23 %)	76,94	0,000
4. „Instrument Collisions“ (Anzahl)	5,30 (0 %)	4,54	1,10 (78 %)	1,89	0,000
5. „Excessive Instrument Force“ (Sekunden)	328,80 (0 %)	264,85	160,25 (0 %)	74,33	0,010
6. „Instruments Out Of View“ (Zentimeter)	37,25 (0 %)	54,22	9,65 (0 %)	12,35	0,016
7. „Master Workspace Range“ (Zentimeter)	14,75 (5 %)	2,17	13,00 (40 %)	2,18	0,001
8. „Drops“ (Anzahl)	0,35 (93 %)	0,59	0,35 (93 %)	0,67	1,000

Tabelle 13: Gruppe 3, Übung 9: Vergleich erster und letzter Durchgang mit Signifikanzniveau 5 %

3.3.4 Gesamtzeit Gruppe 3

Die für die Übungen eindeutig sichtbaren Verbesserungen zeigten sich ebenso signifikant im Vergleich der benötigten Zeiten für diese. Am ersten Tag benötigte die dritte

Gruppe für ihre leichte Übung noch 3,10 Minuten, am zweiten Tag nur noch 2,00 Minuten. Bei der mittleren Übung reduzierte sich die benötigte Zeit von 11,00 auf 7,80 Minuten und bei der schweren von 22,25 auf 14,40 Minuten. Die benötigte Zeit für den jeweiligen Tag reduzierte sich damit ebenso von 36,20 auf 24,45 Minuten.

3.4 Vergleich der Gruppen untereinander

3.4.1 Vergleich der Gesamtzeit

Die Probanden der Gruppen benötigten für die leichten Übungen durchschnittliche Zeiten zwischen 2,60 und 9,40 Minuten (siehe Tabelle 14). Die Unterschiede zwischen den Gruppen waren hier stets signifikant mit jeweils p = 0,000. Gruppe 3 war folglich die schnellste bei der leichten Übung, gefolgt von Gruppe 1. Gruppe 2 war die langsamste.
Auch für die mittlere Übung zeigten sich die Unterschiede im Vergleich als statistisch signifikant bei einem Signifikanzniveau von 5 %. Gruppe 2 war bei der mittleren Übung die durchschnittlich schnellste, Gruppe 1 die zweitschnellste und Gruppe 3 die langsamste. Beim Vergleich zwischen Gruppe 1 und 2 sowie 2 und 3 zeigte sich p = 0 und beim Vergleich zwischen Gruppe 1 und 3 p = 0,042.
Bei der schweren Übung waren die Ergebnisse ebenso statistisch signifikant mit p = 0,000 in allen drei Vergleichen. Die Probanden der ersten Gruppe waren bei der schweren Aufgabe die schnellsten, gefolgt von Gruppe 2, während Gruppe 3 bei der schweren Aufgabe die meiste Zeit benötigte.

	Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 3
Leichte Übung	3,98 Minuten	9,38 Minuten	2,55 Minuten
Mittlere Übung	8,20 Minuten	5,75 Minuten	9,40 Minuten
Schwere Übung	10,03 Minuten	14,13 Minuten	18,33 Minuten

Tabelle 14: Durchschnittlich benötigte Zeit pro Übung

Beim Vergleich der insgesamt für beide Tage zusammengerechneten Zeit erzielten die Probanden der Gruppe 1 einen Durchschnittswert von 22,25 Minuten pro Tag, Gruppe 2 benötigte durchschnittlich 29,25 Minuten und Gruppe 3 30,325 Minuten. Zwischen Gruppe 2 und Gruppe 3 stellte sich der Unterschied hier als nicht signifikant dar (p = 0,539), zwischen Gruppe 1 und den beiden anderen Gruppe allerdings schon (p = 0,000). Gruppe 1 benötigte also durchschnittlich am wenigsten Zeit, um die Übungsaufgaben zu bearbeiten.

3.4.2 Vergleich der Übungen mit geringem Schwierigkeitsgrad

3.4.2.1 Vergleich der Übungen mit geringem Schwierigkeitsgrad zwischen Gruppe 1 und 2

Bei der Bearbeitung der leichten Übungen präsentierte Gruppe 1 („Peg Board 1“) durchgehend bessere Ergebnisse als Gruppe 2 („Match Board 1“). Der durchschnittliche Gesamtprozentwert war bei allen Wiederholungen signifikant besser als jener der zweiten Gruppe bei einem Signifikanzniveau von 5 %.

	1. Wdh.	2. Wdh.	3. Wdh.	4. Wdh.	5. Wdh.	6. Wdh.
Gruppe 1	70,90	76,45	78,15	80,80	87,75	90,25
Gruppe 2	60,00	66,35	69,60	71,35	78,05	79,80
p-Wert	0,015	0,009	0,021	0,010	0,008	0,000

Tabelle 15: Vergleich Gesamtprozentwert Gruppe 1 und 2, Übung 1 und 2

Beim Parameter „Time To Complete Exercise“ zeigte sich für jede Wiederholung ein statistisch signifikanter Unterschied, Gruppe 1 bearbeitete die Aufgabe stets schneller als Gruppe 2. Die durchschnittlich erreichten Werte der ersten Gruppe variierten zwischen 110,80 (11,00 %) und 56,85 (78,94 %), die der zweiten Gruppe zwischen 253,35 (0 %) und 150,50 (26,82 %)

	1. Wdh.	2. Wdh.	3. Wdh.	4. Wdh.	5. Wdh.	6. Wdh.
Gruppe 1	110,80	88,05	77,50	74,75	61,40	56,85
Gruppe 2	253,35	205,55	178,10	184,70	153,40	150,50
p-Wert	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Tabelle 16: Vergleich „Time To Complete Exercise“ in Sekunden Gruppe 1 und 2, Übung 1 und 2

Beim Parameter „Economy Of Motion“ zeigte Gruppe 1 durchschnittliche Ergebnisse zwischen 182,55 cm (23,27 %) und 129,55 cm (93,93 %). Bei der zweiten Gruppe („Match Board 1“) schwankten die Ergebnisse zwischen 281,95 cm (9,03 %) im ersten Durchgang und 254,35 cm (72,83 %) in der fünften Wiederholung. Bei jeder Wiederholung zeigten sich die Unterschiede signifikant zugunsten der ersten Gruppe.

	1. Wdh.	2. Wdh.	3. Wdh.	4. Wdh.	5. Wdh.	6. Wdh.
Gruppe 1	182,55	165,6	154,45	150,10	136,75	129,55
Gruppe 2	381,95	320,05	290,70	290,05	254,35	256,30
p-Wert	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Tabelle 17: Vergleich „Economy Of Motion" in Zentimetern Gruppe 1 und 2, Übung 1 und 2

Beim Parameter „Instrument Collisions“ variierten die durchschnittlichen Werte der Gruppe 1 zwischen maximal 2,00 (60 %) in der ersten Wiederholung und 1,05 (79 %) in der letzten. Bei Gruppe 2 lagen die durchschnittlich erhobenen Werte zwischen 1,90 (62 %) im ersten Durchgang und 0,45 (91 %) im letzten. Der einzige signifikante ($p = 0,041$) Unterschied zeigte sich zwischen den beiden Gruppen bei der dritten Wiederholung bei einem Signifikanzniveau von 5 %.

	1. Wdh.	2. Wdh.	3. Wdh.	4. Wdh.	5. Wdh.	6. Wdh.
Gruppe 1	2,00	1,50	2,35	1,55	1,05	1,05
Gruppe 2	1,90	1,50	1,10	0,70	0,75	0,45
p-Wert	0,893	1,000	0,041	0,059	0,478	0,067

Tabelle 18: Vergleich Anzahl „Instrument Collisions“ Gruppe 1 und 2, Übung 1 und 2

Beim Parameter „Excessive Instrument Force“ erreichte Gruppe 1 in allen Wiederholungen 0 Sekunden (100 %). Bei der zweiten Gruppe variierten die Werte zwischen 1,95 Sekunden (100 %) beim ersten Versuch und 0 Sekunden (100 %) bei der letzten Wiederholung. Die Unterschiede zeigten sich in keinem Fall als statistisch signifikant.

	1. Wdh.	2. Wdh.	3. Wdh.	4. Wdh.	5. Wdh.	6. Wdh.
Gruppe 1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Gruppe 2	1,95	0,35	0,05	0,25	0,05	0,00
p-Wert	0,128	0,167	0,330	0,330	0,330	-

Tabelle 19: Vergleich „Excessive Instrument Force“ in Sekunden Gruppe 1 und 2, Übung 1 und 2

Beim Parameter „Instruments Out Of View“ schwankten die durchschnittlichen Werte bei der ersten Gruppe zwischen 0,05 cm (99 %) und 0,00 cm (100 %). Die Werte der zweiten Gruppe erstreckten sich von 1,80 cm (64 %) im ersten Durchgang zu 0,45 cm (91 %) in der letzten Wiederholung. Bei diesem Parameter zeigte sich für die dritte und vierte Wiederholung jeweils ein statistisch signifikanter ($p = 0,046$ und $p = 0,045$) Unterschied.

	1. Wdh.	2. Wdh.	3. Wdh.	4. Wdh.	5. Wdh.	6. Wdh.
Gruppe 1	0,05	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00
Gruppe 2	1,80	1,30	2,40	1,50	0,90	0,45
p-Wert	0,183	0,203	0,046	0,045	0,104	0,083

Tabelle 20: Vergleich „Instruments Out Of View“ in Zentimetern Gruppe 1 und 2, Übung 1 und 2

Bei „Master Workspace Range“ variierten die durchschnittlich gemessenen Werte der ersten Gruppe zwischen 10,90 cm (82 %), welcher in der zweiten Wiederholung der Übung erreicht wurde, und 9,80 cm (100 %) in der vierten Wiederholung. Die zweite Gruppe erreichte Werte zwischen maximal 12,20 cm im ersten Versuch (56 %) und minimal 9,85 cm (100 %) im fünften. Beim gewählten Signifikanzniveau von 5 % zeigten sich die Unterschiede hier in keinem Fall als statistisch signifikant.

	1. Wdh.	2. Wdh.	3. Wdh.	4. Wdh.	5. Wdh.	6. Wdh.
Gruppe 1	10,80	10,90	10,25	9,80	9,95	10,20
Gruppe 2	12,20	11,70	11,35	10,45	9,85	10,15
p-Wert	0,068	0,361	0,160	0,364	0,867	0,945

Tabelle 21: Vergleich „Master Workspace Range“ in Zentimetern Gruppe 1 und 2, Übung 1 und 2

Für „Drops“ variierten die durchschnittlich erhobenen Werte der ersten Gruppe zwischen 0,55 (89 %) im ersten und 0,05 (99 %) im letzten Versuch. Die zweite Gruppe erreichte mit 0,40 den schlechtesten Wert im zweiten Versuch (92 %) und im fünften und sechsten Versuch mit 0 (100 %). Signifikant waren die Unterschiede zwischen den Gruppen in keiner Wiederholung.

	1. Wdh.	2. Wdh.	3. Wdh.	4. Wdh.	5. Wdh.	6. Wdh.
Gruppe 1	0,55	0,40	0,20	0,35	0,10	0,05
Gruppe 2	0,20	0,40	0,05	0,10	0,00	0,00
p-Wert	0,893	1,000	0,249	0,142	0,163	0,330

Tabelle 22: Vergleich Anzahl „Drops“ Gruppe 1 und 2, Übung 1 und 2

3.4.2.2 Vergleich der Übungen geringer Schwierigkeit zwischen Gruppe 1 und 3

Beim Vergleich zwischen Gruppe 1 („Peg Board 1“) und Gruppe 3 („Ring and Rail 1“) stellten sich die Ergebnisse nicht eindeutig dar. Lediglich bei der zweiten Wiederholung zeigte Gruppe 3 ein signifikant besseres Ergebnis im erreichten Gesamtprozentwert ($p = 0{,}048$). Gruppe 1 erreichte hier 70,90 % und Gruppe 3 76,20 % bei einem Signifikanzniveau von 5 %. Trotzdem zeigte Gruppe 3 in allen Versuchen tendenziell bessere Gesamtprozentwerte als Gruppe 1.

	1. Wdh.	2. Wdh.	3. Wdh.	4. Wdh.	5. Wdh.	6. Wdh.
Gruppe 1	70,90	76,45	78,15	80,80	87,75	90,25
Gruppe 3	76,20	83,50	83,75	86,00	91,50	92,75
p-Wert	0,222	0,048	0,163	0,140	0,182	0,122

Tabelle 22: Vergleich Gesamtprozentwert Gruppe 1 und 3, Übung 1 und 3

Beim Vergleich hinsichtlich „Time To Complete Exercise“ war Gruppe 3 in jeder Wiederholung schneller als Gruppe 1. Die durchschnittlich erreichten Werte der dritten Gruppe erstreckten sich von 73,90 (51,22 %) bis zu 32,75 Sekunden (96,94 %). Bei jeder Wiederholung war Gruppe 3 in diesem Parameter Gruppe 1 statistisch signifikant ($p < 0{,}05$) überlegen.

	1. Wdh.	2. Wdh.	3. Wdh.	4. Wdh.	5. Wdh.	6. Wdh.
Gruppe 1	110,80	88,05	77,50	74,75	61,40	56,85
Gruppe 3	73,90	57,05	53,30	49,00	35,40	32,75
p-Wert	0,003	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000

Tabelle 23: Vergleich „Time To Complete Exercise“ in Sekunden Gruppe 1 und 3, Übung 1 und 3

Die Ergebnisse der dritten Gruppe lagen bei „Economy Of Motion“ zwischen 72,2 cm (42,77 %) im ersten Durchlauf der Übung und 53,45 cm (71,62 %) in der sechsten Wiederholung. Gruppe 3 war in jedem Versuch Gruppe 1 statistisch signifikant ($p = 0{,}000$) überlegen.

	1. Wdh.	2. Wdh.	3. Wdh.	4. Wdh.	5. Wdh.	6. Wdh.
Gruppe 1	182,55	165,60	154,45	150,10	136,75	129,55
Gruppe 3	72,20	66,65	71,70	63,95	56,15	53,45
p-Wert	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Tabelle 24: Vergleich „Economy Of Motion“ in Zentimetern Gruppe 1 und 3, Übung 1 und 3

Beim Parameter „Instrument Collisions“ steigerte sich die dritte Gruppe von durchschnittlich 0,20 (96 %) Kollisionen im ersten Versuch der Übung auf 0,05 (99 %) in der letzten Wiederholung. Auch bei diesem Parameter war Gruppe 3 bei einem Signifikanzniveau von 5 % in jedem Durchgang Gruppe 1 statistisch signifikant überlegen.

	1. Wdh.	2. Wdh.	3. Wdh.	4. Wdh.	5. Wdh.	6. Wdh.
Gruppe 1	2,00	1,50	2,35	1,55	1,05	1,05
Gruppe 3	0,20	0,25	0,15	0,30	0,20	0,05
p-Wert	0,002	0,002	0,000	0,004	0,013	0,002

Tabelle 25: Vergleich Anzahl „Instrument Collisions“ Gruppe 1 und 3, Übung 1 und 3

Die durchschnittlich erreichten Werte bei „Excessive Instrument Force“ der dritten Gruppe schwankten zwischen 1,75 (100 %) im ersten Versuch und 0,05 (100 %) im letzten Versuch. Gruppe 1 war Gruppe 3 hier stets überlegen, da Gruppe 1 in jedem Durchgang 0 Sekunden erreichte. Allerdings ist der Unterschied zwischen den Gruppen lediglich beim vierten Durchgang statistisch signifikant ($p = 0,025$).

	1. Wdh.	2. Wdh.	3. Wdh.	4. Wdh.	5. Wdh.	6. Wdh.
Gruppe 1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Gruppe 3	1,75	0,50	1,90	0,45	0,10	0,05
p-Wert	0,056	0,096	0,134	0,025	0,163	0,330

Tabelle 26: Vergleich „Excessive Instrument Force“ in Sekunden Gruppe 1 und 3, Übung 1 und 3

Bei „Instruments Out Of View“ steigerte sich Gruppe 3 von 1,25 cm (75 %) auf 0,35 (93 %). Im Vergleich zwischen Gruppe 1 und 3 zeigte sich lediglich im ersten Durchgang für diesen Parameter ein statistisch signifikanter ($p = 0,012$) Unterschied. In den folgenden Durchgängen zeigte die erste Gruppe bei einem Signifikanzniveau von 5 % stets ein besseres Ergebnis, allerdings nicht im signifikanten Rahmen.

	1. Wdh.	2. Wdh.	3. Wdh.	4. Wdh.	5. Wdh.	6. Wdh.
Gruppe 1	0,05	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00
Gruppe 3	1,25	0,95	1,35	0,95	0,30	0,35
p-Wert	0,012	0,064	0,233	0,111	0,249	0,185

Tabelle 27: Vergleich „Instruments Out Of View“ in Zentimetern Gruppe 1 und 3, Übung 1 und 3

Beim Parameter „Master Workspace Range“ erreichte die dritte Gruppe durchschnittliche Werte zwischen 8,75 cm (100 %) im ersten Versuch und 7,35 cm (100 %) in der dritten Wiederholung. Im Vergleich zu Gruppe 1 zeigte Gruppe 3 in jedem Durchgang

das durchschnittlich bessere Ergebnis. Der Unterschied zwischen den Gruppen stellte sich bei jeder Wiederholung als statistisch signifikant dar.

	1. Wdh.	2. Wdh.	3. Wdh.	4. Wdh.	5. Wdh.	6. Wdh.
Gruppe 1	10,80	10,90	10,25	9,80	9.95	10,20
Gruppe 3	8,75	7,45	7,35	8,00	7,55	7,70
p-Wert	0,003	0,000	0,000	0,007	0,000	0,000

Tabelle 28: Vergleich „Master Workspace Range“ in Zentimetern Gruppe 1 und 3, Übung 1 und 3

Beim Parameter „Drops“ erreichte Gruppe 3 im ersten Versuch durchschnittlich 0,15 (97 %). Danach wurden allerdings nur noch durchschnittlich Werte von 0 (100 %) gemessen. Im Vergleich zur ersten Gruppe war Gruppe 3 Gruppe 1 in allen Durchgängen überlegen. Statistisch signifikant zeigte sich der Unterschied aber nur in Wiederholung zwei und vier.

	1. Wdh.	2. Wdh.	3. Wdh.	4. Wdh.	5. Wdh.	6. Wdh.
Gruppe 1	0,55	0,40	0,20	0,35	0,10	0,05
Gruppe 3	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
p-Wert	0,259	0,008	0,104	0,031	0,163	0,330

Tabelle 29: Vergleich Anzahl „Drops“ Gruppe 1 und 3, Übung 1 und 3

3.4.2.3 Vergleich der Übungen geringer Schwierigkeit zwischen Gruppe 2 und 3

Beim Vergleich des durchschnittlich erreichten Gesamtprozentwerts zwischen Gruppe 2 („Match Board 1“) und 3 („Ring and Rail 1“) erreichte Gruppe 3 bei jeder Wiederholung das bessere Ergebnis. Dieser Unterschied stellte sich bei einem Signifikanzniveau von 5 % in jedem Durchgang als statistisch signifikant dar.

	1. Wdh.	2. Wdh.	3. Wdh.	4. Wdh.	5. Wdh.	6. Wdh.
Gruppe 2	60,00	66,35	69,60	71,35	78,05	79,80
Gruppe 3	76,20	83,50	83,75	86,00	91,50	92,75
p-Wert	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000

Tabelle 30: Vergleich Gesamtprozentwert Gruppe 2 und 3, Übung 2 und 3

Ebenso bei „Time To Complete Exercise“ war der Unterschied zugunsten der dritten Gruppe stets signifikant.

	1. Wdh.	2. Wdh.	3. Wdh.	4. Wdh.	5. Wdh.	6. Wdh.
Gruppe 2	253,35	205,55	178,10	184,70	153,40	150,50
Gruppe 3	73,90	57,05	53,30	49,00	35,40	32,75
p-Wert	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Tabelle 31: Vergleich „Time To Complete Exercise“ in Sekunden Gruppe 2 und 3, Übung 2 und 3

Beim Parameter „Economy Of Motion“ zeigte sich ebenfalls Gruppe 3 in jedem Durchgang Gruppe 2 signifikant überlegen.

	1. Wdh.	2. Wdh.	3. Wdh.	4. Wdh.	5. Wdh.	6. Wdh.
Gruppe 2	381,95	320,05	290,70	290,05	254,35	256,30
Gruppe 3	72,20	66,65	71,70	63,95	56,15	53,45
p-Wert	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Tabelle 32: Vergleich „Economy Of Motion“ in Zentimetern Gruppe 2 und 3, Übung 2 und 3

Auch beim Parameter „Instrument Collisions“ war Gruppe 3 Gruppe 2 überlegen. Allerdings zeigte sich bei diesem Parameter in Durchgang vier und fünf beim gewählten Signifikanzniveau von 5 % kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen.

