Aus der Klinik für Hals-, Nasen- und Ohrenheilkunde
Geschäftsführender Direktor: Prof. Dr. med. Boris A. Stuck
des Fachbereichs Medizin der Philipps-Universität Marburg

# Einfluss des Alters auf die Performance am da Vinci Skills Simulator

Inaugural-Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der gesamten Humanmedizin

dem Fachbereich Medizin der Philipps-Universität Marburg
vorgelegt von

**Charlotte Lenz, geb. Fischer**
aus Dernbach (Westerwald)

Marburg, 2025

Angenommen vom Fachbereich Medizin der Philipps-Universität Marburg am: 09.07.2025

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereichs Medizin

Dekan: Prof. Dr. M. Hertl
Referent: PD Dr. U. Walliczek-Dworschak
1. Korreferent: Prof. Dr. A. Hegele

# Inhaltsverzeichnis

**Verzeichnis der Abkürzungen** ..... **I**

**Verzeichnis der Abbildungen** ..... **II**

**Verzeichnis der Tabellen** ..... **III**

**1 Einleitung** ..... **1**

1.1 Die Entwicklung der roboterassistierten Chirurgie ..... 1

1.2 Der da Vinci Si Operationsroboter ..... 2

1.2.1 Aufbau ..... 2

1.2.2 Vor- und Nachteile ..... 2

1.2.3 Anwendungsgebiete der roboterassistierten Chirurgie ..... 3

1.3 Der da Vinci Skills Simulator ..... 4

1.3.1 Aufbau der Software ..... 4

1.3.2 Validitätsprüfungen ..... 5

1.3.3 Vor- und Nachteile ..... 6

1.4 Hintergrund der Arbeit ..... 7

1.5 Zielsetzung und Fragestellung ..... 7

**2 Material und Methoden** ..... **9**

2.1 Probandenkollektiv ..... 9

2.2 Studienaufbau ..... 9

2.3 Fragebogen ..... 11

2.4 Bedienung des da Vinci Skills Simulators ..... 11

2.5 Erläuterung der Übungen ..... 12

2.6 Datenerhebung ..... 15

2.7 Statistische Auswertung ..... 18

**3 Ergebnisse** ..... **19**

3.1 Ergebnisse des gruppeninternen Vergleichs ..... 19

3.1.1 Overall Score ..... 19

3.1.2 Time To Complete Exercise ..... 20

3.1.3 Economy of Motion ..... 20

3.1.4 Vergleich der Gesamtzeit ..... 21

3.1.5 Analyse weiterer Parameter ..... 22

3.1.5.1 *Instrument Collisions* ..... 22

3.1.5.2 *Excessive Instrument Force* ..... 23

3.1.5.3 *Instruments Out Of View* ..... 24

3.1.5.4 *Master Workspace Range* ..... 25

3.1.5.5 *Drops* ... 26
3.1.5.6 *Misapplied Energy Time, Blood Loss Volume* und *Broken Vessels* der Übung *Energy & Dissection 3* ... 26
3.2 Ergebnisse des Gruppenvergleichs ... 27
3.2.1 Overall Score ... 27
3.2.2 Time To Complete Exercise ... 31
3.2.3 Economy of Motion ... 35
3.2.4 Vergleich der Gesamtzeit ... 39
3.2.5 Analyse weiterer Parameter ... 40
3.2.5.1 *Instrument Collisions* ... 40
3.2.5.2 *Excessive Instrument Force* ... 41
3.2.5.3 *Instruments Out Of View* ... 42
3.2.5.4 *Master Workspace Range* ... 42
3.2.5.5 *Drops* ... 43
3.2.5.6 *Missaplied Energy Time*, *Blood Loss Volume* und *Broken Vessels* der Übung *Energy & Dissection 3* ... 44
3.3 Auswertung des Fragebogens ... 45
3.4 Vergleich Computerspieler vs. nicht-Computerspieler ... 46
3.5 Einteilung der Übungen nach Schwierigkeitsgrad ... 47
**4 Diskussion ... 48**
4.1 Übersicht ... 48
4.2 Diskussion des gruppeninternen Vergleichs ... 49
4.3 Diskussion des Gruppenvergleichs ... 52
4.4 Fragebogen ... 62
4.5 Limitationen der Studie ... 63
**5 Zusammenfassung ... 65**
**6 Abstract ... 67**
**7 Literaturverzeichnis ... 69**
**8 Anhang A: Ergänzende Tabellen ... 80**
**9 Anhang B: Sonstiges ... 89**
9.1 Verzeichnis der Akademischen Lehrenden ... 89
9.2 Danksagung ... 90