	1. Wdh.	2. Wdh.	3. Wdh.	4. Wdh.	5. Wdh.	6. Wdh.
Gruppe 2	1,90	1,50	1,10	0,70	0,75	0,45
Gruppe 3	0,20	0,25	0,15	0,30	0,20	0,05
p-Wert	0,006	0,018	0,036	0,125	0,083	0,021

Tabelle 33: Vergleich Anzahl „Instrument Collisions“ Gruppe 2 und 3, Übung 2 und 3

Bei „Excessive Instrument Force“ zeigte sich Gruppe 2 bei fünf der sechs Durchgängen der dritten Gruppe überlegen, allerdings stellte sich diese Überlegenheit in keinem Fall als statistisch signifikant dar.

	1. Wdh.	2. Wdh.	3. Wdh.	4. Wdh.	5. Wdh.	6. Wdh.
Gruppe 2	1,95	0,35	0,05	0,25	0,05	0,00
Gruppe 3	1,75	0,50	1,90	0,45	0,10	0,05
p-Wert	0,894	0,692	0,144	0,524	0,560	0,330

Tabelle 34: Vergleich „Excessive Instrument Force“ in Sekunden Gruppe 2 und 3, Übung 2 und 3

Ebenso bei „Instruments Out Of View“: Hier erreichte zwar wieder die dritte Gruppe in allen Durchgängen das bessere durchschnittliche Ergebnis, was sich allerdings nicht als signifikant darstellte.

	1. Wdh.	2. Wdh.	3. Wdh.	4. Wdh.	5. Wdh.	6. Wdh.
Gruppe 2	1,80	1,30	2,40	1,50	0,90	0,45
Gruppe 3	1,25	0,95	1,35	0,95	0,30	0,35
p-Wert	0,683	0,741	0,507	0,545	0,311	0,779

Tabelle 35: Vergleich „Instruments Out Of View“ in Zentimetern Gruppe 2 und 3, Übung 2 und 3

Bei „Master Workspace Range“ zeigte sich hingegen bei jeder Wiederholung eine statistisch signifikante ($p < 0,05$) Überlegenheit von Gruppe 3 gegenüber Gruppe 2 bei einem Signifikanzniveau von 5 %.

	1. Wdh.	2. Wdh.	3. Wdh.	4. Wdh.	5. Wdh.	6. Wdh.
Gruppe 2	12,20	11,70	11,35	10,45	9,85	10,15
Gruppe 3	8,75	7,45	7,35	8,00	7,55	7,70
p-Wert	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001

Tabelle 36: Vergleich „Master Workspace Range“ in Zentimetern Gruppe 2 und 3, Übung 2 und 3

Beim letzten Parameter „Drops“ war die Überlegenheit der dritten Gruppe lediglich im zweiten Durchgang statistisch signifikant ($p = 0,042$). In Durchgang fünf und sechs erzielten beide Gruppen mit jeweils null gleichwertige Ergebnisse.

	1. Wdh.	2. Wdh.	3. Wdh.	4. Wdh.	5. Wdh.	6. Wdh.
Gruppe 2	0,20	0,40	0,05	0,10	0,00	0,00
Gruppe 3	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
p-Wert	0,757	0,042	0,330	0,163	-	-

Tabelle 37: Vergleich Anzahl „Drops“ Gruppe 2 und 3, Übung 2 und 3

3.4.3 Vergleich der Übungen mit mittlerem Schwierigkeitsgrad

3.4.3.1 Vergleich der Übungen mittlerer Schwierigkeit zwischen Gruppe 1 und 2

Im Vergleich der mittleren Übungen der Gruppe 1 („Match Board 2“) und Gruppe 2 („Peg Board 2“) zeigte letztere bei allen Versuchen den besseren durchschnittlich erreichten Gesamtprozentwert. Der Unterschied war stets statistisch signifikant (p = 0,000) bei einem Signifikanzniveau von 5 %. Bei Gruppe 1 variierten die Ergebnisse zwischen durchschnittlich 53,50 % im ersten Versuch und 79,90 % in der letzten Wiederholung. Gruppe 2 zeigte den schlechtesten Gesamtprozentwert: Ebenfalls beim ersten Versuch mit 80,10 % und das beste Gesamtprozentergebnis bei der fünften Wiederholung mit 91,80 %.

	1. Wdh.	2. Wdh.	3. Wdh.	4. Wdh.	5. Wdh.	6. Wdh.
Gruppe 1	53,50	63,25	69,20	71,90	76,25	79,90
Gruppe 2	80,10	83,00	86,55	88,90	91,80	91,65
p-Wert	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Tabelle 38: Vergleich Gesamtprozentwert Gruppe 1 und 2, Übung 4 und 5

Für den Parameter „Time To Complete Exercise“ waren die Unterschiede in jeder Wiederholung ebenfalls signifikant (p = 0,000), wobei Gruppe 1 stets das bessere Ergebnis vorweisen konnte. Für die Übung „Match Board 2“ erstreckten sich die durchschnittlich gemessenen Werte zwischen 248,15 Sekunden (0 %) beim ersten Versuch und 126,05 Sekunden (35,74 %) im letzten Durchgang. Bei der Übung „Peg Board 2“ der Gruppe 2 wurden im ersten Durchlauf durchschnittlich 140,15 Sekunden (57,06 %) erreicht und in der sechsten Wiederholung 95,30 Sekunden (82,69 %).

	1. Wdh.	2. Wdh.	3. Wdh.	4. Wdh.	5. Wdh.	6. Wdh.
Gruppe 1	248,15	172,05	161,75	148,50	131,05	126,05
Gruppe 2	140,15	124,65	111,30	109,25	97,30	95,30
p-Wert	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Tabelle 39: Vergleich „Time To Complete Exercise“ in Sekunden Gruppe 1 und 2, Übung 4 und 5

Bei „Economy Of Motion“ war die Tendenz gleichbleibend: Gruppe 2 erreichte stets ein signifikant besseres Ergebnis als Gruppe 1 bei einem Signifikanzniveau von 5 %. Die durchschnittlich gemessenen Werte von Gruppe 1 rangierten zwischen 398,15 cm (1,06 %) im ersten Durchgang und 270,05 (74,26 %) in der letzten Wiederholung der Übung. Bei der zweiten Gruppe war der schlechteste Wert 269,80 cm (74,40 %) beim

ersten Durchgang. Der beste Wert, gemessen in der letzten Wiederholung, war 222,35 cm (100 %).

	1. Wdh.	2. Wdh.	3. Wdh.	4. Wdh.	5. Wdh.	6. Wdh.
Gruppe 1	398,15	310,45	297,60	291,80	270,10	270,05
Gruppe 2	269,80	257,80	244,20	238,40	225,20	222,35
p-Wert	0,000	0,005	0,001	0,006	0,001	0,000

Tabelle 40: Vergleich „Economy Of Motion“ in Zentimetern Gruppe 1 und 2, Übung 4 und 5

Beim Parameter „Instrument Collisions“ zeigten sich die Unterschiede zwischen Gruppe 1 und 2 nicht mehr so eindeutig. Gruppe 1 erreichte ihr durchschnittlich schlechtestes Ergebnis in der fünften Wiederholung der Übung mit 1,10 (78 %). Dies war eine Verschlechterung von 0,55 (89 %) in der vierten Wiederholung. Gruppe 2 verbesserte sich hingegen stetig von 1,65 (67 %) im ersten Versuch auf 0,55 (89 %) im fünften Versuch. Bei einem Signifikanzniveau von 5 % war in keinem Durchgang ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen zu sehen.

	1. Wdh.	2. Wdh.	3. Wdh.	4. Wdh.	5. Wdh.	6. Wdh.
Gruppe 1	0,85	0,85	0,85	0,55	1,10	0,70
Gruppe 2	1,65	1,35	0,75	0,60	0,55	0,65
p-Wert	0,084	0,329	0,815	0,849	0,204	0,857

Tabelle 41: Vergleich Anzahl „Instrument Collisions“ Gruppe 1 und 2, Übung 4 und 5

Beim Parameter „Excessive Instrument Force“ waren die durchschnittlich erreichten Ergebnisse und die Unterschiede zwischen Gruppe 1 und 2 wieder eindeutiger. In den Wiederholungen eins bis drei war Gruppe 2 statistisch signifikant besser als Gruppe 1. Diese Tendenz blieb auch für die folgenden Wiederholungen gleich, nur war dies hier nicht mehr statistisch signifikant. Gruppe 1 erreichte das durchschnittlich schlechteste Ergebnis im ersten Durchgang mit 19,85 (0 %). Die Gruppe verbesserte sich im Verlauf auf 0,4 (100 %) Sekunden in der letzten Wiederholung. Gruppe 2 erreichte das durchschnittlich schlechteste Ergebnis bei der dritten Bearbeitung der Aufgabe mit 0,35 Sekunden (100 %).

	1. Wdh.	2. Wdh.	3. Wdh.	4. Wdh.	5. Wdh.	6. Wdh.
Gruppe 1	19,85	6,90	2,75	3,15	1,10	0,40
Gruppe 2	0,00	0,00	0,35	0,00	0,00	0,00
p-Wert	0,22	0,032	0,011	0,087	0,209	0,057

Tabelle 42: Vergleich „Excessive Instrument Force“ in Sekunden Gruppe 1 und 2, Übung 4 und 5

Beim Parameter „Instruments Out Of View“ rangierten die Ergebnisse der ersten Gruppe zwischen 1,60 cm (68,00 %) im ersten Durchlauf und 0,05 cm (100 %) in der letzten Wiederholung. Bei Gruppe 2 rangierten die durchschnittlich erreichten Ergebnisse zwischen 0,05 cm (99 %) in den ersten drei Wiederholungen und 0 cm (100 %) in den letzten drei. Im ersten Durchlauf stellte sich der Unterschied zwischen den beiden Gruppen mit p = 0,012 als statistisch signifikant bei einem Signifikanzniveau von 5 % dar.

	1. Wdh.	2. Wdh.	3. Wdh.	4. Wdh.	5. Wdh.	6. Wdh.
Gruppe 1	1,60	0,85	0,40	0,30	0,20	0,05
Gruppe 2	0,05	0,05	0,05	0,00	0,00	0,00
p-Wert	0,012	0,202	0,391	0,186	0,214	0,330

Tabelle 43: Vergleich „Instruments Out Of View“ in Zentimetern Gruppe 1 und 2, Übung 4 und 5

Beim Parameter „Master Workspace Range“ rangierten die Ergebnisse der Gruppe 1 zwischen 13,20 cm (36 %) im ersten Durchlauf und 11,10 cm (78 %) in der sechsten Wiederholung. Bei Gruppe 2 lagen die durchschnittlichen Ergebnisse zwischen 13 cm (40 %) im ersten Durchlauf und 11,60 cm (68 %) in der fünften Wiederholung. In der dritten Wiederholung stellte sich der Unterschied zwischen den beiden Gruppen mit p = 0,44 als statistisch signifikant dar. „Master Workspace Range“ war bei der mittleren Aufgabe der einzige Parameter, in welchem Gruppe 1 der Gruppe 2 überlegen war.

	1. Wdh.	2. Wdh.	3. Wdh.	4. Wdh.	5. Wdh.	6. Wdh.
Gruppe 1	13,20	12,30	11,35	11,85	11,55	11,10
Gruppe 2	13,00	12,70	12,85	12,20	11,60	11,75
p-Wert	0,822	0,607	0,044	0,606	0,938	0,402

Tabelle 44: Vergleich „Master Workspace Range“ in Zentimetern Gruppe 1 und 2, Übung 4 und 5

Beim Parameter „Drops“ variierten die Ergebnisse der ersten Gruppe zwischen durchschnittlich 0,55 (89 %) im zweiten Versuch und 0 (100 %) in der sechsten Wiederholung. Die Ergebnisse der Gruppe 2 variierten zwischen 0,42 (91,58 %) in der zweiten Wiederholung und 0,15 (97 %) in der fünften. Das durchschnittliche Ergebnis des letzten Durchlaufs war mit 96,00 % (0,20) etwas schlechter.

	1. Wdh.	2. Wdh.	3. Wdh.	4. Wdh.	5. Wdh.	6. Wdh.
Gruppe 1	0,30	0,55	0,20	0,15	0,10	0,00
Gruppe 2	0,30	0,4211	0,35	0,40	0,15	0,20
p-Wert	1,000	0,631	0,466	0,119	0,643	0,104

Tabelle 45: Vergleich Anzahl „Drops“ Gruppe 1 und 2, Übung 4 und 5

3.4.3.2 Vergleich der Übungen mittlerer Schwierigkeit zwischen Gruppe 1 und 3

Beim Vergleich der Gruppen 1 und 3 („Thread The Rings“) zeigte sich bei den erreichten Gesamtprozentwerten kein signifikanter Unterschied beim gewählten Signifikanzniveau von 5 %. Gruppe 1 zeigte in allen Wiederholungen bis auf der zweiten das bessere Ergebnis.

	1. Wdh.	2. Wdh.	3. Wdh.	4. Wdh.	5. Wdh.	6. Wdh.
Gruppe 1	53,50	63,25	69,20	71,90	76,25	79,90
Gruppe 3	46,90	63,45	65,15	64,80	74,85	79,20
p-Wert	0,242	0,964	0,366	0,129	0,741	0,756

Tabelle 46: Vergleich Gesamtprozentwert Gruppe 1 und 3, Übung 4 und 6

Bei „Time To Complete Exercise“ variierten die Ergebnisse der dritten Gruppe zwischen 274,30 Sekunden (0 %) im ersten Durchlauf und 147,30 Sekunden (57,94 %) in der letzten Wiederholung. Beim Vergleich der benötigten Sekunden zwischen Gruppe 1 und 3 stellten sich bei diesem Parameter in der vierten, fünften und sechsten Wiederholung die Unterschiede als statistisch signifikant ($p < 0,05$) dar. Gruppe 1 war in allen Wiederholungen der dritten Gruppe überlegen. Bei der Betrachtung der Prozentwerte dieses Parameters stellte sich der Unterschied jedoch gegenteilig dar. Hier waren die Ergebnisse der ersten Gruppe stets denen der dritten unterlegen.

	1. Wdh.	2. Wdh.	3. Wdh.	4. Wdh.	5. Wdh.	6. Wdh.
Gruppe 1	248,15	172,05	161,75	148,50	131,05	126,05
Gruppe 3	274,30	196,35	183,90	173,70	152,70	147,30
p-Wert	0,391	0,110	0,093	0,030	0,018	0,010

Tabelle 47: Vergleich „Time To Complete Exercise“ in Sekunden Gruppe 1 und 3, Übung 4 und 6

Beim Parameter „Economy Of Motion“ variierten die Ergebnisse der dritten Gruppe zwischen 351,40 cm (0 %) im ersten und 229,50 cm (68,86 %) im letzten Durchgang. Im Vergleich der erhobenen durchschnittlichen Zentimeterwerte zeigte Gruppe 3 stets das kleinere, also bessere Ergebnis. Der Unterschied stellte sich bei einem Signifikanzniveau von 5 % jedoch nur in den Durchgängen fünf und sechs als statistisch signifikant dar. Durch die unterschiedlichen Prozentgrenzen verfügte Gruppe 3 allerdings in jeder Wiederholung über das schlechtere Prozentergebnis.

	1. Wdh.	2. Wdh.	3. Wdh.	4. Wdh.	5. Wdh.	6. Wdh.
Gruppe 1	398,15	310,45	297,60	291,80	270,10	270,05
Gruppe 3	351,40	276,15	269,95	261,50	241,00	229,50
p-Wert	0,275	0,109	0,088	0,085	0,045	0,002

Tabelle 48: Vergleich „Economy Of Motion“ in Zentimetern Gruppe 1 und 3, Übung 4 und 6

Beim Parameter „Instrument Collisions“ variierten die Ergebnisse der dritten Gruppe zwischen 4,75 (5 %) im ersten und 2,00 (60 %) im sechsten Durchgang. Im Vergleich zur ersten Gruppe waren die Unterschiede bei diesem Parameter für jede Wiederholung statistisch signifikant.

	1. Wdh.	2. Wdh.	3. Wdh.	4. Wdh.	5. Wdh.	6. Wdh.
Gruppe 1	0,85	0,85	0,85	0,55	1,10	0.70
Gruppe 3	4,75	4,55	2,95	3,40	2,45	2,00
p-Wert	0,000	0,018	0,005	0,000	0,046	0,006

Tabelle 49: Vergleich Anzahl „Instrument Collisions“ Gruppe 1 und 3, Übung 4 und 6

Beim Parameter „Excessive Instrument Force“ variierten die durchschnittlichen Ergebnisse der dritten Gruppe zwischen 12,35 Sekunden (0 %) im ersten Durchgang und 1,20 Sekunden (100 %), wobei dieser Wert in der letzten Wiederholung erreicht wurde. Der Unterschied zwischen Gruppe 1 und 3 stellte sich hier bei einem Signifikanzniveau von 5 % nur bei der vierten Wiederholung als signifikant dar.

	1. Wdh.	2. Wdh.	3. Wdh.	4. Wdh.	5. Wdh.	6. Wdh.
Gruppe 1	19,85	6,90	2,75	3,15	1,10	0,40
Gruppe 3	12,35	5,80	5,15	4,50	2,10	1,20
p-Wert	0,385	0,745	0,204	0,566	0,425	0,061

Tabelle 50: Vergleich „ Excessive Instrument Force“ in Sekunden Gruppe 1 und 3, Übung 4 und 6

Beim Parameter „Instruments Out Of View“ variierten die Ergebnisse der dritten Gruppe zwischen 1,05 (79 %) als höchster und schlechtester Wert und 0,20 (96 %) als niedrigster und bester Wert. Das schlechteste Ergebnis wurde hier in der fünften Wiederholung erreicht, das beste sowohl in der zweiten als auch sechsten. Im Vergleich zur ersten Gruppe zeigte sich bei keiner Wiederholung ein statistisch signifikanter Unterschied im Rahmen des Signifikanzniveaus von 5 %.

	1. Wdh.	2. Wdh.	3. Wdh.	4. Wdh.	5. Wdh.	6. Wdh.
Gruppe 1	1,60	0,85	0,40	0,30	0,20	0,05
Gruppe 3	0,95	0,20	0,55	2,6	1,05	0,20
p-Wert	0,420	0,297	0,776	0,345	0,338	0,365

Tabelle 51: Vergleich „Instruments Out Of View“ in Zentimetern Gruppe 1 und 3, Übung 4 und 6

Die durchschnittlichen Ergebnisse der dritten Gruppe variierten bei „Master Workspace Range“ zwischen 9,60 cm (100 %) und 7,55 cm (100 %). Beim Vergleich von Gruppe 1 und 3 zeigte sich hier für jede Wiederholung ein statistisch signifikanter ($p < 0,05$) Unterschied, welcher Gruppe 1 als statistisch relevant überlegen zeigte.

	1. Wdh.	2. Wdh.	3. Wdh.	4. Wdh.	5. Wdh.	6. Wdh.
Gruppe 1	13,20	12,30	11,35	11,85	11,55	11,10
Gruppe 3	9,60	8,50	8,05	9,10	8,05	7,55
p-Wert	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Tabelle 52: Vergleich „Master Workspace Range“ in Zentimetern Gruppe 1 und 3, Übung 4 und 6

Beim Parameter „Drops“ streuten die durchschnittlich erzielten Ergebnisse der dritten Gruppe zwischen 1,50 (70 %) im ersten Durchgang und 0,15 (97 %) in der letzten Wiederholung. Ein signifikanter Unterschied im Vergleich mit der ersten Gruppe konnte hier nur für den ersten Durchgang gezeigt werden. In diesem war Gruppe 1 signifikant überlegen.

	1. Wdh.	2. Wdh.	3. Wdh.	4. Wdh.	5. Wdh.	6. Wdh.
Gruppe 1	0,30	0,55	0,20	0,15	0,10	0,00
Gruppe 3	1,50	0,75	0,25	0,75	0,40	0,15
p-Wert	0,032	0,608	0,746	0,092	0,084	0,186

Tabelle 53: Vergleich Anzahl „Drops“ Gruppe 1 und 3, Übung 4 und 6

3.4.3.3 Vergleich der Übungen mittlerer Schwierigkeit zwischen Gruppe 2 und 3

Im Vergleich zwischen Gruppe 2 („Peg Board 2“) und 3 („Thread The Rings“) war Gruppe 2 in allen Durchgängen der Übung mit mittlerem Schwierigkeitsgrad im erreichten durchschnittlichen Gesamtprozentwert Gruppe 3 signifikant überlegen.

	1. Wdh.	2. Wdh.	3. Wdh.	4. Wdh.	5. Wdh.	6. Wdh.
Gruppe 2	80,10	83,00	86,55	88,90	91,80	91,65
Gruppe 3	46,90	63,45	65,15	64,80	74,85	79,20
p-Wert	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Tabelle 54: Vergleich Gesamtprozentwert Gruppe 2 und 3, Übung 5 und 6

Beim Parameter „Time To Complete Exercise“ zeigte sich, dass Gruppe 2 in jeder Wiederholung signifikant schneller war als Gruppe 3. 5 % war hier das Signifikanzniveau. Die erreichten Prozentwerte bildeten diese Tendenz ebenfalls ab.

	1. Wdh.	2. Wdh.	3. Wdh.	4. Wdh.	5. Wdh.	6. Wdh.
Gruppe 2	140,15	124,65	111,30	109,25	97,30	95,30
Gruppe 3	274,30	196,35	183,90	173,70	152,70	147,30
p-Wert	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Tabelle 55: Vergleich „Time To Complete Exercise“ in Sekunden Gruppe 2 und 3, Übung 5 und 6

Bei „Economy Of Motion“ zeigte sich nur im ersten Durchgang ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen, hier ist Gruppe 2 Gruppe 3 ebenfalls überlegen. Zu diesem Parameter muss allerdings angemerkt werden, dass sich der Bewertungsrahmen der zweiten Gruppe zwischen 400 und 225 cm befindet und jener der dritten Gruppe zwischen 350 und 175 cm. So lagen die durchschnittlich erhobenen Werte zwar eng beieinander, im Prozentschema bewegte sich Gruppe 2 allerdings zwischen 74,40 % und 100 % und Gruppe 3 zwischen 0 % und 68,86 %.

	1. Wdh.	2. Wdh.	3. Wdh.	4. Wdh.	5. Wdh.	6. Wdh.
Gruppe 2	269,80	257,80	244,20	238,40	225,20	222,35
Gruppe 3	351,40	276,15	269,95	261,50	241,00	229,50
p-Wert	0,015	0,350	0,141	0,236	0,198	0,459

Tabelle 56: Vergleich „Economy Of Motion“ in Zentimetern Gruppe 2 und 3, Übung 5 und 6

Bei den Parametern „Instrument Collisions“, „Excessive Instrument Force“ und „Master Workspace Range“ stellte sich der Unterschied in jeder Wiederholung als signifikant dar und Gruppe 2 war stets diejenige mit dem besseren durchschnittlichen Ergebnis.

	1. Wdh.	2. Wdh.	3. Wdh.	4. Wdh.	5. Wdh.	6. Wdh.
Gruppe 2	1,65	1,35	0,75	0,60	0,55	0,65
Gruppe 3	4,75	4,55	2,95	3,40	2,45	2,00
p-Wert	0,001	0,038	0,002	0,000	0,003	0,004

Tabelle 57: Vergleich Anzahl „Instrument Collisions“ Gruppe 2 und 3, Übung 5 und 6

	1. Wdh.	2. Wdh.	3. Wdh.	4. Wdh.	5. Wdh.	6. Wdh.
Gruppe 2	0,00	0,00	0,35	0,00	0,00	0,00
Gruppe 3	12,35	5,80	5,15	4,50	2,10	1,20
p-Wert	0,001	0,001	0,011	0,009	0,032	0,003

Tabelle 58: Vergleich „Excessive Instrument Force“ in Sekunden Gruppe 2 und 3, Übung 5 und 6

	1. Wdh.	2. Wdh.	3. Wdh.	4. Wdh.	5. Wdh.	6. Wdh.
Gruppe 2	13,00	12,70	12,85	12,20	11,60	11,75
Gruppe 3	9,60	8,50	8,05	9,10	8,05	7,55
p-Wert	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Tabelle 59: Vergleich „Master Workspace Range“ in Zentimetern Gruppe 2 und 3 Übung 5 und 6

Beim Parameter „Instruments Out Of View“ konnte in keinem Fall ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen dokumentiert werden. Bei „Drops“ war lediglich der Unterschied im ersten Durchgang bei einem Signifikanzniveau von 5 % statistisch signifikant. Auch hier stellte sich Gruppe 2 als überlegen gegenüber 3 dar.

	1. Wdh.	2. Wdh.	3. Wdh.	4. Wdh.	5. Wdh.	6. Wdh.
Gruppe 2	0,05	0,05	0,05	0,00	0,00	0,00
Gruppe 3	0,95	0,20	0,55	2,60	1,05	0,20
p-Wert	0,131	0,249	0,157	0,292	0,239	0,214

Tabelle 60: Vergleich „Instruments Out Of View“ in Zentimetern Gruppe 2 und 3, Übung 5 und 6

	1. Wdh.	2. Wdh.	3. Wdh.	4. Wdh.	5. Wdh.	6. Wdh.
Gruppe 2	0,30	0,42	0,35	0,40	0,15	0,20
Gruppe 3	1,5	0,75	0,25	0,75	0,40	0,15
p-Wert	0,032	0,349	0,609	0,317	0,159	0,757

Tabelle 61: Vergleich Anzahl „Drops“ Gruppe 2 und 3, Übung 5 und 6

3.4.4 Vergleich der Übungen mit hohem Schwierigkeitsgrad

3.4.4.1 Vergleich der Übungen mit hohem Schwierigkeitsgrad zwischen Gruppe 1 und 2

Beim Vergleich der schweren Übungen zwischen Gruppe 1 und 2 zeigte erstere in allen Wiederholungen die besseren Ergebnisse beim durchschnittlich erreichten Gesamtprozentwert. Die Unterschiede waren bei einem Signifikanzniveau von 5 % bei allen Wiederholungen der Übungen statistisch signifikant.

	1. Wdh.	2. Wdh.	3. Wdh.	4. Wdh.	5. Wdh.	6. Wdh.
Gruppe 1	71,85	81,65	82,20	87,15	87,45	90,95
Gruppe 2	50,65	60,10	64,75	64,50	70,60	70,90
p-Wert	0,006	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000

Tabelle 62: Vergleich Gesamtprozentwert Gruppe 1 und 2, Übung 7 und 8

Beim Parameter „Time To Complete Exercise“ war der Unterschied zwischen Gruppe 1 und 2 ebenfalls für jede Wiederholung statistisch signifikant. Gruppe 1 benötigte für jede Wiederholung signifikant mehr Zeit: zwischen 277,00 Sekunden (25,29 %) im ersten Durchlauf und 147,85 Sekunden (100 %) im letzten. Die durchschnittlich erhobenen Werte der zweiten Gruppe schwankten zwischen 382,55 (30,91 %) im ersten Durchgang und 236,00 Sekunden (69,47 %) in der fünften Wiederholung. Die jeweiligen Prozentrahmen waren allerdings sehr unterschiedlich.

	1. Wdh.	2. Wdh.	3. Wdh.	4. Wdh.	5. Wdh.	6. Wdh.
Gruppe 1	277,00	223,75	209,35	176,25	174,30	147,85
Gruppe 2	382,55	301,50	274,50	268,45	236,00	240,50
p-Wert	0,011	0,007	0,018	0,000	0,008	0,000

Tabelle 63: Vergleich „Time To Complete Exercise“ in Sekunden Gruppe 1 und 2, Übung 7 und 8

Beim Parameter „Economy Of Motion“ zeigte sich ebenfalls in jeder Wiederholung ein signifikanter Unterschied zwischen Gruppe 1 und 2 zugunsten der ersten Gruppe. Diese erreichte hier durchschnittliche Werte zwischen 329,95 cm (97,17 %) im ersten Durchgang und 209,90 cm (100 %) im sechsten. Gruppe 2 erreichte durchschnittliche Werte zwischen 558,30 cm (48,34 %) und 432,90 cm (73,42 %).

	1. Wdh.	2. Wdh.	3. Wdh.	4. Wdh.	5. Wdh.	6. Wdh.
Gruppe 1	329,95	272,95	282,30	232,30	237,00	209,90
Gruppe 2	558,30	502,80	464,75	458,05	433,60	432,90
p-Wert	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Tabelle 64: Vergleich „Economy Of Motion“ in Zentimetern Gruppe 1 und 2, Übung 7 und 8

Beim Parameter „Instrument Collisions“ zeigte sich in keinem Durchgang ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen Gruppe 1 und 2. Erstere erreichte durchschnittliche Werte zwischen 5,85 (0 %) im ersten Durchgang und 2,05 (59 %) im letzten. Gruppe 2 erreichte Werte zwischen 4,60 (8 %) im ersten Durchgang und 1,90 (62 %) im fünften.

	1. Wdh.	2. Wdh.	3. Wdh.	4. Wdh.	5. Wdh.	6. Wdh.
Gruppe 1	5,85	3,55	3,45	2,75	2,95	2,05
Gruppe 2	4,60	2,90	2,55	3,20	1,90	2,75
p-Wert	0,539	0,570	0,396	0,600	0,404	0,546

Tabelle 65: Vergleich Anzahl „Instrument Collisions“ Gruppe 1 und 2, Übung 7 und 8

Beim Parameter „Excessive Instrument Force“ war der Unterschied zwischen Gruppe 1 und 2 in der ersten, vierten und fünften Wiederholung statistisch signifikant, bei einem Signifikanzniveau von 5 %. In jedem Fall war Gruppe 1 Gruppe 2 überlegen. Die durchschnittlich erreichten Werte der ersten Gruppe schwankten zwischen 2,75 Sekunden (90,63 %) im ersten Durchgang und 0,40 Sekunden (100 %) im dritten. Die durchschnittlich erreichten Werte der zweiten Gruppe erstreckten sich zwischen 13,60 Sekunden (0 %) im ersten Durchgang und 3,80 Sekunden (77,50 %) im fünften.

	1. Wdh.	2. Wdh.	3. Wdh.	4. Wdh.	5. Wdh.	6. Wdh.
Gruppe 1	2,75	0,85	0,40	0,45	0,50	0,70
Gruppe 2	13,60	12,10	11,6	6,15	3,80	12,30
p-Wert	0,036	0,079	0,078	0,032	0,023	0,164

Tabelle 66: Vergleich „Excessive Instrument Force“ in Zentimetern Gruppe 1 und 2, Übung 7 und 8

Beim Parameter „Instruments Out Of View“ war der Unterschied in den durchschnittlich erreichten Werten zwischen den Gruppen in allen Durchgängen bis auf den letzten statistisch signifikant. Gruppe 1 war hier ebenfalls Gruppe 2 überlegen. Die durchschnittlich erreichten Werte der ersten Gruppe variierten zwischen 0 cm (100 %) und 0,90 cm (82 %). Gruppe 2 erreichte durchschnittliche Werte zwischen 9,10 cm (0 %) und 3,95 (21 %).

	1. Wdh.	2. Wdh.	3. Wdh.	4. Wdh.	5. Wdh.	6. Wdh.
Gruppe 1	0,90	0,00	0,55	0,00	0,00	0,05
Gruppe 2	9,10	7,10	7,20	3,95	4,85	8,65
p-Wert	0,001	0,007	0,004	0,019	0,009	0,155

Tabelle 67: Vergleich „Instruments Out Of View“ in Zentimetern Gruppe 1 und 2, Übung 7 und 8

Beim Parameter „Master Workspace Range“ war der Unterschied zwischen Gruppe 1 und 2 bei einem Signifikanzniveau von 5 % in keiner Wiederholung statistisch signifikant. Gruppe 1 erreichte durchschnittliche Werte zwischen 10,60 cm (88 %) im zweiten Durchgang und 10,30 cm (94 %) in der vierten Wiederholung. Die durchschnittlichen Werte der zweiten Gruppe variierten zwischen 10,65 cm (87 %) in der dritten Wiederholung und 10,00 cm (100 %) in der vierten.

	1. Wdh.	2. Wdh.	3. Wdh.	4. Wdh.	5. Wdh.	6. Wdh.
Gruppe 1	10,55	10,60	10,35	10,30	10,65	10,50
Gruppe 2	10,60	10,20	10,65	10,00	10,20	10,30
p-Wert	0,928	0,501	0,623	0,700	0,521	0,741

Tabelle 68: Vergleich „Master Workspace Range“ in Zentimetern Gruppe 1 und 2, Übung 7 und 8

Beim Parameter „Drops“ gab es ebenfalls in keiner Wiederholung einen signifikanten Unterschied zwischen Gruppe 1 und 2. Die durchschnittlich erreichten Werte der ersten Gruppe variierten zwischen 0,50 (90 %) im ersten Durchgang und 0 (100 %) in der sechsten Wiederholung. Bei Gruppe 2 variierten die durchschnittlich erreichten Werte zwischen 0,50 (90 %) in der zweiten und 0,10 (98 %) in der sechsten Wiederholung.

	1. Wdh.	2. Wdh.	3. Wdh.	4. Wdh.	5. Wdh.	6. Wdh.
Gruppe 1	0,50	0,30	0,20	0,30	0,10	0,00
Gruppe 2	0,30	0,50	0,26	0,15	0,20	0,10
p-Wert	0,423	0,379	0,65	0,330	0,389	0,163

Tabelle 69: Vergleich Anzahl „Drops“ Gruppe 1 und 2, Übung 7 und 8

3.4.4.2 Vergleich der Übungen mit hohem Schwierigkeitsgrad zwischen Gruppe 1 und 3

Im Vergleich zwischen Gruppe 1 und 3 waren die Ergebnisse ähnlich. In allen Durchläufen war der erreichte durchschnittliche Gesamtprozentwert der Gruppe 1 bei einem Signifikanzniveau von 5 % signifikant besser. Die Gesamtprozentwerte der Gruppe 3

(„Match Board 3“) schwankten zwischen 29,90 % im ersten Durchgang der schweren Aufgabe und 61,60 % im sechsten.

	1. Wdh.	2. Wdh.	3. Wdh.	4. Wdh.	5. Wdh.	6. Wdh.
Gruppe 1	71,85	81,65	82,20	87,15	87,45	90,95
Gruppe 3	29,60	38,15	44,40	48,40	51,85	61,60
p-Wert	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Tabelle 70: Vergleich Gesamtprozentwert Gruppe 1 und 3, Übung 7 und 9

Bei „Time To Complete Exercise“ waren die Unterschiede zwischen Gruppe 1 und 3 ebenfalls in jeder Wiederholung statistisch signifikant. Gruppe 1 erbrachte stets die besseren Ergebnisse. Die durchschnittlich erreichten Ergebnisse der dritten Gruppe schwanken zwischen 562,55 (0 %) und 262,55 Sekunden (49,09 %). Gruppe 1 war Gruppe 3 auch in den erreichten Prozentwerten in jeder Wiederholung überlegen.

	1. Wdh.	2. Wdh.	3. Wdh.	4. Wdh.	5. Wdh.	6. Wdh.
Gruppe 1	277,00	223,75	209,35	176,25	174,30	147,85
Gruppe 3	562,55	414,65	350,70	306,40	293,65	262,55
p-Wert	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Tabelle 71: Vergleich „Time To Complete Exercise“ in Sekunden Gruppe 1 und 3, Übung 7 und 9

Bei „Economy Of Motion“ waren die durchschnittlich erreichten Ergebnisse der ersten Gruppe ebenso statistisch signifikant besser als die der dritten: Gruppe 3 erreichte Werte zwischen 896,30 (17,28 %) und 542,60 cm (76,23 %). Im Vergleich zwischen Gruppe 1 und 3 blieb beim Prozentschema die Tendenz gleich. Auch hier zeigte Gruppe 1 in jedem Durchgang das bessere durchschnittliche Ergebnis.

	1. Wdh.	2. Wdh.	3. Wdh.	4. Wdh.	5. Wdh.	6. Wdh.
Gruppe 1	329,95	272,95	282,30	232,30	237,00	209,90
Gruppe 3	896,30	728,85	641,95	599,35	586,35	542,60
p-Wert	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Tabelle 72: Vergleich „Economy Of Motion“ in Zentimetern Gruppe 1 und 3, Übung 7 und 9

Bei „Instrument Collisions“ waren die Unterschiede zwischen Gruppe 1 und 3 bei einem Signifikanzniveau von 5 % in keinem Durchgang statistisch signifikant. Die durchschnittlich erreichten Werte der dritten Gruppe schwankten zwischen 5,30 (0 %) und 1,10 (78 %).

	1. Wdh.	2. Wdh.	3. Wdh.	4. Wdh.	5. Wdh.	6. Wdh.
Gruppe 1	5,85	3,55	3,45	2,75	2,95	2,05
Gruppe 3	5,30	4,85	2,70	2,65	2,10	1,10
p-Wert	0,795	0,353	0,46	0,916	0,511	0,369

Tabelle 73: Vergleich Anzahl „Instrument Collisions“ Gruppe 1 und 3, Übung 7 und 9

Beim Parameter „Excessive Instrument Force“ waren die Unterschiede der durchschnittlich erreichten Werte der beiden Gruppe jedoch für jede Wiederholung statistisch signifikant unterschiedlich. Die erreichten Werte der dritten Gruppe variierten zwischen 328,80 und 160,25 Sekunden. All diese durchschnittlich erreichten Werte entsprachen im Prozentschema 0 %, wobei der Parameter für die Gesamtwertung bei der Aufgabe der dritten Gruppe einen niedrigeren Stellenwert hatte.

	1. Wdh.	2. Wdh.	3. Wdh.	4. Wdh.	5. Wdh.	6. Wdh.
Gruppe 1	2,75	0,85	0,40	0,45	0,50	0,70
Gruppe 3	328,80	249,55	233,65	183,45	181,55	160,25
p-Wert	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Tabelle 74: Vergleich „Excessive Instrument Force“ in Sekunden Gruppe 1 und 3, Übung 7 und 9

Ähnlich stellten sich die Ergebnisse der dritten Gruppe bei „Instruments Out Of View“ dar. Die Unterschiede zwischen den beiden Gruppen waren in jedem Durchgang dahingehend statistisch signifikant, dass Gruppe 1 Gruppe 3 überlegen war. Die von Gruppe 3 durchschnittlich erreichten Werte variierten zwischen 37,25 cm (0 %) im ersten Durchgang und 9,65 cm (0 %) im letzten.

	1. Wdh.	2. Wdh.	3. Wdh.	4. Wdh.	5. Wdh.	6. Wdh.
Gruppe 1	0,90	0,00	0,55	0,00	0,00	0,05
Gruppe 3	37,25	21,10	15,50	10,40	10,75	9,65
p-Wert	0,007	0,001	0,000	0,000	0,000	0,003

Tabelle 75: Vergleich „Instruments Out Of View“ in Zentimetern Gruppe 1 und 3, Übung 7 und 9

Als ebenso statistisch signifikant überlegen zeigte sich die erste Gruppe im Vergleich mit der dritten bei „Master Workspace Range“. Die durchschnittlich erreichten Werte der dritten Gruppe variierten zwischen 14,75 cm (5 %) und 13,00 cm (40 %).

	1. Wdh.	2. Wdh.	3. Wdh.	4. Wdh.	5. Wdh.	6. Wdh.
Gruppe 1	10,55	10,60	10,35	10,30	10,65	10,50
Gruppe 3	14,75	14,05	13,80	13,15	13,50	13,00
p-Wert	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001

Tabelle 76: Vergleich „Master Workspace Range“ in Zentimetern Gruppe 1 und 3, Übung 7 und 9

Die Unterschiede zwischen den beiden Gruppen beim Parameter „Drops“ waren lediglich im letzten Durchgang statistisch signifikant – bei einem Signifikanzniveau von 5 %. Die durchschnittlich erreichten Werte der dritten Gruppe variierten zwischen 0,55 (89 %) und 0,25 (95 %).

	1. Wdh.	2. Wdh.	3. Wdh.	4. Wdh.	5. Wdh.	6. Wdh.
Gruppe 1	0,50	0,30	0,20	0,30	0,10	0,00
Gruppe 3	0,35	0,25	0,50	0,55	0,55	0,35
p-Wert	0,533	0,780	0,157	0,319	0,092	0,031

Tabelle 77: Vergleich Anzahl „Drops“, Gruppe 1 und 3, Übung 7 und 9

3.4.4.1 Vergleich der Übungen mit hohem Schwierigkeitsgrad zwischen Gruppe 2 und 3

Ebenfalls eindeutig stellten sich die Ergebnisse im Vergleich zwischen Gruppe 2 und 3 dar. In allen Wiederholungen waren die durchschnittlich erreichten Gesamtprozentwerte der Gruppe 2 denen von Gruppe 3 überlegen. Lediglich im sechsten und letzten Durchgang stellte sich diese Differenz nicht mehr als statistisch signifikant dar. Die Tendenz war jedoch gleichbleibend.

	1. Wdh.	2. Wdh.	3. Wdh.	4. Wdh.	5. Wdh.	6. Wdh.
Gruppe 2	50,65	60,10	64,75	64,50	70,60	70,90
Gruppe 3	29,60	38,15	44,40	48,40	51,85	61,60
p-Wert	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,093

Tabelle 78: Vergleich Gesamtprozentwert Gruppe 2 und 3, Übung 8 und 9

Beim Parameter „Time To Complete Exercise“ war ebenfalls Gruppe 2 in fast jeder Wiederholung bis auf der letzten signifikant schneller als die dritte Gruppe.