# Verzeichnis der Abkürzungen

| | |
|---|---|
| Abb. | Abbildung |
| AESOP | Automated Endoscopic System for Optimal Positioning |
| dVSS | Da Vinci Skills Simulator |
| ED3 | Energy & Dissection 3 |
| FDA | Food and Drug Administration |
| Gr. | Gruppe |
| HD | High Definition |
| jährl. | jährlich |
| max. | maximal |
| MB1 | Match Board 1 |
| min | Minuten |
| mtl. | monatlich |
| PB2 | Peg Board 2 |
| RR2 | Ring & Rail 2 |
| s | Sekunde |
| SD | Standardabweichung |
| Tab. | Tabelle |
| tgl. | täglich |
| vgl. | Vergleich |
| vs. | versus |
| Wdh. | Wiederholung |
| wöchentl. | wöchentlich |

# Verzeichnis der Abbildungen

Abbildung 1: Übersicht der Probandengruppen in Abhängigkeit vom Alter ..... 9

Abbildung 2: Studiendesign ..... 10

Abbildung 3: links: Stereo-Bildbetrachter, mitte: Chirurgenkonsole, rechts: Fußschalter-Bedienfeld ..... 11

Abbildung 4: links: Master-Steuerung, rechts: EndoWrist Instrumente (a: Zange, b: Schere, c: bipolare Zange)[50] ..... 12

Abbildung 5: Stacking Challenge ..... 13

Abbildung 6: links: Übung *Match Board 1*, rechts: Übung *Peg Board 2* ..... 14

Abbildung 7: links: Übung *Ring & Rail 2*, rechts: Übung *Energy & Dissection 3* ..... 15

Abbildung 8: Beispiel für die Auswertung der Übung *Match Board 1* ..... 16

Abbildung 9: Grafische Darstellung des mittleren *Overall Score* der Versuche 1 bis 6 bei den Übungen *Match Board 1* und *Peg Board 2* ..... 29

Abbildung 10: Grafische Darstellung des mittleren *Overall Score* der Versuche 1 bis 6 bei den Übungen *Ring & Rail 2* und *Energy & Dissection 3* ..... 30

Abbildung 11: Grafische Darstellung der mittleren *Time To Complete Exercise* der Versuche 1 bis 6 bei den Übungen *Match Board 1* und *Peg Board 2* ..... 33

Abbildung 12: Grafische Darstellung der mittleren *Time To Complete Exercise* der Versuche 1 bis 6 bei den Übungen *Ring & Rail 2* und *Energy & Dissection 3* ..... 34

Abbildung 13: Grafische Darstellung der mittleren *Economy of Motion* der Versuche 1 bis 6 bei den Übungen *Match Board 1* und *Peg Board 2* ..... 37

Abbildung 14: Grafische Darstellung der mittleren *Economy of Motion* der Versuche 1 bis 6 bei den Übungen *Ring & Rail 2* und *Energy & Dissection 3* ..... 38

Abbildung 15: Grafische Darstellung der mittleren *Instrument Collisions* der Versuche 1 und 6 im Gruppenvergleich bei den Übungen *MB1, PB2, RR2* und *ED3* ..... 41

Abbildung 16: Grafische Darstellung der mittleren *Instrument Collisions* der Versuche 1 und 6 im Gruppenvergleich bei den Übungen *MB1, PB2, RR2* und *ED3* ..... 41

Abbildung 17: Grafische Darstellung der mittleren *Instruments Out Of View* der Versuche 1 und 6 im Gruppenvergleich bei den Übungen *MB1, PB2, RR2* und *ED3* ..... 42

Abbildung 18: Grafische Darstellung des mittleren *Master Workspace Range* der Versuche 1 und 6 im Gruppenvergleich bei den Übungen *MB1, PB2, RR2* und *ED3* ..... 43

Abbildung 19: Grafische Darstellung der mittleren *Drops* der Versuche 1 und 6 im Gruppenvergleich bei den Übungen *MB1, PB2, RR2* und *ED3* ..... 43

Abbildung 20: Grafische Darstellung der mittleren *Misapplied Energy Time*, *Blood Loss Volume* und *Broken Vessels* der Versuche 1 und 6 im Gruppenvergleich bei der Übung *Energy & Dissection 3* ..... 44

# Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 1: Auflistung der gemessenen Parameter mit Erläuterungen[80] ..... 17

Tabelle 2: prozentuale Gewichtung der Parameter im *Overall Score*[80] ..... 18

Tabelle 3: Vergleichende Darstellung des mittleren *Overall Score* der Versuche 1 und 6 innerhalb der Gruppen bei den Übungen *MB1, PB2, RR2* und *ED3* . 19

Tabelle 4: Vergleichende Darstellung der mittleren *Time To Complete Exercise* der Versuche 1 und 6 innerhalb der Gruppen bei den Übungen *MB1, PB2, RR2* und *ED3* ..... 20

Tabelle 5: Vergleichende Darstellung der mittleren *Economy of Motion* der Versuche 1 und 6 innerhalb der Gruppen bei den Übungen *MB1, PB2, RR2* und *ED3* ..... 21

Tabelle 6: Benötigte Gesamtzeit (min) der einzelnen Übungen pro Tag sowie der Gesamtzeit aller Übungen eines Tages innerhalb der Gruppen ..... 21

Tabelle 7: Vergleichende Darstellung der mittleren *Instrument Collisions* der Versuche 1 und 6 innerhalb der Gruppen bei den Übungen *MB1, PB2, RR2* und *ED3* ..... 22

Tabelle 8: Vergleichende Darstellung der mittleren *Excessive Instrument Force* der Versuche 1 und 6 innerhalb der Gruppen bei den Übungen *MB1, PB2, RR2* und *ED3* ..... 23

Tabelle 9: Vergleichende Darstellung der mittleren *Instruments Out Of View* der Versuche 1 und 6 innerhalb der Gruppen bei den Übungen *MB1, PB2, RR2* und *ED3* ..... 24

Tabelle 10: Vergleichende Darstellung des mittleren *Master Workspace Range* der Versuche 1 und 6 innerhalb der Gruppen bei den Übungen *MB1, PB2, RR2* und *ED3* ..... 25

Tabelle 11: Vergleichende Darstellung der mittleren *Drops* der Versuche 1 und 6 innerhalb der Gruppen bei den Übungen MB1, PB2, RR2 und ED3 ..... 26

Tabelle 12: Vergleichende Darstellung der mittleren *Misapplied Energy Time*, *Blood Loss Volume* und *Broken Vessels* der Versuche 1 und 6 innerhalb der Gruppen in der Übung *Energy & Dissection 3* ..... 27

Tabelle 13: Darstellung des mittleren *Overall Score* der Versuche 1 und 6 im Gruppenvergleich bei der Übung *Match Board 1* ..... 27

Tabelle 14: Darstellung des mittleren *Overall Score* der Versuche 1 und 6 im Gruppenvergleich bei der Übung *Peg Board 2* ..... 28

Tabelle 15: Darstellung des mittleren *Overall Score* der Versuche 1 und 6 im Gruppenvergleich bei der Übung *Ring & Rail 2* ..... 28

Tabelle 16: Darstellung des mittleren *Overall Score* der Versuche 1 und 6 im Gruppenvergleich bei der Übung *Energy & Dissection 3* ..... 29

Tabelle 17: relative Differenzen des mittleren *Overall Score* von Versuch 1 zu 6 in den Übungen *Match Board 1* und *Peg Board 2* ..... 30

Tabelle 18: relative Differenzen des mittleren *Overall Score* von Versuch 1 zu 6 in den Übungen *Ring & Rail 2* und *Energy & Dissection 3* ..... 31

Tabelle 19: Darstellung der mittleren *Time To Complete Exercise* der Versuche 1 und 6 im Gruppenvergleich bei der Übung *Match Board 1* ..... 31

Tabelle 20: Darstellung der mittleren *Time To Complete Exercise* der Versuche 1 und 6 im Gruppenvergleich bei der Übung *Peg Board 2* ..... 32

Tabelle 21: Darstellung der mittleren *Time To Complete Exercise* der Versuche 1 und 6 im Gruppenvergleich bei der Übung *Ring & Rail 2* ..... 32

Tabelle 22: Darstellung der mittleren *Time To Complete Exercise* der Versuche 1 und 6 im Gruppenvergleich bei der Übung *Energy & Dissection 3* ..... 33