	1. Wdh.	2. Wdh.	3. Wdh.	4. Wdh.	5. Wdh.	6. Wdh.
Gruppe 2	382,55	301,50	274,50	268,45	236,00	240,50
Gruppe 3	562,55	414,65	350,70	306,40	293,65	262,55
p-Wert	0,001	0,002	0,009	0,091	0,006	0,321

Tabelle 79: Vergleich „Time To Complete Exercise“ in Sekunden Gruppe 2 und 3, Übung 8 und 9

Beim Parameter „Economy Of Motion“ war der Unterschied mit p = 0,000 bei einem Signifikanzniveau von 5 % in jeder Wiederholung signifikant. Gruppe 2 zeigte stets das bessere durchschnittliche Ergebnis.

	1. Wdh.	2. Wdh.	3. Wdh.	4. Wdh.	5. Wdh.	6. Wdh.
Gruppe 2	558,30	502,80	464,75	458,05	433,60	432,90
Gruppe 3	896,30	728,85	641,95	599,35	586,35	542,60
p-Wert	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Tabelle 80: Vergleich „Economy Of Motion“ in Zentimetern Gruppe 2 und 3, Übung 8 und 9

Beim Parameter „Instrument Collisions“ war lediglich der Unterschied in der letzten Wiederholung statistisch signifikant. Gruppe 3 hatte hier das bessere durchschnittlich erreichte Ergebnis.

	1. Wdh.	2. Wdh.	3. Wdh.	4. Wdh.	5. Wdh.	6. Wdh.
Gruppe 2	4,60	2,90	2,55	3,20	1,90	2,75
Gruppe 3	5,30	4,85	2,70	2,65	2,10	1,10
p-Wert	0,591	0,113	0,862	0,436	0,726	0,037

Tabelle 81: Vergleich Anzahl „Instrument Collisions“ Gruppe 2 und 3, Übung 8 und 9

Bei jeder Wiederholung war der Unterschied zwischen Gruppe 2 und 3 im Parameter „Excessive Instrument Force“ mit p = 0,000 statistisch signifikant. Gruppe 2 hatte in jeder Wiederholung das bessere Ergebnis.

	1. Wdh.	2. Wdh.	3. Wdh.	4. Wdh.	5. Wdh.	6. Wdh.
Gruppe 2	13,60	12,10	11,60	6,15	3,80	12,30
Gruppe 3	328,80	249,55	233,65	183,45	181,55	160,25
p-Wert	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Tabelle 82: Vergleich „Excessive Instrument Force“ in Sekunden Gruppe 2 und 3, Übung 8 und 9

Bei „Instruments Out Of View“ waren die Unterschiede zwischen den beiden Gruppen bei einem Signifikanzniveau von 5 % lediglich in den letzten beiden Wiederholungen

nicht mehr statistisch signifikant. Trotzdem hatte Gruppe 2 in allen Wiederholungen das bessere Ergebnis.

	1. Wdh.	2. Wdh.	3. Wdh.	4. Wdh.	5. Wdh.	6. Wdh.
Gruppe 2	9,10	7,10	7,20	3,95	4,85	8,65
Gruppe 3	37,25	21,10	15,50	10,40	10,75	9,65
p-Wert	0,033	0,017	0,046	0,018	0,054	0,877

Tabelle 83: Vergleich „Instruments Out Of View“ in Zentimetern Gruppe 2 und 3, Übung 8 und 9

Beim Parameter „Master Workspace Range“ war die zweite der Gruppe der dritten in allen sechs Durchgängen signifikant überlegen.

	1. Wdh.	2. Wdh.	3. Wdh.	4. Wdh.	5. Wdh.	6. Wdh.
Gruppe 2	10,60	10,20	10,65	10,00	10,20	10,30
Gruppe 3	14,75	14,05	13,80	13,15	13,50	13,00
p-Wert	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Tabelle 84: Vergleich „Master Workspace Range“ in Zentimetern Gruppe 2 und 3, Übung 8 und 9

Bei „Drops“ zeigte Gruppe 2 in nahezu allen Durchgängen zwar das bessere Ergebnis, aber für keine Wiederholung stellte sich dieser Unterschied als statistisch signifikant dar. In der zweiten Wiederholung zeigte die dritte Gruppe hier sogar das bessere Ergebnis.

	1. Wdh.	2. Wdh.	3. Wdh.	4. Wdh.	5. Wdh.	6. Wdh.
Gruppe 2	0,30	0,50	0,26	0,15	0,20	0,10
Gruppe 3	0,35	0,25	0,5	0,55	0,55	0,35
p-Wert	0,801	0,214	0,278	0,090	0,195	0,142

Tabelle 85: Vergleich Anzahl „Drops“ Gruppe 2 und 3, Übung 8 und 9

3.5 Abschlussaufgaben

3.5.1 „Energy Dissection 2“

	Gruppe 1	SD	Gruppe 2	SD	Gruppe 3	SD
1. Gesamtprozentwert	70,60	9,17	71,50	6,65	70,50	15,02
2. „Time To Complete Exercise“ (Sekunden)	233,45 (5,46 %)	74,20	225,15 (12,38 %)	35,27	218,40 (18 %)	57,25
3. „Economy Of Motion“ (Zentimeter)	220,90 (79,74 %)	50,31	229,00 (77,43 %)	34,54	227,20 (77,94 %)	49,53
4. „Instrument Collisions“ (Anzahl)	1,50 (70 %)	2,78	0,90 (82 %)	1,59	0,85 (83 %)	1,42
5. „Excessive Instrument Force“ (Sekunden)	0,35 (100 %)	1,18	0,05 (100 %)	0,22	1,40 (100 %)	4,94
6. „Instruments Out Of View“ (Zentimeter)	0,15 (97 %)	0,67	0,00 (100 %)	0	0,10 (98%)	0,31
7. „Master Workspace Range“ (Zentimeter)	9,25 (100 %)	0,52	8,05 (100 %)	1,63	9,05 (100 %)	2,01
8. „Misapplied Energy Time“ (Sekunden)	34,45 (0 %)	14,85	30,25 (0 %)	12,60	37,75 (0 %)	21,02
9. „Blood Loss Volume“	132,45 (91,89 %)	122,97	86,20 (100 %)	42,01	109,85 (97,54 %)	96,99
10. „Broken Vessels“ (Anzahl)	0,00 (100 %)	0	0,20 (80 %)	0,69	0,20 (80 %)	0,52

Tabelle 86: Vergleich Abschlussaufgabe „Energy Dissection 2“ Gruppe 1,2 und 3

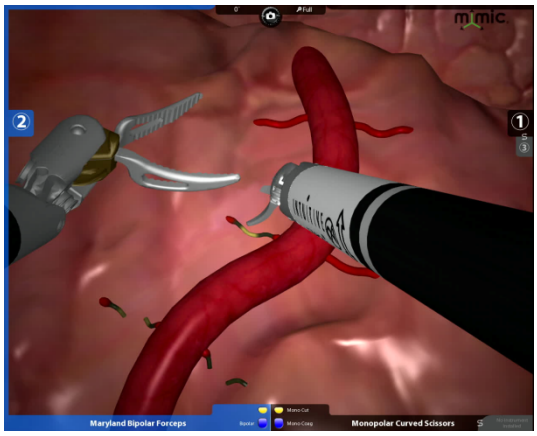


Abbildung 16: „Energy Dissection 2“ (eigenes Bild)

Bei der Abschlussaufgabe „Energy Dissection 2“ erreichte Gruppe 1 ein durchschnittliches Gesamtprozentergebnis von 70,60 %, Gruppe 2 erreichte durchschnittlich 71,50 % und Gruppe 3 70,50 %. Beim Vergleich der Gruppen untereinander zeigten sich diese Unterschiede als nicht statistisch signifikant bei einem Signifikanzniveau von 5 %. Beim Vergleich der erhobenen Parameter zeigten sich für fast alle Parameter p-Werte, die keinen signifikanten Unterschied darstellten. Lediglich beim Parameter „Master Workspace Range“ zeigte sich im Vergleich zwischen Gruppe 1 und 2 ein signifikantes Ergebnis ($p = 0{,}21$) bei einem Signifikanzniveau von 5 %. Gruppe 1 präsentierte hier einen durchschnittlichen Wert von 9,25 cm, Gruppe 2 von 8,05 cm und Gruppe 3 von 9,05 cm. „Master Workspace Range“ war der Parameter mit der geringsten Wertigkeit in der Berechnung des Gesamtprozentwerts.

Zu beobachten waren hier insgesamt bei allen drei Gruppen sehr eng zusammenliegende Durchschnittswerte für alle Parameter. Durchschnittlich erreichte Gruppe 2 zwar das beste Ergebnis im Gesamtprozentwert. Das beste Ergebnis unter den einzelnen Parametern erreichte die Gruppe aber nur bei „Instruments Out Of View“, „Master Workspace Range“, „Misapplied Energy Time“ sowie „Blood Loss Volume“.

Gruppe 1 erzielte bei den Parametern „Economy Of Motion“, „Excessive Instrument Force“ sowie „Broken Vessels“ die besten Ergebnisse. Gruppe 3 hatte aber lediglich bei „Time To Complete Exercise“ das beste Durchschnittsergebnis vorzuweisen.

Obwohl die gemessenen Ergebnisse für alle drei Gruppen sehr nah beieinanderlagen, zeigten sich in der statistischen Auswertung doch einige Unterschiede bei der Standardabweichung der einzelnen Parameter, also folglich große Unterschiede bei der Streuung der Werte um den errechneten Durchschnittswert. Bei Gruppe 1 betrug die Standardabweichung des Gesamtprozentwerts 9,17, bei Gruppe 2 nur 6,64 und bei Gruppe 3 15,02.

Bei den drei einmalig bei dieser Aufgabe erhobenen Parametern gelang es keiner der drei Gruppen, mit dem durchschnittlichen Ergebnis bei „Misapplied Energy Time“ ein Ergebnis innerhalb des vorgegebenen Prozentrahmens zu erzielen. Im Gegensatz dazu erreichten alle drei Gruppen bei „Blood Loss Volume“ durchschnittliche Ergebnisse im oberen Zehntel des Prozentschemas.

3.5.2 „Stacking Challenge“

	Gruppe 1	SD Gruppe 1	Gruppe 2	SD Gruppe 2	Gruppe 3	SD Gruppe 3
Overall %	28,40	10,10	28,45	12,25	19,85	14,13
Punkte	42,20	15,16	42,15	18,43	29,25	21,15

Tabelle 87: Vergleich Abschlussaufgabe „Stacking Challenge“ Gruppe 1, 2 und 3

Bei der Abschlussaufgabe „Stacking Challenge“ erreichte Gruppe 1 ein durchschnittliches Ergebnis von 28,40 %, Gruppe 2 von 28,45 % und Gruppe 3 von 19,85 % (siehe Tabelle 87). Der Vergleich der Gruppen 1 und 2 erbrachte keinen signifikanten Unterschied, bei demjenigen von Gruppe 3 mit den beiden anderen zeigte der p-Wert einen signifikanten Unterschied. Der Wert war hier 0,033 beim Vergleich der Gruppe 1 und 3 und 0,047 beim Vergleich zwischen 2 und 3. Gruppe 3 war also folglich bei der Abschlussaufgabe „Stacking Challenge“ signifikant schlechter als die beiden anderen Gruppen, bei einem Signifikanzniveau von 5 %. Die Streuungen bei den Gruppen waren für alle ebenfalls sehr hoch. Bei Gruppe 1 lag die Standardabweichung des erreichten Gesamtprozentwerts bei 10,10, bei Gruppe 2 bei 12,25 und bei Gruppe 3 sogar bei 14,13, was etwa drei Viertel des erreichten Durchschnittswerts dieser Gruppe entsprach. Zu beachten war bei dieser Aufgabe allerdings, dass die Zeit, die den Probanden zum Bauen des Turmes zur Verfügung stand, begrenzt war und die Möglichkeit bestand, durch das Umstoßen des bereits errichteten Turmes Punkte zu verlieren. Des Weiteren war die Kreativität des jeweiligen Probanden von Bedeutung: Da die Aufgabe darin bestand, einen möglichst hohen Turm zu bauen, gab es mehr Punkte für das Stapeln der Dominosteine auf der kurzen Seite, weil somit eine größere Höhe erreicht werden konnte. Gleichzeitig bestand hierbei eine größere Gefahr, dass das Konstrukt zusammenfiel. Fünf Probanden erreichten bei dieser Aufgabe aufgrund des Einstürzens ihres Turmes null Punkte, ein Proband einen Punkt. Drei Probanden mit null Punkten gehörten zur dritten Gruppe, der Proband mit einem Punkt ebenfalls. Jeweils ein Proband gehörte zur ersten und einer zur zweiten Gruppe.

3.5.3 Fragebogen

Von den 60 Probanden füllten 59 den dazugehörigen Fragebogen aus.

1.) Geschlecht	Männlich: 34			Weiblich 25	
2.) Alter	Zwischen 21 und 33 Jahren				
3.) Händigkeit	Linkshänder: 3			Rechtshänder: 56	
	trifft überhaupt nicht zu	trifft nicht zu	neutral	trifft zu	trifft vollkommen zu
4.) Das Training am *da Vinci Skills Simulator* hat mir Spaß gemacht.	0	1	0	13	45
5.) Das Training am *da Vinci Skills Simulator* hat mich frustriert.	19	26	9	4	1
6.) Das Training am *da Vinci Skills Simulator* empfand ich als sinnvoll zur Vorbereitung auf roboter-gestützte Eingriffe.	0	0	6	23	30
7.) Ich halte es für sinnvoll, das Training am *da Vinci Skills Simulator* zur Vorbereitung auf roboter-gestützte Eingriffe in der Zukunft fortsetzen.	0	0	4	20	35
8.) Ich halte es für sinnvoll, das Training am *da Vinci Skills Simulator* zur Vorbereitung auf roboter-gestützte Eingriffe als festen Bestandteil der Facharztweiterbildung für chirurgische Fächer zu integrieren.	0	2	14	20	23
9.) Ich halte das Training am *da Vinci Skills Simulator* zur alleinigen Vorbereitung auf roboter-gestützte Eingriffe für ausreichend.	10	36	10	3	0
10.) Ich denke, dass die roboter-gestützte Chirurgie in der Zukunft zunehmen wird.	0	2	9	34	14
11.) Ich denke, das Training am *da Vinci Skills Simulator* hat meine Geschicklichkeit im Zusammenhang mit roboter-gestützter Chirurgie verbessert.	1	0	4	34	20
12.) Ich denke, das Training am *da Vinci Skills Simulator* hat mein „Instrument Handling“ im Zusammenhang mit roboter-gestützter Chirurgie verbessert.	1	1	4	35	18
13.) Ich denke, das Training am *da Vinci Skills Simulator* hat mein 3D-Vorstellungsvermögen im Zusammenhang mit roboter-gestützter Chirurgie verbessert.	1	3	10	28	17
14.) Nach dem Training am *da Vinci Skills Simulator* hatte ich Nackenschmerzen.	32	19	3	5	0
15.) Ich denke, meine Körperhaltung hat sich verbessert im Laufe des Trainings mit dem *da Vinci Skills Simulator*.	7	14	23	13	2
16.) Nach dem Training am *Da Vinci Skills Simulator*	24	16	7	11	1

hatte ich Schmerzen im Bereich der Hände/Handgelenke.					
17.) Ich denke, meine Handhaltung hat sich verbessert im Laufe des Trainings mit dem *da Vinci Skills Simulator*.	2	5	19	26	7
18.) Ich konnte während des Trainings am *Da Vinci Skills Simulator* meine Konzentration halten.	0	2	7	29	21
19.) Ich spiele/spielte oft mit Computerspielen.	22	11	5	16	5
20.) Häufigkeit Computerspiele	jährlich: 23	monatlich: 16	wöchentlich: 15	täglich: 5	

Tabelle 88: Ausgezählte Ergebnisse des Fragebogens (eigene Tabelle)

Bei der Auswertung des Fragebogens zeigte sich bei den Probanden ein mehrheitlich männliches Geschlecht. Der Altersrahmen für die Studie wurde im Voraus festgelegt. Probanden sollten, um einen Alterseinfluss möglichst gut auszuschließen, zwischen 20 und 35 Jahren alt sein. Es wurde jedoch bei der Rekrutierung der Verteilung des Alters kein Wert beigemessen, das genaue Alter wurde hierbei auch nicht erfragt. Lediglich der vorgegebene Altersrahmen wurde bei der Rekrutierung erwähnt.

Alter (in Jahren)	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
Anzahl Probanden	4	6	6	13	10	6	1	0	6	1	1	3	0	2

Tabelle 89: Verteilung des Alters der Probanden (eigene Tabelle)

Bei der Auswertung des Fragebogens zeigte sich eine deutliche Tendenz der Probanden, den Sinn und die Effizienz des Trainings am *DVSS* positiv einzuschätzen und zu bewerten. Bei diesen Fragen war jedoch davon auszugehen, dass die Probanden diese wahrscheinlich im Sinne einer möglichen sozialen Erwünschtheit beantworten. Außerdem war zu beachten, dass die Probanden keinerlei Erfahrung im Bereich der robotergestützten Chirurgie, nicht alle einen medizinischen Hintergrund hatten und insofern die Kompetenz zur Beantwortung einiger Fragen fraglich war. Deswegen erfolgte die Auswertung und Diskussion des Fragebogens fokussiert auf die Fragen zum persönlichen Computerspielverhalten, zur körperlichen Haltung und zu möglichen Missempfindungen während des Trainings und danach.

4. Diskussion

Ein Ziel der vorliegenden Studie war es, weitere Grundlagen für die Entwicklung eines standardisierten Trainings am *DVSS* zu legen. Es sollte herausgearbeitet werden, ob im Training am *DVSS* bestimmte Übungen anderen überlegen sind.

Der Simulator unterstützt Chirurgen beim Entwickeln von Qualifikationen und Sicherheit am zugehörigen Operationsroboter. Er wird aber auch von Chirurgen verwendet, die bereits mit dem Roboter operieren und ihre Fähigkeiten erhalten möchten. Bisher gibt es jedoch kein einheitliches Trainingscurriculum für das Erlernen von roboterassistierter Chirurgie.

Zur allgemeinen Thematik der Ausbildung in der roboterassistierten Chirurgie existieren bereits einige Studien: In einer Studie von Volpe et al. wurde ein Curriculum für das Erlernen der roboterassistierten radikalen Prostatektomie vorgestellt, allerdings galt diese spezifisch dem Erlernen dieses einen Eingriffs. Das Training am Simulator war hier Teil eines größeren Trainingsprogramms mit weiteren Einheiten, beispielsweise waren das Üben an Kadavern sowie angeleitetes Modelltraining enthalten. Die Autoren dieser Studie sahen hierbei das Training am *DVSS* als einen Baustein eines größeren umfassenderen Trainingsprogramms, mit welchem sie gute Ergebnisse erzielen konnten.[33]

Zu einer ähnlichen Schlussfolgerung kamen Kumar et al. Die Autoren beschrieben, dass das simulatorbasierte Training einen Anteil in der Zusammenstellung eines Trainingscurriculums habe. Die Autoren merken allerdings auch an, dass es notwendig sei, in den Simulator eingriffspezifische Übungen zu integrieren.[34]

Zur Entwicklung eines standardisierten Curriculums sollte die vorliegende Studie einen Beitrag leisten. Gegenstand war es vornehmlich, den Effekt verschiedener Übungen auf Trainierende ohne Erfahrung in der roboterassistierten Chirurgie zu untersuchen, um eine mögliche Überlegenheit mancher Übungen, also eines bestimmten Übungscurriculums, gegenüber anderen herauszuarbeiten. Zum Vergleich der Curricula wurde in dieser Studie ein vom Hersteller generiertes Bewertungssystem genutzt.

In der vorliegenden Studie wurden von drei verschiedenen Gruppen unterschiedliche Übungen in gleicher Anzahl und Wiederholung durchgeführt. Die durchgeführten Übungen waren unspezifisch und bereiteten nicht auf die Durchführung eines bestimmten operativen Eingriffs am Operationsroboter vor. Anschließend hatten alle Probanden zwei Abschlussaufgaben zu bearbeiten. Dies geschah unter der Prämisse, dass bei einem signifikanten Unterschied bei den Abschlussaufgaben zwischen den Gruppen auf eine

Überlegenheit eines Curriculums und damit die Überlegenheit bestimmter Übungen gegenüber den anderen Curricula bzw. Übungen geschlossen werden kann.
Von den Herstellern der Software und des Simulators gelten Werte ab 80 % als bestanden oder gemeistert. Dies gilt sowohl für den Gesamtprozentwert als auch für die erreichten Prozentwerte jedes einzelnen Parameters. Festgelegt wurden diese Werte durch Bestimmung eines Mittelwerts, welchen 100 Chirurgen mit ausgeprägter Erfahrung im Bereich der roboterassistierten Chirurgie beim Absolvieren der Übungen erreichten.[31] Für die Parameter „Time To Complete Exercise“ und „Economy Of Motion“ gab es für jede Übung individuelle Bewertungsrahmen, diejenigen der anderen Parameter waren jeweils für jede Übung weitestgehend identisch (siehe Tabelle 4: Prozentgrenzen des Herstellers für die Parameter der einzelnen Übungen).
Für die vorliegende Studie wurde aus Gründen der besseren Vergleichbarkeit mit dem prozentbasierten, oben beschriebenen Bewertungssystem des *DVSS* gearbeitet. Die meisten Parameter zählten hier mit gleicher Wertigkeit für den Gesamtprozentwert. Dadurch konnten schlechte Ergebnisse in einem Parameter durch bessere Resultate bei anderen Parametern ausgeglichen werden. Diese Formel wurde mittlerweile von *Mimic Technologies* verlassen und auf ein kenntnisbasiertes System umgestellt. Um mit dem neuen System eine Aufgabe als bestanden oder gemeistert werten zu können, müssen nun alle Parameter einzeln ebenfalls bestanden, also 80 % oder mehr innerhalb des jeweiligen Prozentschemas erreicht werden.[31] Aus diesem Grund wurde für die Auswertung und Diskussion der vorliegenden Studie nicht nur der Gesamtprozentwert betrachtet, sondern auch alle weiteren erhobenen einzelnen Parameter. So wird auch in Zukunft eine bessere Vergleichbarkeit mit anderen Studien gewährleistet. Der 80%-Marke kommt bei der Beschreibung und Interpretation der Ergebnisse dennoch eine herausragende Bedeutung zu.
Bei der vorliegenden Studie verbesserte sich jede Gruppe innerhalb ihres Trainingscurriculums. Gruppe 1 konnte sich bei der Aufgabe mit geringem Schwierigkeitsgrad („Peg Board 1“) in der letzten Wiederholung in allen Parametern außer „Time To Complete Exercise“ und „Instrument Collisions“ auf Werte über 80 % steigern. Selbiges gilt für die zweite Gruppe („Match Board 1“) und ihre Übung mit geringem Schwierigkeitsgrad. Im Gesamtprozentwert erreichte die Gruppe in der letzten Wiederholung ihrer leichten Aufgabe durchschnittlich nur 79,80 %, aber nur die beiden Einzelparameter „Time To Complete Exercise“ und „Economy Of Motion“ befanden sich unterhalb der 80%-Grenze. Die dritte Gruppe („Ring Rail 1“) verbesserte sich schließlich in der letz-

ten Wiederholung ihrer Aufgabe mit geringem Schwierigkeitsgrad ebenfalls in allen Parametern. Hier lag lediglich der durchschnittliche Wert für „Economy Of Motion“ unterhalb der 80%-Grenze, nämlich bei 71,62 %. Der Parameter „Economy Of Motion“ scheint also, selbst bei leichteren Aufgaben, schwerer zu meistern zu sein. Denn nur die erste Gruppe erreichte hier in der letzten Wiederholung schließlich einen Wert > 80 % innerhalb des Prozentschemas der Gruppe. In der Zusammenschau kann man allerdings sehen, dass alle Aufgaben, die als Aufgaben mit geringem Schwierigkeitsgrad eingeteilt wurden, gut zu bewältigen waren. Gruppe 2 erreichte in der letzten Wiederholung mit 79,80 % das schlechteste letzte Ergebnis bei der leichten Übung, was aber trotzdem nahezu den vom Hersteller verlangten 80 % entsprach.

Bei den Aufgaben mit mittlerem Schwierigkeitsgrad konnte sich die erste Gruppe bei der Übung „Match Board 2“ im Gesamtprozentwert von 53,50 % auf 79,90 % verbessern. Die Differenz zu den vom Hersteller geforderten 80 % war hier zum Ende sehr niedrig. Bei den Effizienzparametern konnte die Gruppe in keinem Parameter die vom Hersteller geforderten 80 % erreichen. Bei allen Effizienzparametern wurden allerdings in der letzten Wiederholung Ergebnisse unterhalb der 80%-Grenze erreicht. Die zweite Gruppe bearbeitete die Übung „Peg Board 2“ und konnte bereits beim ersten Durchgang einen durchschnittlichen Gesamtprozentwert von 80,10 % erreichen und diesen bis zur sechsten Wiederholung auf 91,65 % steigern. Diese Gruppe erreichte bei der Aufgabe mit mittlerem Schwierigkeitsgrad also deutlich bessere Ergebnisse als bei ihrer Übung mit niedrigem Schwierigkeitsgrad, auch im Vergleich des jeweils ersten Durchgangs der jeweiligen Übungen. Lediglich beim Parameter „Master Workspace Range“ konnten in der letzten Wiederholung nur durchschnittlich 65 % erreicht werden. An dieser Stelle ist Raum für Diskussionen: Es ist fraglich, ob „Peg Board 2“ eine Steigerung zu „Match Board 1“ darstellt. Der Hersteller gesteht für „Peg Board 2“ mehr Zeit zu, um nicht hinter die 0%-Grenze zu fallen, allerdings müssen Probanden für 100 % schneller sein als bei „Match Board 1“. Bei „Economy Of Motion“ sind die vorgesehenen Prozentrahmen auch sehr ähnlich, allerdings benötigen Probanden bei „Match Board 1“ 25 cm weniger, um 100 % zu erreichen. Letztlich sind in der Zusammenschau die Aufgaben als ähnlich schwierig zu bewerten, geht man nach den Vorgaben des Herstellers. Gruppe 2 hingegen bearbeitete die als schwieriger eingestufte Aufgabe deutlich besser und schneller.

Insgesamt lässt sich jedoch über alle drei Aufgaben der „Match Board“ sagen, dass es für die Probanden aller drei Gruppen relativ schwierig war, bei der „Match-Board“-Gruppe Ergebnisse innerhalb des vorgegebenen Zeitrahmens zu erreichen. Diese Auf-

gabenreihe scheint mit Abstand die anspruchsvollste zu sein, was sich im Bewertungssystem des Herstellers niederschlägt. „Match Board 1 & 2“ verfügen, vermutlich aufgrund ihrer Schwierigkeit, über ein leicht abweichendes Wertungssystem. Die Wertung des Parameters „Excessive Instrument Force“ ist geringer als bei den anderen Übungen, was in einer höheren Wertung der restlichen Parameter resultiert. Die Ursache liegt vermutlich in der Schwierigkeit, in diesem Parameter ein gutes Ergebnis zu erzielen, da beim Halten der Deckel und Schubladen häufig übermäßige Kraft veranschlagt wird.

Die dritte Gruppe bearbeitete als Aufgabe mit mittlerem Schwierigkeitsgrad „Thread The Rings“ und konnte in der letzten Wiederholung lediglich einen durchschnittlichen Gesamtprozentwert von 79,20 % erreichen. Unter der 80%-Grenze blieb die Gruppe ebenfalls bei den Parametern „Time To Complete Exercise“, „Economy Of Motion“ und „Instrument Collisions“. Es zeigt sich eine deutliche Steigerung in der Schwierigkeit im Vergleich zur leichteren Übung.

Bei den Aufgaben mit hohem Schwierigkeitsgrad erreichte die erste Gruppe („Needle Targeting“) in der letzten Wiederholung in allen Parametern außer „Instrument Collisions“ Ergebnisse > 80 %. Bei „Instrument Collisions“ erreichte sie lediglich 59,00 %. Der erreichte Gesamtprozentwert lag in der letzten Wiederholung bei 90,25 %. Bemerkenswert ist in diesem Fall, dass die Gruppe bereits im ersten Durchgang einen Gesamtprozentwert von 71,85 % erreichte. Dieser war damit höher als der erreichte durchschnittliche Gruppenprozentwert in der Übung mit niedrigem und mittlerem Schwierigkeitsgrad. Es ist also in diesem Fall diskutabel, ob diese Aufgabe, obgleich sie mit dem Stecken der Nadeln eine neue Art von Aufgabe darstellte, tatsächlich als Aufgabe mit hohem Schwierigkeitsgrad zu sehen ist. Hierbei fällt ebenso auf, dass die Gruppe bereits im ersten Durchgang beim für diese Aufgabe einzigartigen Parameter „Missed Targets“ 100 % erreichte. Aus dem vom Hersteller festgelegten Prozentrahmen für diese Übung könnte man durchaus einen hohen Schwierigkeitsgrad ableiten. Der Rahmen für „Time To Complete Exercise“ war der niedrigste der gewählten Übungen mit hohem Schwierigkeitsgrad, dennoch lag dieser über dem aller hier als mittelschwer oder leicht eingestuften Übungen. Von den drei Übungen, die in dieser Studie als Übungen mit hohem Schwierigkeitsgrad eingestuft wurden, war „Needle Targeting“ sicherlich die leichteste.

Bei der zweiten Gruppe zeigte sich bei der Aufgabe mit hohem Schwierigkeitsgrad („Ring and Rail 2“) ein deutlich anderes Bild als bei der ersten Gruppe. Hier schaffte es die zweite Gruppe, in der letzten Wiederholung lediglich bei den Parametern „Master

Workspace Range“ und „Drops“ Werte oberhalb von 80 % zu erreichen. Der durchschnittliche Gesamtprozentwert lag lediglich bei 70,90 %.

Die dritte Gruppe bearbeitete als Aufgabe vom hohen Schwierigkeitstyp die Aufgabe „Match Board 3“. Hierbei zeigte sich bei der letzten Wiederholung lediglich für den Parameter „Drops“ ein Wert von 93,00 %. Dies war allerdings der einzige, in welchem sich die Gruppe nicht verbessern konnte. Die Verbesserungen in allen weiteren Parametern waren mit $p < 0,05$ stets signifikant, aber der Gruppe gelang es in der letzten Wiederholung nur, einen Gesamtprozentwert von 61,60 % zu erreichen.

Diese Einschätzungen stimmen mit jenen von Gomez et al. und Walliczek et al.[36, 37] überein. Diese gaben bereits zu bedenken, dass es für die Aufgaben mit hohem Schwierigkeitsgrad wahrscheinlich nicht ausreiche, die Übungen lediglich sechs Mal zu bearbeiten, sondern vermutlich mehr Wiederholungen notwendig seien, um die vom Hersteller geforderten 80 % zu erreichen. Hier ist ebenfalls die Studie von Güldner et al. zu beachten, in welcher beschrieben wurde, dass es sich wahrscheinlich für jene Übungen mit hohem Schwierigkeitsgrad anbiete, diese mit verkürzten Abständen zu trainieren, also eher jeden Tag einer Woche als wöchentlich.[38]

Für die tatsächliche Erarbeitung eines konkreten Trainingscurriculums sollte man diese Erkenntnisse kombinieren und zusammenfassen. Es lässt sich aus der Kombination der Ergebnisse dieser Untersuchung und anderer Studien schlussfolgern, dass sich ein evidenzbasiertes Trainingscurriculum für den Simulator über einen längeren Zeitraum erstrecken sollte als jene eine Woche, in denen die Probanden dieser Studie ihr Training absolvierten. Für die Planung eines tatsächlichen Curriculums ist auch eine Studie von Kang et al. beachtenswert. Hier wurde von einer Stunde täglich als jene Trainingsdauer ausgegangen, welche zu den besten Ergebnissen führe.[39]

Für die für alle Gruppen und Probanden identischen Abschlussaufgaben wurden die Aufgaben „Energy Dissection 2“ sowie „Stacking Challenge“ gewählt. „Energy Dissection 2“ stellte die Probanden aller Gruppen in vielerlei Hinsicht vor vollkommen neue Herausforderungen. Dies sollte gewährleistet werden, um einen möglichen Vorteil einer Gruppe auszuschließen, was sich auch anhand der roboterspezifischen Fähigkeiten ablesen lässt, welche bei der Übung erlernt oder trainiert werden sollten.

„Energy Control“ und „Dissection“, wie sie in der Abschlussaufgabe „Energy Dissection 2“ trainiert werden, sind zuvor von keiner der Gruppen in den jeweiligen Übungen trainiert worden. Des Weiteren wurde bei der Übung nachrangig „EndoWrist Manipulation“ trainiert, dies hatten jedoch alle Gruppen in vergleichbarem Maße in den Übungen

zuvor trainiert. Schon durch die Umgebung, in der die Aufgabe bearbeitet wurde, eine virtuelle Bauchhöhle, und durch das Koagulieren von Gefäßen, wofür die Verwendung eines neuen Fußpedals notwendig wurde, sowie durch die möglichen Komplikationen in Form von Blutungen oder dem Abreißen von Gefäßen stellte die Aufgabe die Probanden vor ganz neue Herausforderungen. Gleichzeitig war sie die realistischste aller Aufgaben und wurde aus diesem Grund ausgewählt. Aufgrund der neuen Aufgabenstellung und Ziele, welche den Probanden mit dieser Übung präsentiert wurden, lässt sich diese Aufgabe gut als Abschluss verwenden. Keine der Gruppen konnte sich durch ihre Übungen auf genau diese Aufgabe vorbereiten. Aufgrund der fehlenden Vorkenntnis im Bereich der roboterassistierten Chirurgie oder überhaupt fehlender Erfahrungen als Operateur konnte von keinem Vorteil einiger Probanden gegenüber anderen ausgegangen werden. Außerdem waren keine anatomischen Vorkenntnisse gefragt, sodass jene Probanden mit medizinischem Hintergrund gegenüber jenen ohne keinen Vorteil hatten.
In den erreichten Ergebnissen konnte sich bei dieser Aufgabe jedoch keine Gruppe gegenüber einer anderen durchsetzen. Die erreichten lagen für alle drei Gruppen bei etwa durchschnittlich 70 %. Es zeigte sich kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen ihnen. Alle drei erbrachten in der ersten Abschlussaufgabe Gesamtprozentwerte zwischen 70,5 % und 71,5 %, wobei die Standardabweichung der dritten Gruppe mit 15,02 sehr groß und die der anderen mit 9,17 (Gruppe 1) und 6,65 (Gruppe 2) geringer war. Es scheint also kein Übungscurriculum gegenüber den anderen Curricula überlegen zu sein. Auch lässt sich aus den durchschnittlich erreichten Gesamtprozentwerten gut ablesen, dass das kurze durchlaufene Übungscurriculum nicht ausreichend war, um die vom Hersteller geforderten 80 % zu erreichen. Zu beachten ist hier, dass bei den Ergebnissen innerhalb der ersten Gruppe vier Probanden ein Ergebnis unter 60 % erreichten, in der dritten Gruppe waren es sogar weniger, nämlich drei Probanden, und in der zweiten Gruppe nur ein Proband. Die große Spannbreite der Ergebnisse, somit auch die hohe Standardabweichung der dritten Gruppe, lässt sich mit einem Ausreißer erklären, der von allen Probanden das mit Abstand schlechteste Gesamtergebnis mit 17 % erreichte. Alle anderen Probanden, welche Ergebnisse unter 60 % erreichten, lagen mit dem Ergebnis immerhin im Bereich der 50 %. Gleichzeitig ist zu beobachten, dass unter jenen Probanden, welche ein Gesamtergebnis von über 80 % erreichten, zwei aus der ersten Gruppe, zwei aus der zweiten und vier aus der dritten waren. Dies erklärt die breite Streuung der dritten Gruppe: Es gab zwar ein außergewöhnlich niedriges Ergebnis innerhalb dieser, aber auch die meisten guten Ergebnisse fanden sich hier.

Weshalb jener Proband bei der Abschlussaufgabe das mit Abstand schlechteste Ergebnis bekam, lässt sich schwierig beantworten. Erwähnt sei jedoch, dass die erreichten Ergebnisse des Probanden bereits im Verlauf der Durchgänge der schweren Übung am zweiten Versuchstag abfielen. Im dritten Durchgang erreichte er weniger als die Hälfte im Vergleich zum ersten und zweiten Durchgang dieses Tages. Das Ergebnis des dritten Durchgangs war ebenfalls schlechter als sämtliche Ergebnisse des ersten Versuchstags. Es ist also möglich, dass bei diesem Probanden Konzentration und Motivation im Verlauf des Versuchtags stark abgenommen haben. Betrachtet man die Ergebnisse der dritten Gruppe ohne den erwähnten Ausreißer nach unten, ähneln sich diese noch deutlicher. Der Mittelwert für den erreichten Gesamtprozentwert in der Abschlussaufgabe lag dann für diese bei 73,32 % und die dazugehörige Standardabweichung bei 8,40. Dass ein Ergebnis die Gesamtergebnisse der Gruppe derartig beeinflussen kann, ist auf die geringe Größe der Gruppen zurückzuführen.

Zurückzuführen sind die insgesamt dennoch niedrigen Gesamtprozentwerte vornehmlich auf die erreichten Ergebnisse bei „Time To Complete Exercise“ und „Misapplied Energy Time“. Die Resultate der Gruppen bei der benötigten Zeit befanden sich allerdings im oberen 70er-Bereich des Prozentschemas und waren damit nah an den geforderten Sekunden des Herstellers. Relevant ist ebenso, dass jede einzelne Gruppe im nur bei dieser Aufgabe erhobenen Parameter „Misapplied Energy Time“ 0 % erreichte. Die 0%-Grenze des Herstellers liegt hier bei 20 Sekunden, die erreichten Durchschnittswerte aller drei Gruppen lagen in den 30ern, wobei ebenfalls wieder die dritte Gruppe mit 21 Sekunden die mit Abstand größte Standardabweichung präsentierte.

Betrachtet man die schlechtesten Ergebnisse bei diesem Parameter, also jene mit einem Ergebnis von mehr als 40 Sekunden, ist Gruppe 3 mit sieben Probanden vertreten, die erste Gruppe mit sechs und die zweite nur mit drei. Hier lassen sich zwei Ausreißer innerhalb der dritten Gruppe ausmachen. Zum einem jener oben bereits erwähnte, der mit 89 Sekunden das schlechteste Ergebnis aller Probanden in diesem Parameter erzielte, und noch ein weiterer Proband aus der dritten Gruppe, der 79 Sekunden erreichte. Der schlechteste Proband der zweiten Gruppe erreichte 60 Sekunden und jener der ersten 63 Sekunden. Diese zwei oben genannten Probanden könnten also die breite Fächerung der Ergebnisse der dritten Gruppe bei diesem Parameter erklären. Allerdings ist die Relevanz für den Gesamtprozentwert gering. Dies ist darauf zurückzuführen, dass bei diesem Parameter das Ergebnis der Probanden bereits ab einem Wert von 20 Sekunden mit 0 % bewertet wurde und somit die Ergebnisse aller hier erwähnten Probanden die glei-

che Wertigkeit für das Gesamtprozentergebnis hatten. Nur elf Probanden der gesamten Studie erreichten ein Ergebnis, welches nicht mit 0 % in das Gesamtergebnis eingerechnet wurde. Hiervon waren drei in der ersten Gruppe, vier in der zweiten und ebenfalls vier in der dritten. Das mit Abstand beste Ergebnis der Gruppe erreichte ein Proband aus der dritten Gruppe mit vier Sekunden. Dies war das einzige Ergebnis, welches nach den Bewertungskriterien des Herstellers 100 % entsprach. Dieser Proband ist ebenfalls als Ausreißer zu werten, denn das zweitbeste Ergebnis lag bei diesem Parameter bei 11 Sekunden. Damit trug dieser Proband ebenfalls zur breiten Streuung der Ergebnisse der dritten Gruppe bei. Der Parameter ist zuvor in keiner Übung erhoben worden, es hatte also keiner der Probanden Erfahrung darin, Strom innerhalb des Simulators zu verwenden, was das Ergebnis erklären kann. Aber die Resultate schienen ihre Wirkung nicht zu verfehlen, denn beim Parameter „Blood Loss Volume“ schnitten die Gruppen sehr viel besser ab – ein Parameter, bei dem bei allen Probanden ein Bewusstsein für die Relevanz existierte. Die erste Gruppe erreichte hier mit 132,45 91,89 %, die zweite mit 86,2 100 % und die dritte schließlich mit 109,85 96,99 %.

Die Probanden dieser Gruppen waren in der roboterassistierten Chirurgie ausschließlich ungeschult. Darüber hinaus waren alle Studenten, die keine Erfahrung mit bipolarer Koagulation hatten. Es ist also wahrscheinlich, dass ihnen das Gefühl für die ausreichende Menge und auch das Bewusstsein für die negativen Folgen exzessiver Stromapplikation fehlte und sie es eher für notwendig und relevanter erachteten, um jeden Preis einen Blutverlust zu vermeiden – im Gegensatz zu den erfahrenen Chirurgen, die den Rahmen für den Parameter festlegten und welchen bewusst war, dass mehr Strom mit mehr Gewebeschäden in der Umgebung einhergehen kann. Zudem ist es durchaus möglich, dass die Probanden die Handhabung des zusätzlichen Fußschalters nicht sofort meisterten. Bis auf die dritte Gruppe, welche bei „Match Board 3“ bereits einen weiteren Fußschalter zusätzlich zu benutzen hatte, hatten die Gruppen keine Erfahrung mit weiteren Fußschaltern. Trotzdem hatte Gruppe 3 hier keinen entscheidenden Vorteil, wie den Ergebnissen zu entnehmen ist. Die Zusammenhänge, in welchen die Fußschalter benutzt wurden, unterschieden sich stark, da er bei der Übung, welche die dritte Gruppe bereits absolviert hatte, stets nur kurz betätigt und nicht über einen längeren Zeitraum gedrückt werden musste. Außerdem gab es bei der Übung der dritten Gruppe keinen korrespondierenden Parameter zum Fußschalter, da der Schalter in der Übung der dritten Gruppe nur kurz zum Anwählen des Instruments benutzt wurde. Der Fuß-

schalter musste nicht länger gedrückt werden und es wurde bei der Übungsaufgabe auch kein korrespondierender Parameter erhoben.

Beim dritten Parameter, der für diese Aufgabe einmalig war, zeigten die drei Gruppen wieder sehr unterschiedliche Ergebnisse. Bei „Broken Vessels“ erreichte die erste Gruppe mit 0 die Wertung 100 %, die zweite und dritte mit durchschnittlich 0,2 die Wertung 80 %. Die Einschätzung und Einordnung dieses Parameters ist jedoch schwierig, denn schon ein zerrissenes oder beschädigtes Gefäß bedeutete ein 0%-Ergebnis.

Auffällig an den Ergebnissen bei „Energy Dissection 2“ war ebenfalls, dass alle Gruppen bei „Master Workspace Range“ mit Werten unter 10 cm 100 % erreichen konnten. Die Standardabweichungen waren ebenfalls niedriger. Die größte zeigte die dritte Gruppe mit 2,01 auf, was etwas mehr als 20 % des Wertes war und somit anteilig nicht annähernd so viel wie bei den anderen Parametern.

„Economy Of Motion“ und „Master Workspace Range“ sind Effizienzparameter. Diese unterscheiden sich dahingehend, dass „Economy Of Motion“ die gesamte mit den Instrumenten zurückgelegte Strecke beschreibt und „Master Workspace Range“ den Radius des benötigten Arbeitsvolumens. Diese Tatsache könnte erklären, warum der Hersteller für jede Übung den gleichen Bewertungsrahmen für „Master Workspace Range“ vorgibt, aber jede Übung für „Economy Of Motion“ über einen individuellen Bewertungsrahmen verfügt.

Bei „Economy Of Motion“ konnten die erhobenen Ergebnisse verschlechtert werden, indem Probanden viele überflüssige Bewegungen machten oder z. B. mehrere Versuche brauchten, um etwas mit den Instrumenten zu greifen. Bei „Master Workspace Range“ wurde das Ergebnis durch weit ausholende Bewegungen verschlechtert, wenn Probanden viel Raum benötigten, um eine Übung zu bewältigen. „Economy Of Motion“ kann aus diesen Gründen als bester Parameter genommen werden, um zu evaluieren, wie effizient jemand am *DVSS* arbeitet. Denn im Gegensatz zu „Master Workspace Range“ erfasste „Economy Of Motion“ das Verhalten der Probanden während der gesamten Übung und nicht einen einzelnen Maximalwert. Auch wenn andere Parameter ebenfalls als sogenannte Effizienzparameter bezeichnet werden, kommt „Economy Of Motion“ wohl die größte Bedeutung zu, denn in wohl keinem der anderen Parameter spiegelt sich die Sicherheit des Probanden an Simulator derart wider. Um gute Ergebnisse bei „Economy Of Motion“ zu erzielen, mussten Probanden den Umgang mit dem Entkoppelungsmechanismus sicher beherrschen. Außerdem ist zu beachten, dass „Master Workspace Range“ und „Economy Of Motion“ insofern miteinander verbunden waren,

als dass ein gutes Ergebnis bei „Master Workspace Range“ ein gutes Ergebnis bei „Economy Of Motion“ voraussetzte. Betrachtet man die Ergebnisse der verschiedenen Gruppen bei „Economy Of Motion“, so lagen diese bei der Abschlussaufgabe besonders nah zusammen. Die erste Gruppe erreichte 220,9 cm, was 79,74 % entspricht, die zweite Gruppe 229 cm (77,43 %) und die dritte schließlich 227,2 cm (77,94 %). Gruppe 1 und 3 erreichten sehr ähnliche Standardabweichungen mit 50,31 bei der ersten und 49,53 bei der dritten Gruppe. Nur die zweite Gruppe sticht hier mit einer Standardabweichung von 34,54 etwas heraus. Dies gilt für die meisten anderen Parameter, denn in der überwiegenden Anzahl verfügte Gruppe 2 stets über die niedrigste Standardabweichung. Bei „Master Workspace Range“ hingegen erreichten die Gruppen mit Ergebnissen zwischen 8,05 (Gruppe 2) und 9,25 (Gruppe 1) jeweils 100 %. Die jeweiligen Unterschiede zwischen den Gruppen fielen aufgrund der 100%-Wertung für die Berechnung des Gesamtergebnisses nicht ins Gewicht.

Bei der Betrachtung der Ergebnisse der Gruppen in ihren jeweiligen Trainingscurricula zeigte sich beim Vergleich des ersten und letzten Durchgangs in Bezug auf „Master Workspace Range“ und „Economy Of Motion“ eine ähnliche Tendenz. In der überwiegenden Anzahl der Fälle waren die erreichten Ergebnisse bei „Master Workspace Range“ deutlich besser und steigerten sich ebenfalls schneller als bei „Economy Of Motion“. Lediglich bei den Übungen „Needle Targeting“, „Peg Board 2“ und „Match Board 3“ war die Tendenz insofern umgekehrt, als dass die Ergebnisse bei „Economy Of Motion“ besser waren als jene bei „Master Workspace Range“.

Der dritte Effizienzparameter war „Time To Complete Exercise“. Dieser erfasste lediglich die Zeit, die für eine bestimmte Übung benötigt wurde, und variierte für jede Übung sehr stark. Allerdings ist bei diesem Parameter zu beachten, dass die Geschwindigkeit, mit der Probanden eine Aufgabe bearbeiten, sehr stark von der jeweiligen Person abhängen kann. Eine bestimmte Zeitersparnis bedeutet immer eine gesteigerte Effizienz, allerdings birgt eine Steigerung in „Time To Complete Exercise“ immer die Gefahr, Abzüge in den Stilparametern zu bekommen. Aus diesem Grund kann, wie von Walliczek-Dworschak et al.[35] schon beschrieben, davon ausgegangen werden, dass „Economy Of Motion“ ein relevanterer Parameter im Rahmen des Bewertungsschemas des *DVSS* ist.

Sieht man sich die in der Studie verwendeten Übungen an, zeigt sich der Parameter konkordant zu den zugeordneten Schwierigkeitsgraden. Jene Übungen mit leichtem Schwierigkeitsgrad hatten bei diesem Parameter auch den geringsten Prozentrahmen.

Lediglich bei der Übung „Thread The Rings“ fällt eine Abweichung auf. Die Übung mit mittlerem Schwierigkeitsgrad hatte einen enger gelegten Prozentrahmen als beispielsweise „Match Board 1“, welche als Übung mit geringem Schwierigkeitsgrad eingesetzt wurde. Aber aufgrund der gesteigerten Komplexität, welche sich insbesondere im Übergeben der einzelnen Nadeln zwischen den Instrumenten äußerte, kann dennoch von einer Übung mittleren Schwierigkeitsgrads ausgegangen werden. Nach diesem Einordnungsschema liegt der Schwierigkeitsgrad der Abschlussübung „Energy Dissection 2“ zwischen dem der Übungen mit einfachem und mittlerem Schwierigkeitsgrad.

Die restlichen sogenannten Stilparameter hatten zwar für den durchschnittlichen Gesamtprozentwert interessanterweise den gleichen Stellenwert, besaßen aber nicht die gleiche alltägliche Relevanz wie die Effizienzparameter. Relevant war hier vor allem, dass diese relativ schnell erlernt und, da sie sich für die meisten Übungen nicht unterschieden, nachhaltig für jede kommende Übung erlernt werden konnten. Die Ergebnisse dieser bekannten Stilparameter bei „Energy Dissection 2“ waren überdurchschnittlich. Bei den bekannten Stilparametern, also nicht jenen, welche für die Abschlussaufgabe einmalig waren, erreichten alle drei Gruppen gute Ergebnisse. Das Ergebnis der ersten Gruppe war bei „Instrument Collisions“ mit 1,5 oder 70 % das einzige unterhalb der 80%-Grenze.

Hier stellt sich allerdings die Frage, ob bei diesen Ergebnissen davon ausgegangen werden kann, dass alle Gruppen nach der Absolvierung des Trainingsprogramms die Parameter universell erlernt hatten oder ob es vielmehr so war, dass diese eine wesentlich geringere Herausforderung in dieser Aufgabe darstellten. Wie relevant ist zum Beispiel der Parameter „Instrument Collisions“ in dieser Aufgabe, da es bei jener zu keinem Zeitpunkt notwendig war, etwas mit dem Instrument zu überreichen. Ähnliches gilt für „Excessive Instrument Force“: Ob es tatsächlich eine Herausforderung war, den Parameter für diese Übung gut zu bearbeiten, ist fraglich, schließlich musste nichts mit den Instrumenten bewegt oder gehalten werden.

Kritisch zu betrachten ist die Wertigkeit der einzelnen Parameter, also deren vom Hersteller mit Ausnahme von „Master Workspace Range“ vorgenommene Gleichsetzung. Der Sinn und die Relevanz der sogenannten Effizienzparameter leuchten ein. Sie sind relativ komplex und nicht einfach zu bewältigen. Aus diesem Grund wäre es denkbar, ihnen in der Berechnung des Gesamtprozentwerts eine größere Bedeutung zuzugestehen als den Stilparametern. Deren Bedeutung ist teilweise schwer nachzuvollziehen, insbesondere bei jenen Aufgaben, bei denen es eigentlich keinerlei Herausforderung darstell-

te, diesen Parameter gut zu bewältigen, weil die Aufgabenstruktur dort keine Schwierigkeit darstellte.

Es muss sicherlich diskutiert werden, ob sich eine Aufgabe mit dem *DVSS* als Abschlussaufgabe zum Vergleich der verschiedenen Trainingscurricula wirklich eignet, denn es ist immer noch eine simulatorbasierte Aufgabe. Für zukünftige Studien wäre es sinnvoll, Probanden eine tatsächliche Geschicklichkeitsaufgabe mit dem Operationsroboter bearbeiten zu lassen und diese mit einem eigenen Bewertungsschema zu versehen, um sich zu vergewissern, was diese Simulatorbewertungen in der Realität über die Bearbeitung einer Aufgabe aussagen. Hierbei müsste nicht unbedingt eine Aufgabe innerhalb einer realen Operation gewählt werden, lediglich die tatsächliche Bedienung des Operationsroboters wäre notwendig.

Bei der zweiten Abschlussübung handelte es sich ebenfalls um eine Aufgabe, welche die Probanden vor durchweg neue Herausforderungen stellte. Dies war die einzige Aufgabe der Studie, welche nicht nach Erreichen eines Erfolgs endete, sondern nach einem vorgegebenen Zeitrahmen (200 Sekunden) automatisch beendet war. Ziel war es hierbei, einen möglichst hohen Turm aus Holzwürfeln und Dominosteinen zu errichten und eine Schwierigkeit bestand darin, diesen nicht umstürzen zu lassen. Die Höhe des Turmes wurde direkt in einem Prozentwert, dessen Berechnung sich allerdings an seiner maximal möglichen Höhe orientierte, bewertet.

Diese Aufgabe schien eine große Herausforderung für die Probanden gewesen zu sein, denn keine Gruppe schaffte es annähernd, ein dem Hersteller ausreichendes Ergebnis zu erreichen. Gruppe 1 und 2 erreichten 28,40 % beziehungsweise 28,45 %, die dritte sogar nur 19,85 % mit einer Standardabweichung von 14,13. Hier zeigten sich statistisch signifikante Unterschiede zwischen den drei Gruppen. Die Ergebnisse von Gruppe 3 waren signifikant schlechter als die der beiden anderen Gruppen. Ob allerdings von diesem isolierten Ergebnis auf eine Unterlegenheit des Trainingscurriculums zu schließen ist, bleibt zu bezweifeln. Wahrscheinlich lag die Ursache des Ergebnisses vielmehr in der Aufgabenstruktur, die es möglich machte, den Turm umkippen zu lassen, was auch einigen Probanden passierte, woraufhin sie die Aufgabe mit deutlich niedrigeren Punkt- und Prozentwerten beendeten, als sie zwischenzeitlich erreicht hatten. In den meisten Fällen war die Zeit dann nicht mehr ausreichend, um einen neuen Turm errichten zu können und einige entschlossen sich aus Frustration über den erlittenen Punktverlust dagegen, den Turm wiederaufzubauen. Ob die Auswahl dieser Aufgabe als Abschlussaufgabe eine gute Wahl war, ist diskutabel, denn die Aussagekraft ist eingeschränkt, da

sich aus den Ergebnissen nicht ablesen lässt, bei welchen Probanden der Turm umgefallen ist. Außerdem erhebt der Simulator hier im Gegensatz zu allen anderen Aufgaben dieser Studie nur wenige Daten. Eine Verbesserung in bestimmten Parametern ließ sich nicht ablesen.

An dieser Stelle sei angemerkt, dass es ebenso für die Autorin der vorliegenden Studie relativ schwierig war herauszufinden, wie die maximale Höhe und Punktzahl bei dieser Aufgabe überhaupt erreicht werden konnte. Es war notwendig, die Dominosteine mit der kurzen Seite aufzustellen, sodass die längere Seite genutzt wurde, um eine bei ebenfalls hoher Instabilität möglichst hohe Höhe zu erreichen. Zu dieser Schlussfolgerung/Idee kam kein Proband beim ersten Versuch. Bei der Aufgabe wurde durch den Simulator nur ein einziger Parameter erhoben, was die Diskussionsmöglichkeiten weiter einschränkt. Insgesamt sind die Aussagekraft und Diskussionsmöglichkeiten dieser Ergebnisse sehr gering.

Nach Betrachtung und Diskussion der Ergebnisse ist davon auszugehen, dass die Resultate anscheinend nicht maßgeblich von der Auswahl der Übungen beeinflusst sind, wie bereits von Walliczek-Dworschak et al. beschrieben.[35] Stattdessen konnte nach einer weiteren Studie der Autoren postuliert werden, dass für gute Ergebnisse vielmehr die Anzahl der Wiederholungen ausschlaggebend zu sein scheint.[36]

Nach Bearbeitung der beiden Abschlussaufgaben füllten die Probanden den Fragebogen aus. In diesem wurde nach dem Konsum und der Frequenz von Computerspielen gefragt. Es sollte damit erhoben werden, ob zwischen besonders guten Ergebnissen am *DVSS* und dem Konsum von Computerspielen ein Zusammenhang besteht. Dies konnte jedoch nicht bestätigt werden. Es muss allerdings darauf hingewiesen werden, dass in anderen Studien bereits eine Korrelation zwischen dem Spielen von Computerspielen und gleichzeitigem Spielen eines Musikinstruments und guten Ergebnissen an einem Simulator für das Trainieren der roboterassistierten Chirurgie nachgewiesen werden konnte. In der Studie von Moglia et al.[40] zeigten sich besonders jene Probanden, welche sowohl am Computer als auch ein Instrument spielten, denen überlegen, welche keines oder nur eines von beidem spielten. In einer weiteren Studie konnte von Moglia et al. allerdings kein Zusammenhang zwischen Videospielen und guten Leistung am *DVSS* festgestellt werden.[41] Die musikalischen Fähigkeiten der Probanden wurden im Fragebogen dieser Studie nicht erfasst. Dies dürfte allerdings ein interessanter Aspekt für die vertiefende Forschung sein. Außerdem scheint es möglich, bei Computerspielen zwischen Computer-, Konsolen- oder Handyspielen zu unterscheiden. Gleiches könnte für

eine Unterscheidung verschiedener Musikinstrumente gelten. Eine genaue Differenzierung zwischen verschiedenen Computerspielen bestand in diesem Fragebogen nicht. Insgesamt sind die Fragen zu diesem Thema nur als grob orientierend zu werten. Harbin et al. stellten in ihrer Studie einen Zusammenhang zwischen Videospielen und den Ergebnissen am *DVSS* fest. Sie teilten ihre Probanden in drei Gruppen, nach der Stärke des jeweiligen Videospielkonsums, ein. Zwischen denen, welche häufig, und jenen, welche gar keine Videospiele konsumierten, stellte sich in den erreichten Ergebnissen am Simulator tatsächlich ein signifikanter Unterschied dar.[42] In der Studie von Shee et al. konnte allerdings kein signifikanter Unterschied zwischen Videospielen und guten Ergebnissen am *DVSS* nachgewiesen werden. Stattdessen zeigte sich eine Überlegenheit von jenen Probanden, welche Leistungssport in Sportarten wie Volleyball, Tennis und Basketball betrieben hatten. Im Verlauf der Studie relativierten sich diese Unterschiede allerdings, da sich jene Probanden, welche initial schlechtere Ergebnisse vorgewiesen hatten, im Verlauf der Studie deutlich verbesserten.[43]

Bestünden mit einzelnen Konsolen, bestimmten Spielen oder Instrumenten eindeutige Korrelationen, wären dies gute Möglichkeiten für Chirurgen mit Ambitionen in der roboterassistierten Chirurgie, sich unabhängig von der Simulatorkonsole motorisch fortzubilden und zu trainieren.

Meier et al. konnten in ihrer Studie nachweisen, dass laparoskopisch- sowie robotererfahrene Chirurgen jenen ohne Erfahrungen am *DVSS* überlegen waren. Auch schienen junge Chirurgen zunächst schneller zu lernen als ältere, allerdings zeigten sich diese Unterschiede nicht signifikant und konnten im Verlauf ausgeglichen werden. Alter und vorherige Erfahrungen scheinen also irrelevant zu sein, jeder kann mit dem Simulator an die roboterassistierte Chirurgie herangeführt werden.[44]

Übereinstimmend mit den Ergebnissen aus weiteren Studien, in denen die Augenschein- und Inhaltsvalidität des Simulators bestätigt wurden, sehen hier die meisten Probanden im Training am Simulator eine nützliche Möglichkeit zur Vorbereitung auf robotergestützte Eingriffe. 89,82 % der Probanden empfanden das Training am *DVSS* sinnvoll als Vorbereitung auf robotergestützte Eingriffe. Sogar 93,22 % der Befragten fänden es sinnvoll, das Training am *DVSS* als Vorbereitung für robotergestützte Eingriffe fortzusetzen. Nun ist die Aussagekraft für diese Studie sehr gering. Denn den Probanden der Studie, als Unerfahrene im Bereich der roboterassistierten Chirurgie, und insbesondere bei jenen, welche keinen medizinischen Hintergrund hatten, kann die Kompetenz zum Beantworten einer solchen Frage sicherlich abgesprochen werden. Außerdem war es

nicht Gegenstand dieser Studie herauszufinden, wie gut der Simulator auf die Realität vorbereitet.

Bei den Probanden dieser Studie konnten kaum negative körperliche Folgen des Trainings erfasst werden. Bei der Frage, ob sie nach den jeweils etwa 60-minütigen Trainingstagen Nackenschmerzen verspüren würden, gaben nur 8,47 % Nackenschmerzen und 20 % Schmerzen im Bereich des Nackens an. Bei Tergas et al. hatten nach vergleichbaren Trainingseinheiten 42 % der Probanden Handgelenks-, 16 % Rücken- und Nacken- und 11 % Kopfschmerzen beschrieben[25]. Beschrieben wurden diese konträren Antworten bereits von Walliczek et al.[35] Nun sind die Probanden dieser Studie relativ jung (33 Jahre ist das höchste Alter zum Zeitpunkt der Aufgabenbearbeitung) und dementsprechend belastbar im skeletomuskulären Bereich.

Insgesamt liegt eine Schwäche dieser Studie natürlich an der relativ geringen Gruppengröße. Außerdem wäre möglicherweise eine Aufgabe, die tatsächlich mit dem Operationsroboter zu bewältigen ist, aussagekräftiger gewesen. Es muss zudem an dieser Stelle angemerkt werden, dass nicht alle Übungen in dieser Studie Beachtung fanden, die der Hersteller dem Trainierenden zur Verfügung stellt. Es wäre außerdem eine Möglichkeit, für die Bewertung der Probanden in weiteren Studien ein eigenes Bewertungsschema zu entwickeln, mit welchem sich die interessanten und relevanten Faktoren besser herausarbeiten ließen. Denn eine Schwäche des Bewertungsschemas ist die Umrechnung der Parameter auf Prozentwerte. Diese Prozentwerte basieren auf Expertendaten, welche wiederum auf einem Niveau agieren, welches für unerfahrene Probanden nicht erreichbar ist. Bei diesem Prozentschema besteht die Möglichkeit, dass verschiedene Probanden zwar unterschiedliche Ergebnisse bei einem Parameter erreichen, dies aber vollkommen irrelevant für den Gesamtprozentwert ist, da sie jenseits der Prozentgrenzen liegen und somit entweder beide mit 100 oder 0 % bewertet werden. Die unterschiedlichen Ergebnisse haben in diesem Fall keine unterschiedlichen Auswirkungen auf den erreichten Gesamtprozentwert, dadurch wird der Gesamtprozentwert stark verfälscht. Ein ebenfalls unerwünschter Effekt tritt durch die gleichbleibende rechnerische Relevanz mancher Parameter ein, wenn sie gleichzeitig in der Bearbeitung der Aufgabe kaum eine Rolle spielen. In manchen Aufgaben, etwa in jenen, in denen ein Gegenstand zwischen zwei Instrumenten übergeben werden musste, spielte z. B. der Parameter „Instrument Collisions“ eine große Rolle und es kann schwieriger sein, hier ein gutes Ergebnis zu erreichen. Bei anderen Aufgaben konnte dies keine Schwierigkeit darstellen und somit bekamen jene Probanden eine gute Teilbewertung ohne Aufwand. Diese Be-

wertung hatte aber in beiden Fällen die gleiche rechnerische Relevanz für das Gesamtergebnis.

In der Gesamtschau der Studie scheint sich im Kontext anderer zu diesem Thema veröffentlichter Arbeiten herauszustellen, dass die Auswahl bestimmter Übungen am *DVSS* keinen entscheidenden Stellenwert für die Entwicklung eines einheitlichen Trainingscurriculums haben wird. Viel wichtiger scheint es zu sein, kontinuierlich zu trainieren, aber auch andere Trainingsmöglichkeiten in die Ausbildung zu integrieren. Bei der Ausbildung von Chirurgen verschiedener Fachrichtungen scheint es daher sinnvoll zu sein, für die jeweilige Fachrichtung und die damit einhergehenden Eingriffe gesonderte Übungen zu entwickeln und zu trainieren, wobei die Übungen nicht ausschließlich simulatorbasiert sein müssen. Die simulatorbasierten Übungen könnten aber eine gute Basis für Chirurgen aller Fachrichtungen bilden. Für eine weitergehende Ausbildung könnten und sollten individuelle eingriffsspezifische Übungen folgen. Eine gute Ausbildung für Eingriffe am Operationsroboter ist essenziell, um die erreichten Ergebnisse zu verbessern und den relativ hohen Aufwand, zeitlich wie finanziell, welcher hinter den entsprechenden Eingriffen steht, zu rechtfertigen. Wie Morelli et al. bereits beschrieben, sinken die Kosten der roboterassistierten Eingriffe mit einer ausreichenden Erfahrung des Operateurs.[49] Eine gute Ausbildung kann hier einen lohnenden Grundstein legen.

5. Zusammenfassung

Die moderne Medizin unterliegt einem ständigen Wandel. Um mit diesem mithalten zu können, ist es absolut notwendig, die Lehrpläne und -methoden der verschiedenen Fachdisziplinen ständig anzupassen und zu verändern.

Roboterassistierte Chirurgie wurde erst vor kurzer Zeit als eine vollwertige Operationsmethode in verschiedenen chirurgischen Disziplinen zugelassen. Seitdem gibt es eine steigende Anzahl von Operationen, welche mit dieser Methode durchgeführt werden. Dies stellt Krankenhäuser und Chirurgen vor die Frage, wie man sich auf jene Eingriffe als Operateur vorbereiten soll und inwiefern man Chirurgen hierfür ausbilden kann. Denn die Methoden und damit die Fähigkeiten, welche ein Chirurg hierfür aufweisen muss, unterscheiden sich von allen bis dato angewandten Operationsmethoden deutlich.

Die vorliegende Studie analysiert verschiedene Trainingsprogramme für die roboterassistierte Chirurgie, um einen Beitrag zur Etablierung eines universellen Trainingsprogramms für dies zu leisten. Zum Erlernen der roboterassistierten Chirurgie hat die Firma Intuitive Surgical, welche ebenfalls den am häufigsten benutzen Operationsroboter, das *Da-Vinci-System*, produziert, in Kooperation mit Mimic Technologies den *Da-Vinci-Skills-Simulator (DVSS)* auf den Markt gebracht. Der Simulator kann mit der Konsole des tatsächlichen Operationsroboters kombiniert werden, jedoch produziert er hier ein animiertes Bild.

Der Simulator enthält bereits eine Vielfalt an verschiedenen Übungen mit verschiedenen Schwerpunkten. Während des Bearbeitens jeder Übung misst er bestimmte Parameter. Die erhobenen Daten werden nach dem Beenden jeder Übung dem Probanden präsentiert und aus den Ergebnissen wird ein Gesamtergebnis berechnet. Für die vorliegende Studie wurden diese Daten dokumentiert. Die erhobenen Parameter waren: „Time To Complete Exercise“, „Economy Of Motion“, „Instrument Collisions“, „Excessive Instrument Force“, „Instruments Out Of View“, „Master Workspace Range“, „Drops“ sowie bei bestimmten Übungen, welche von der zweiten Gruppe bearbeitet wurden, „Needle Targeting“ und „Missed Targets“. Für die Abschlussaufgabe namens „Energy Dissection 2“ erhob der Simulator noch die Parameter „Misapplied Energy Time“, „Blood Loss Volume“ und „Broken Vessels“.

Für die vorliegende Studie sind 60 Probanden rekrutiert worden, welche in drei Gruppen mit jeweils 20 Teilnehmern eingeteilt wurden. Jede Gruppe bearbeitete ein anderes Trainingsprogramm mit jeweils drei unterschiedlichen Aufgaben aus unterschiedlichen

Schwierigkeitsstufen. In jeder Sitzung wurden alle drei Übungen jeweils drei Mal bearbeitet. Es gab zwei Sitzungen, die zweite fand etwa eine Woche nach der ersten statt. Nach Beendigung der zweiten Trainingssitzung bearbeiteten alle Probanden zwei Abschlussaufgaben, diese waren für alle drei Gruppen identisch. Die Abschlussaufgaben wurden nur einmal bearbeitet. Die Ergebnisse der jeweiligen Trainingseinheiten sowie der Abschlussaufgaben wurden dokumentiert und zwischen den Gruppen verglichen, um mögliche Unterschiede im Trainingseffekt der verschiedenen Übungen zu identifizieren.

Für alle Gruppen konnte eine signifikante Verbesserung im Laufe des Trainings dokumentiert werden. Im Ergebnis der verschiedenen Gruppen bei den Abschlussaufgaben gab es keinen signifikanten Unterschied zwischen den einzelnen Gruppen. Dies lässt schlussfolgern, dass das Training am Simulator zwar sinnvoll sein mag, aber es scheint hierbei nur eine untergeordnete Rolle zu spielen, welche Übungen bearbeitet werden.

6. Abstract

Modern Medicine is in a constant process of change. In order to keep up with these changes it is necessary to update the teaching curricula and methods within all medical disciplines.

Robotic assisted surgery has recently been added as a validated operating method to many surgical disciplines. The increasing number of surgeries conducted with robotic assistance presents surgeons and hospitals with the question on how to properly prepare for these kinds of operations, as they require different skills than surgeries without robotic assistance.

This study aims to analyse three different training curricula for their outcome, in order to contribute to the establishment of a universal training curriculum. For training purposes the company Intuitive Surgical, which manufactures one of the commonly used robotic machines, the *da Vinci Surgical System*, has, in cooperation with Mimic Technologies, produced the *da Vinci Skills Simulator (DVSS)*. This simulator is combined with the console of the actual machine used for operating with this system but uses animated pictures. The simulator includes a variety of different exercises with different focuses. While working on each exercise the simulator collects data from the participant for different metrics. These metrics are presented to each participant after finishing each exercise. From these metrics an overall score is calculated. For this study the results of each parameter and the overall score are recorded. The parameters recorded are „Time To Complete Exercise“, „Economy Of Motion“, „Instrument Collisions“, „Excessive Instrument Force“, „Instruments Out Of View“, „Master Workspace Range“, „Drops“ as well for certain exercise only conducted by the first group „Needle Targeting“ and „Missed Targets“. For the final task called „Energy Dissection 2“ the simulator also collects data for „Misapplied Energy Time“ „Blood Loss Volume“ and „Broken Vessels“.

For this study 60 people are recruited and divided into three groups with 20 people each. Each group completed has a different training program each includes three exercises with different levels of difficulty. Each training session involves performing each exercise three times. The second training session is terminated about one week after the first training session. At the end of the second training session each participant performs two final tasks. These tasks are the same for all participants and are only performed once. The results for all parameters and the overall result are documented and compared

between the groups in order to discover a difference in outcome between the groups and their respective training-curricula.

For all groups a significant skill gain within all parameters is recorded. Regarding the final exercises there is no significant difference between the groups to be recorded, which leaves the conclusion that, as training with the simulator may be an effective tool to gain skills within the field of robotic surgery the selection of exercises does not seem to be that relevant for better results.

Literaturverzeichnis

1. Intuitive Surgical Inc., Investors, Investor FAQ, http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=122359&p=irol-faq#31628, abgerufen am 31.01.2016.
2. Intuitive Surgical Inc., Company – FAQs – Frequently Asked Questions, Volume 2017, https://www.intuitivesurgical.com/company/faqs.php, abgerufen am 31.01.2016.
3. Intuitive Surgical Inc., Company – Indications for Use, https://www.intuitivesurgical.com/company/indications-for-use.html, abgerufen am 01.02.2017.
4. Lee, W. J., Chan, C. P., Wang, B. Y. Recent advances in laparoscopic surgery. Asian J Endosc Surg 2013; 6: 1–8.
5. Baek, S. J., Kim, S. H. Robotics in general surgery: an evidence-based review. Asian J Endosc Surg 2014; 7: 117–23.
6. Jung, M., Morel, P., Buehler, L. et al. Robotic general surgery: current practice, evidence, and perspective. Langenbecks Arch Surg 2015; 400: 283–92.
7. Barbash, G. I., Glied, S.A. New Technology and Health Care Costs – The Case of Robot-Assisted Surgery. New England Journal of Medicine 2010; 363: 701–704.
8. Intuitive Surgical Inc., Clinical Evidence, https://www.intuitivesurgical.com/company/clinical-evidence, abgerufen am 01.02.2017.
9. www.surgicalwach.com, „Da Vinci Robot Lawsuit“, http://surgicalwatch.com/davinci-robot/lawsuit, abgerufen am 01.02.2017.
10. Kowalewski, K. F., Schmidt, M. W., Proctor, T. et al. Skills in minimally invasive and open surgery show limited transferability to robotic surgery: results from a prospective study. Surg Endosc 2018; 32: 1656–1667.
11. Mimic Technologies: Inside dv-Trainer – Partnership with Intuitive Surgical, http://www.mimicsimulation.com/company/newsroom/intuitive-surgical, abgerufen am 03.02.2017.
12. Intuitive Surgical Inc., Exercise List – Modules on the da Vinci Skills Simulator. http://www.intuitivesurgical.com/products/skills_simulator, abgerufen am 21.06.2016.
13. Aghazadeh, M. A., Mercado, M. A., Pan, M. M. et al. Performance of robotic simulated skills tasks is positively associated with clinical robotic surgical performance. BJU Int 2016; 118: 475–81.

14. Bric, J., Connolly, M., Kastenmeier, A. et al. Proficiency training on a virtual reality robotic surgical skills curriculum. Surg Endosc 2014; 28: 3343–8.
15. Alzahrani, T., Haddad, R., Alkhayal, A. et al. Validation of the da Vinci Surgical Skill Simulator across three surgical disciplines: A pilot study. Can Urol Assoc J 2013; 7: E520–9.
16. Abboudi, H., Khan, M. S., Aboumarzouk, O. et al. Current status of validation for robotic surgery simulators – a systematic review. BJU Int 2013; 111: 194–205.
17. Hung, A. J., Jayaratna, I. S., Teruya, K. et al. Comparative assessment of three standardized robotic surgery training methods. BJU Int 2013; 112: 864–71.
18. Hung, A. J., Zehnder, P., Patil, M. B. et al. Face, content and construct validity of a novel robotic surgery simulator. J Urol 2011; 186: 1019–24.
19. Lee, J. Y., Mucksavage, P., Kerbl, D. C. et al. Validation study of a virtual reality robotic simulator-role as an assessment tool? J Urol 2012; 187: 998–1002.
20. Ramos, P., Montez, J., Tripp, A. et al. Face, content, construct and concurrent validity of dry laboratory exercises for robotic training using a global assessment tool. BJU Int 2014; 113: 836–42.
21. Patel, A., Patel, M., Lytle, N. et al. Can we become better robot surgeons through simulator practice? Surg Endosc 2014; 28: 847–53.
22. Goh, A. C., Goldfarb, D. W., Sander, J. C. et al. Global evaluative assessment of robotic skills: validation of a clinical assessment tool to measure robotic surgical skills. J Urol 2012; 187: 247–52.
23. Hung, A. J., Patil, M. B., Zehnder, P. et al. Concurrent and predictive validation of a novel robotic surgery simulator: a prospective, randomized study. J Urol 2012; 187: 630–7.
24. Mimic Technologies Inc, Mimic Technologies Blog, „Things to Consider When Looking for a Robotic Surgery Simulator“, Juni 2016, http://www.mimicsimulation.com/2016/06/things-to-consider-when-looking-for-a-robotic-surgical-simulator, abgerufen am 03.02.2017.
25. Tergas, A. I., Sheth, S. B., Green, I. C. et al. A pilot study of surgical training using a virtual robotic surgery simulator. Jsls 2013; 17: 219–26.
26. Hertz, A. M., George, E. I., Vaccaro, C. M. et al. Head-to-Head Comparison of Three Virtual-Reality Robotic Surgery Simulators. Jsls 2018; 22.

27. Brown, K., Mosley, N., Tierney, J. Battle of the bots: a comparison of the standard da Vinci and the da Vinci Surgical Skills Simulator in surgical skills acquisition. J Robot Surg 2017; 11: 159–162.
28. Sun, A. J., Aron, M., Hung, A. J. Novel training methods for robotic surgery. Indian J Urol 2014; 30: 333–8.
29. Mehta, A., Patel, S., Robison, W. et al. Can teenage novel users perform as well as General Surgery residents upon initial exposure to a robotic surgical system simulator? J Robot Surg 2018; 12: 165–171.
30. Rajanbabu, A., Drudi, L., Lau, S. et al. Virtual reality surgical simulators – a prerequisite for robotic surgery. Indian J Surg Oncol 2014; 5: 125–7.
31. Mimic Technologies Inc, Mimic Technologies Blog, Simmonds, C. „What's in a Score (and What is the Data Telling You)", http://www.mimicsimulation.com/2016/02/whats-in-a-score-and-what-is-the-data-telling-you, Feb. 2016, abgerufen am 21.03.2016.
32. Mimic Technologies Inc. MScore/MShare Brochure – Proficiency based scoring and curriculum sharing, „Measure proficiency, exchange expertise". http://www.mimicsimulation.com/resources, 2013, abgerufen 21.03.2016.
33. Volpe, A., Ahmed, K., Dasgupta, P. et al. Pilot Validation Study of the European Association of Urology Robotic Training Curriculum. Eur Urol 2015; 68: 292–9.
34. Kumar, A., Smith, R., Patel, V. R. Current status of robotic simulators in acquisition of robotic surgical skills. Curr Opin Urol 2015; 25: 168–74.
35. Walliczek-Dworschak, U., Schmitt, M., Dworschak, P. et al. The effect of different training exercises on the performance outcome on the da Vinci Skills Simulator. Surg Endosc 2016.
36. Walliczek, U., Fortsch, A., Dworschak, P. et al. Effect of training frequency on the learning curve on the da Vinci Skills Simulator. Head Neck 2016; 38 Suppl 1: E1762–9.
37. Gomez, P. P., Willis, R. E., Van Sickle, K. R. Development of a virtual reality robotic surgical curriculum using the da Vinci Si surgical system. Surg Endosc 2015; 29: 2171–9.
38. Guldner, C., Orth, A., Dworschak, P. et al. Evaluation of different time schedules in training with the Da Vinci simulator. Surg Endosc 2017.

39. Kang, S. G., Ryu, B. J., Yang, K. S. et al. An effective repetitive training schedule to achieve skill proficiency using a novel robotic virtual reality simulator. J Surg Educ 2015; 72: 369–76.
40. Moglia, A., Perrone, V., Ferrari, V. et al. Influence of videogames and musical instruments on performances at a simulator for robotic surgery. Minim Invasive Ther Allied Technol 2016: 1–6.
41. Moglia, A., Ferrari, V., Morelli, L. et al. Distribution of innate ability for surgery amongst medical students assessed by an advanced virtual reality surgical simulator. Surg Endosc 2014; 28: 1830–7.
42. Harbin, A. C., Nadhan, K. S., Mooney, J. H. et al. Prior video game utilization is associated with improved performance on a robotic skills simulator. J Robot Surg 2016.
43. Shee, K., Ghali, F. M., Hyams, E. S. Practice Makes Perfect: Correlations Between Prior Experience in High-level Athletics and Robotic Surgical Performance Do Not Persist After Task Repetition. J Surg Educ 2017.
44. Meier, M., Horton, K., John, H. Da Vinci© Skills Simulator™: is an early selection of talented console surgeons possible? J Robot Surg 2016; 10: 289–296.
45. Calatayud, D., Arora, S., Aggarwal, R. et al. Warm-up in a virtual reality environment improves performance in the operating room. Ann Surg 2010; 251: 1181–5.
46. Kahol, K., Satava, R. M., Ferrara, J. et al. Effect of short-term pretrial practice on surgical proficiency in simulated environments: a randomized trial of the „preoperative warm-up“ effect. J Am Coll Surg 2009; 208: 255–68.
47. Lendvay, T. S., Brand, T. C., White, L. et al. Virtual reality robotic surgery warm-up improves task performance in a dry laboratory environment: a prospective randomized controlled study. J Am Coll Surg 2013; 216: 1181–92.
48. Angell, J., Gomez, M. S., Baig, M. M. et al. Contribution of laparoscopic training to robotic proficiency. J Endourol 2013; 27: 1027–31.
49. Morelli, L., Di Franco, G., Lorenzoni, V. et al. Structured cost analysis of robotic TME resection for rectal cancer: a comparison between the da Vinci Si and Xi in a single surgeon’s experience. Surg Endosc 2018.

Literaturverzeichnis – alphabetisch

16. Abboudi, H., Khan, M. S., Aboumarzouk, O. et al. Current status of validation for robotic surgery simulators – a systematic review. BJU Int 2013; 111: 194–205.

13. Aghazadeh, M. A., Mercado, M. A., Pan, M. M., et al. Performance of robotic simulated skills tasks is positively associated with clinical robotic surgical performance. BJU Int 2016; 118: 475–81.

15. Alzahrani, T., Haddad, R., Alkhayal, A. et al. Validation of the da Vinci Surgical Skill Simulator across three surgical disciplines: A pilot study. Can Urol Assoc J 2013; 7: E520–9.

48. Angell, J., Gomez, M. S., Baig, M. M. et al. Contribution of laparoscopic training to robotic proficiency. J Endourol 2013; 27: 1027–31.

5. Baek, S. J., Kim, S. H. Robotics in general surgery: an evidence-based review. Asian J Endosc Surg 2014; 7: 117–23.

7. Barbash, G. I., Glied, S. A. New Technology and Health Care Costs – The Case of Robot-Assisted Surgery. New England Journal of Medicine 2010; 363: 701–704.

14. Bric, J., Connolly, M., Kastenmeier, A. et al. Proficiency training on a virtual reality robotic surgical skills curriculum. Surg Endosc 2014; 28: 3343–8.

27. Brown, K., Mosley, N., Tierney, J. Battle of the bots: a comparison of the standard da Vinci and the da Vinci Surgical Skills Simulator in surgical skills acquisition. J Robot Surg 2017; 11: 159–162.

45. Calatayud, D., Arora, S., Aggarwal, R. et al. Warm-up in a virtual reality environment improves performance in the operating room. Ann Surg 2010; 251: 1181–5.

22. Goh, A. C., Goldfarb, D. W., Sander, J. C. et al. Global evaluative assessment of robotic skills: validation of a clinical assessment tool to measure robotic surgical skills. J Urol 2012; 187: 247–52.

37. Gomez, P. P., Willis, R. E., Van Sickle, K. R. Development of a virtual reality robotic surgical curriculum using the da Vinci Si surgical system. Surg Endosc 2015; 29: 2171–9.

38. Guldner, C., Orth, A., Dworschak, P. et al. Evaluation of different time schedules in training with the Da Vinci simulator. Surg Endosc 2017.

42. Harbin, A. C., Nadhan, K. S., Mooney, J. H. et al. Prior video game utilization is associated with improved performance on a robotic skills simulator. J Robot Surg 2016.

26. Hertz, A. M., George, E. I., Vaccaro, C. M. et al. Head-to-Head Comparison of Three Virtual-Reality Robotic Surgery Simulators. Jsls 2018; 22.

17. Hung, A. J., Jayaratna, I. S., Teruya, K. et al. Comparative assessment of three standardized robotic surgery training methods. BJU Int 2013; 112: 864–71.

23. Hung, A. J., Patil, M. B., Zehnder, P. et al. Concurrent and predictive validation of a novel robotic surgery simulator: a prospective, randomized study. J Urol 2012; 187: 630–7.

18. Hung, A. J., Zehnder, P., Patil, M. B. et al. Face, content and construct validity of a novel robotic surgery simulator. J Urol 2011; 186: 1019–24.

1. Intuitive Surgical Inc., Investors, Investor FAQ, http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=122359&p=irol-faq#31628, abgerufen am 31.01.2016.

12. Intuitive Surgical Inc., Exercise List – Modules on the da Vinci Skills Simulator. http://www.intuitivesurgical.com/products/skills_simulator, abgerufen am 21.06.2016.

2. Intuitive Surgical Inc., Company – FAQs – Frequently Asked Questions, Volume 2017, https://www.intuitivesurgical.com/company/faqs.php, abgerufen am 31.01.2016.

8. Intuitive Surgical Inc., Clinical Evidence, https://www.intuitivesurgical.com/company/clinical-evidence, abgerufen am 01.02.2017.

3. Intuitive Surgical Inc., Company – Indications for Use, https://www.intuitivesurgical.com/company/indications-for-use.html, abgerufen am 01.02.2017.

6. Jung, M., Morel, P., Buehler, L. et al. Robotic general surgery: current practice, evidence, and perspective. Langenbecks Arch Surg 2015; 400: 283–92.

46. Kahol, K., Satava, R. M., Ferrara, J. et al. Effect of short-term pretrial practice on surgical proficiency in simulated environments: a randomized trial of the „preoperative warm-up“ effect. J Am Coll Surg 2009; 208: 255–68.

39. Kang, S. G., Ryu, B. J., Yang, K. S. et al. An effective repetitive training schedule to achieve skill proficiency using a novel robotic virtual reality simulator. J Surg Educ 2015; 72: 369–76.

10. Kowalewski, K. F., Schmidt, M. W., Proctor, T. et al. Skills in minimally invasive and open surgery show limited transferability to robotic surgery: results from a prospective study. Surg Endosc 2018; 32: 1656–1667.

34. Kumar, A., Smith, R., Patel, V. R. Current status of robotic simulators in acquisition of robotic surgical skills. Curr Opin Urol 2015; 25: 168–74.

47. Lendvay, T. S., Brand, T. C., White, L. et al. Virtual reality robotic surgery warm-up improves task performance in a dry laboratory environment: a prospective randomized controlled study. J Am Coll Surg 2013; 216: 1181–92.

4. Lee, W. J., Chan, C. P., Wang, B. Y. Recent advances in laparoscopic surgery. Asian J Endosc Surg 2013; 6: 1–8.

19. Lee, J. Y., Mucksavage, P., Kerbl, D. C. et al. Validation study of a virtual reality robotic simulator-role as an assessment tool? J Urol 2012; 187: 998–1002.

29. Mehta, A., Patel, S., Robison, W. et al. Can teenage novel users perform as well as General Surgery residents upon initial exposure to a robotic surgical system simulator? J Robot Surg 2018; 12: 165–171.

44. Meier, M., Horton, K., John, H. Da Vinci© Skills Simulator™: is an early selection of talented console surgeons possible? J Robot Surg 2016; 10: 289–296.

11. Mimic Technologies: Inside dv-Trainer – Partnership with Intuitive Surgical, http://www.mimicsimulation.com/company/newsroom/intuitive-surgical, abgerufen am 03.02.2017.

24. Mimic Technologies Inc, Mimic Technologies Blog, „Things to Consider When Looking for a Robotic Surgery Simulator“, Juni 2016, http://www.mimicsimulation.com/2016/06/things-to-consider-when-looking-for-a-robotic-surgical-simulator, abgerufen am 03.02.2017.

31. Mimic Technologies Inc, Mimic Technologies Blog, Simmonds, C. „What’s in a Score (and What is the Data Telling You)“, http://www.mimicsimulation.com/2016/02/whats-in-a-score-and-what-is-the-data-telling-you, Feb. 2016, abgerufen am 21.03.2016.

32. Mimic Technologies inc. MScore/MShare Brochure – Proficiency based scoring and curriculum sharing, „Measure proficiency, exchange expertise“. http://www.mimicsimulation.com/resources, 2013, abgerufen am 21.03.2016.

41. Moglia, A., Ferrari, V., Morelli, L. et al. Distribution of innate ability for surgery amongst medical students assessed by an advanced virtual reality surgical simulator. Surg Endosc 2014; 28: 1830–7.

40. Moglia, A., Perrone, V., Ferrari, V. et al. Influence of videogames and musical instruments on performances at a simulator for robotic surgery. Minim Invasive Ther Allied Technol 2016: 1–6.

49. Morelli, L., Di Franco, G., Lorenzoni, V. et al. Structured cost analysis of robotic TME resection for rectal cancer: a comparison between the da Vinci Si and Xi in a single surgeon's experience. Surg Endosc 2018.

21. Patel, A., Patel, M., Lytle, N. et al. Can we become better robot surgeons through simulator practice? Surg Endosc 2014; 28: 847–53.

30. Rajanbabu, A., Drudi, L., Lau, S. et al. Virtual reality surgical simulators – a prerequisite for robotic surgery. Indian J Surg Oncol 2014; 5: 125–7.

20. Ramos, P., Montez, J., Tripp, A. et al. Face, content, construct and concurrent validity of dry laboratory exercises for robotic training using a global assessment tool. BJU Int 2014; 113: 836–42.

43. Shee, K., Ghali, F. M., Hyams, E. S. Practice Makes Perfect: Correlations Between Prior Experience in High-level Athletics and Robotic Surgical Performance Do Not Persist After Task Repetition. J Surg Educ 2017.

28. Sun, A. J., Aron, M., Hung, A. J. Novel training methods for robotic surgery. Indian J Urol 2014; 30: 333–8.

25. Tergas, A. I., Sheth, S. B., Green, I. C. et al. A pilot study of surgical training using a virtual robotic surgery simulator. Jsls 2013; 17: 219–26.

33. Volpe, A., Ahmed, K., Dasgupta, P. et al. Pilot Validation Study of the European Association of Urology Robotic Training Curriculum. Eur Urol 2015; 68: 292–9.

36. Walliczek, U., Fortsch, A., Dworschak, P. et al. Effect of training frequency on the learning curve on the da Vinci Skills Simulator. Head Neck 2016; 38 Suppl 1: E1762–9.

35. Walliczek-Dworschak, U., Schmitt, M., Dworschak, P. et al. The effect of different training exercises on the performance outcome on the da Vinci Skills Simulator. Surg Endosc 2016.

9. www.surgicalwach.com, „Da Vinci Robot Lawsuit", http://surgicalwatch.com/davinci-robot/lawsuit, abgerufen am 01.02.2017.

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
Tab.	Tabelle
DVSS	Da-Vinci-Skills-Simulator
Wdh.	Wiederholung
sd	Standardabweichung
et al.	et alii, et aliae, at alia
s. o.	siehe oben

Anhang

Modules on the *da Vinci*™ Skills Simulator™

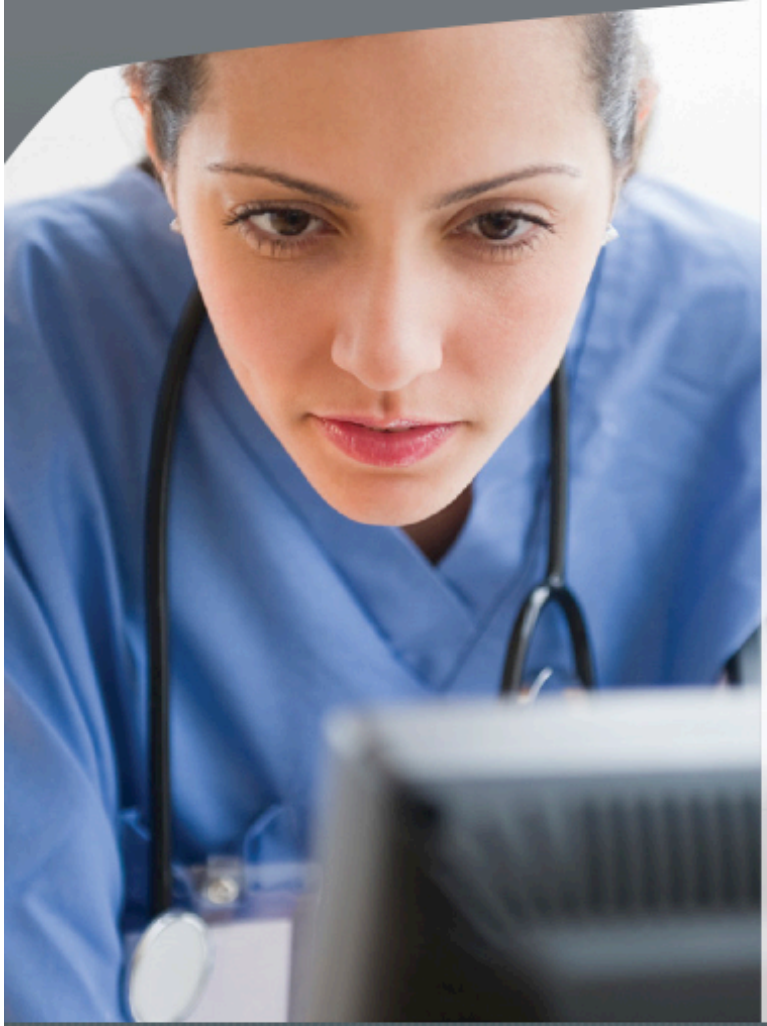
The *da Vinci* Skills Simulator comes with a set of exercises—developed in collaboration with *Mimic*® Technologies—that range from basic to advanced and that are designed to be relevant to surgeons from any specialty.

Skills Focus ●= primary ⊙= additional	System Settings and Controls	Endowrist Manipulation	Camera Control	Clutching	Dissection	Energy Control	Fourth Arm Control	Needle Control	Needle Driving – Basic	Needle Driving - Advanced
Simulation Exercises										
Camera Targeting – Level 1			●							
Camera Targeting – Level 2			●	⊙						
Dots and Needles – Level 1		⊙						⊙	●	
Dots and Needles – Level 2		⊙						⊙		●
Energy Dissection – Level 1		⊙			⊙	●				
Energy Dissection – Level 2		⊙			⊙	●				
Energy Switching – Level 1			⊙	⊙		●				
Energy Switching – Level 2			⊙	⊙		●				
Falling Dominoes		●	⊙	⊙						
Matchboard – Level 1		●								
Matchboard – Level 2		●		⊙						
Matchboard – Level 3		⊙	⊙	⊙			●			
Needle Targeting		⊙						●		
Overview of Controls	●	⊙								
Peg Board – Level 1		●								
Peg Board – Level 2		●	⊙	⊙						
Pick and Place		●								
Playground		⊙	⊙	⊙			●	⊙		
Ring and Rail – Level 1		●	⊙							
Ring and Rail – Level 2		●	⊙	⊙						
Ring Walk – Level 1		●	⊙							
Ring Walk – Level 2		●	⊙							
Ring Walk – Level 3		⊙	⊙	⊙			●			
Scaling	●			⊙						
Stacking Challenge		●		⊙						
Suture Sponge – Level 1		⊙						⊙	●	
Suture Sponge – Level 2		⊙	⊙					⊙	●	
Suture Sponge – Level 3		⊙	⊙					⊙		●
Thread the Rings		⊙	⊙					●		
Tubes		⊙	⊙	⊙				⊙		●
Quiz Exercises										
Ergonomics	●									
Error Messages	●									
Understanding Icons	●									

Anhang 1: „Modules on the da Vinci Skills Simulator“, heruntergeladen am 21. März 2016 von: https://www.intuitivesurgical.com/products/skills_simulator.

Measure proficiency, exchange expertise

Tying it all together with Mimic performance evaluation and curriculum sharing



dV-Trainer® robotic surgery simulation

MScore™

- Performance evaluation and skills assessment

MShare™

- Online curriculum sharing

mimic®

Objective skills assessment is a crucial component for robotic surgeon training.

Built in to the dV-Trainer, MScore is the only true proficiency-based scoring system for robotic surgery simulation skills development, factoring in comprehensive metrics and experienced surgeon data.

And what if you could take MScore further? What if you could easily draw upon the expertise and experience of thought leaders beyond your facility?

MShare makes it possible. It's an online portal for collaboration and accessing validated simulation curricula from leading institutions.

Reinforcing each other, MScore and MShare provide dV-Trainer users an unprecedented combination of a performance evaluation with the ability to share best practices.

MScore™

Measure proficiency with advanced metrics and experienced surgeon data

Featuring data collected from more than 100 experienced surgeons that have each completed 75 or more robotic cases, MScore assessment is based on expert mean and standard deviation data (similar to the FLS™ protocol*) to facilitate credentialing and privileging.

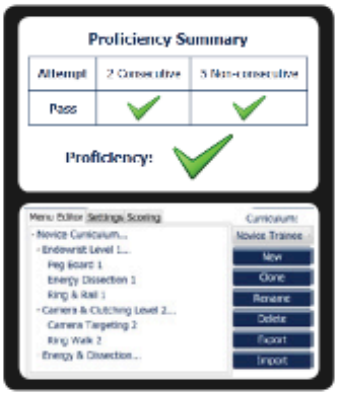
With MScore, you can build your own training protocols from more than 50 exercises and assign different curricula to each user.

Assess surgeons, analyze performance

- Customize scoring to emphasize important curriculum metrics for new users, surgical warm-up, and skills retention
- Establish your own credentialing and privileging program for improved patient care

Efficient administration and workflow

- Easy to use tools for course creation and management
- Track the learning history for each exercise and metric
- Export data to Excel for further analysis and archiving



Detailed surgical skills assessment

MScore provides comprehensive metrics on the following criteria for exercises performed on the dV-Trainer:

- Time to completion
- Economy of motion
- Instrument collisions
- Number of drops
- Missed targets
- Instruments out of view
- Master workspace range
- Blood loss
- Broken vessels
- Excessive instrument force
- Misapplied energy
- Overall score

MShare™

Join a virtual community of thought leaders

Ready to expand the power of MScore?

MShare makes it easy to share or find the most effective and highly-rated curricula for robotic surgery skills training. Simply choose your area of interest, create a profile, and start collaborating with surgeons and hospital administrators worldwide.

Choose your curriculum type:

- General training
- Surgical warm-up
- Skills retention
- Privileging and credentialing
- Competition

MShare opens up mindshare from "the best of the best." It's an invaluable way to help you develop simulation and training protocols that best meet the needs of your personnel and clinical settings.

- Download validated curricula for use on dV-Trainer
- Discover new training methods and protocols
- View data most highly rated by MShare collaborators

In turn, MShare is your forum to share and discuss breakthrough approaches that have proved successful for surgeons in training.

- Upload and share validated curricula
- Collaborate with industry leaders and educators
- Rate and comment on protocols and best practices

To register for MShare, go to www.MimicSimulation.com/MShare

Anhang 3: „Measure proficiency, exchange expertise“, heruntergeladen am 21.03.2016 von: http://www.mimicsimulation.com/resources.

Verzeichnis der akademischen Lehrer:

Adamkiewicz, Dr.
Arenz, Dr.
Arndt, Dr.
Baranovski, Dr.
Baranovski, Prof. Dr.
Bartsch, Prof. Dr.
Baum, Prof. Dr.
Becker, Prof. Dr.
Bepler, Dr.
Berger, Prof. Dr.
Bertoune, Dr.
Berwanger, Dr.
Best, PD Dr.
Bette,Dr.
Bien, Prof. Dr.
Brehm, Prof. Dr.
Brödje
Burchert, Prof. Dr.
Carl, Dr.
Cetin, Prof. Dr.
Czubayko, Prof. Dr.
Dannlowski, Prof. Dr. Dr.
Decher, Prof. Dr.
Del Rey, Prof. Dr.
Donner-Banzhoff, Prof. Dr.
Dr. Mueller, Prof. Dr.
Eckhardt, Dr.
Efe, Dr.
Eickmann, Dr.
Engenhart-Cabillic, Prof. Dr.
Fendrich, Prof. Dr.
Feuser, Dr.
Fritz, PD Dr.
Fuchs-Winkelmann, Prof. Dr.
Galambos, Dr.
Garn, PD Dr.
Götze, Dr.
Gress, Prof. Dr.
Grezschik, Prof. Dr.
Grosse, Prof. Dr.
Grundmann, Dr.
Haberhausen, Dr.
Helwig-Rolig, Dr.
Hertl, Prof. Dr.
Herz, Prof. Dr.
Heyse, Dr.
Höffken, PD Dr.
Hofmann, Prof. Dr.
Hoyer, Prof. Dr.
Hundt, Prof. Dr.
Jerrentrup, Dr.
Josephs, Dr.
Kann, Prof. Dr. Dr.
Kappus, Dr.
Kerwat, Dr.
Kill, Prof. Dr.
Kinscherf, Prof. Dr.
Kircher, Prof. Dr.
Knipper, PD Dr.
König, Prof. Dr.
Konrad, Prof. Dr.
Koolmann, Prof. Dr.
Krones, Dr.
Kruse, Prof. Dr.
Lill, Prof. Dr.
Lohoff, Prof. Dr.
Mahnken, Prof. Dr.
Maier, Prof. Dr.
Maisner, Prof. Dr.
Moll, Prof. Dr.
Möller, PD Dr.
Müller, Prof. Dr.
Mutters, Prof. Dr.
Neubauer, Prof. Dr.
Neumüller, Prof. Dr.
Nimsky, Prof. Dr.
Nockher, PD Dr.
Oberkircher, Dr
Oberthür, Dr.
Oertel, Prof. Dr.
Oliver, Prof. Dr.
Opitz, Dr.
Ossendorf, Dr.
Otero Vazquez, PD Dr.
Pagenstecher, Prof. Dr.
Peterlein, PD Dr.
Plant, Prof. Dr.
Plöger, Dr.
Preisig-Müller, PD Dr.
Quint, Dr.
Reese, PD Dr.

Renz, Prof. Dr.
Richter, Prof. Dr.
Riera-Knorrenschild, Dr.
Riße, Prof. Dr.
Ritter
Ritz, PD Dr.
Rivera Gil, Dr.
Roelcke, Prof. Dr.
Rost, Dr.
Ruchholtz, Prof. Dr.
Sahmland, Prof. Dr.
Schäfer, Dr.
Schäfer, Prof. Dr.
Schneider, Prof. Dr.
Schönbauer
Schratt, Prof. Dr.
Schunk, Dr.
Schüttler, Dr.
Schütz, PD Dr.
Seifart, PD Dr.
Seitz, Prof. Dr.
Sekundo, Prof. Dr.
Sevinc, Dr.
Shams-Eldin, Dr.
Sommer, PD Dr.
Sprenger, Prof. Dr.
Stahl, Dr.
Steiniger, Prof. Dr.
Steitz-Naumann, Dr.
Stibane
Stief, PD Dr.
Strik, Prof. Dr.
Subtil, Dr.
Thieme, Prof. Dr.
Thum, Dr.
Thursar
Timmesfeld, Prof. Dr.
Toussaint, Dr.
Vogelmeier, Prof. Dr.
Vogt, Prof. Dr.
Völlger, Dr.
Vorwerk, PD Dr.
Wagner, Prof. Dr.
Wahl, PD Dr.
Weber, Prof. Dr.
Weihe, Prof. Dr.
Weisser, PD Dr.
Welter, Prof. Dr.
Werner, Prof. Dr.
Westermann, PD Dr.
Wilhelm, Prof. Dr.
Wittig, Prof. Dr.
Wollmer, Dr.
Wrocklage, Dr.
Wulf, Prof. Dr.
Zavorotny, D

Danksagung

Mein Dank gilt Herrn. Prof. Dr. med. C. Güldner und Frau Dr. med U. Waliczek-Dworschak für die unermüdliche Betreuung, Unterstützung sowie konstruktiver Kritik bei der Erstellung der Dissertation.

Außerdem möchte ich mich an dieser Stelle bei allen Probanden, die mit ihrer Teilnahme diese Studie ermöglicht haben, für ihr Engagement und ihre Ausdauer bedanken.

Des Weiteren möchte ich mich bei meiner Familie für die weitreichende emotionale Unterstützung sowie umfangreichen Korrekturarbeiten bedanken. Hier insbesondere bei meiner jüngsten Schwester für die intensive Methodenkorrektur sowie akademische Anleitung und bei meinem Mann für seine Ausdauer, Geduld und Engagement für diese Arbeit.

Mein besonderer Dank gilt Casper ohne dessen emotionale und liebevolle Unterstützung auch zu Unzeiten, ich diese Arbeit wahrscheinlich nie fertig gestellt hätte.