Tabelle 23: relative Differenzen der mittleren *Time To Complete Exercise* von Versuch 1 zu 6 in den Übungen *Match Board 1* und *Peg Board 2* ..... 34

Tabelle 24: relative Differenzen der mittleren *Time To Complete Exercise* von Versuch 1 zu 6 in den Übungen *Ring & Rail 2* und *Energy & Dissection 3* ..... 35

Tabelle 25: Darstellung der mittleren *Economy of Motion* der Versuche 1 und 6 im Gruppenvergleich bei der Übung *Match Board 1* ..... 36

Tabelle 26: Darstellung der mittleren *Economy of Motion* der Versuche 1 und 6 im Gruppenvergleich bei der Übung *Peg Board 2* ..... 36

Tabelle 27: Darstellung der mittleren *Economy of Motion* der Versuche 1 und 6 im Gruppenvergleich bei der Übung *Ring & Rail 2* ..... 36

Tabelle 28: Darstellung der mittleren *Economy of Motion* der Versuche 1 und 6 im Gruppenvergleich bei der Übung *Energy & Dissection 3* ..... 37

Tabelle 29: relative Differenzen der mittleren *Economy of Motion* von Versuch 1 zu 6 in den Übungen *Match Board 1* und *Peg Board 2* ..... 38

Tabelle 30: relative Differenzen der mittleren *Economy of Motion* von Versuch 1 zu 6 in den Übungen *Ring & Rail 2* und *Energy & Dissection 3* ..... 39

Tabelle 31: Benötigte Gesamtzeit der einzelnen Übungen pro Tag sowie der Gesamtzeit aller Übungen eines Tages im Gruppenvergleich ..... 40

Tabelle 32: Tabellarische Darstellung der Ergebnisse des Fragebogens ..... 45

Tabelle 33: Darstellung der Übungen nach Schwierigkeitsgraden ..... 47

# 1 Einleitung

## 1.1 Die Entwicklung der roboterassistierten Chirurgie

In der heutigen Welt sind Roboter nicht mehr wegzudenken. Sie helfen uns im Alltag, erleichtern uns die Arbeit sowohl in der Industrie als auch in der Forschung sowie in vielen anderen Bereichen des Lebens.

Einzug in die Chirurgie nahmen Roboter ab den 1980er Jahren. Der weltweit erste Roboter, der bei einer Operation assistierte, war der Arthrobot. Er wurde erstmals 1983 in Kanada eingesetzt[130] und konnte bei orthopädischen Eingriffen die zu operierenden Extremitäten halten. Der Chirurg konnte den Roboter per Sprachbefehl steuern um die Extremität neu zu positionieren.[72] In den folgenden Jahren wurden weitere Roboter für verschiedenste Fachgebiete eingeführt. Allen gemein war, dass sie auf jeden Patienten vorprogrammiert werden mussten und somit keine Abweichung von dem geplanten Eingriff erlaubten.[62,65,66]

Die heutigen Operationsroboter basieren auf der Idee der Telepräsenz-Chirurgie, welche Mitte der 1980er Jahren in der Raumfahrttechnik entstand. Forscher der *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) versuchten einen Roboter zu entwickeln, welchen man über weite Strecken steuern könnte, um somit Operationen im Weltraum durchführen zu können.[2,99] Das US-Verteidigungsministerium beteiligte sich ebenfalls an dieser Forschung, mit dem Interesse, Soldaten an der Front operieren zu können, ohne dabei den Chirurgen zu gefährden.[34,126]

Aus diesen Ideen entwickelte sich schließlich 1994 der Roboterarm AESOP, welcher als Kamerahalter bei laparoskopischen Operationen durch Telemanipulation assistieren und per Sprachbefehl neu positioniert werden konnte. Somit wurde ein weiterer kamerahaltender Assistent im Operationssaal überflüssig.[38]

1998 wurde das da Vinci Operationssystem der Firma Intuitive Surgical (Sunnyvale, CA, USA) eingeführt, bei welchem der Operateur fern vom Patienten über eine Konsole agiert. Es gehört mittlerweile zu den führenden Marken und erhielt als eines der ersten robotergestützten Systeme für die allgemeine laparoskopische Chirurgie 1998 in Europa die Marktzulassung. Seitdem wurden laut Herstellerangaben in 70 Ländern über 7.500 Systeme verkauft, mit denen über zwölf Millionen minimalinvasive Eingriffe durchgeführt wurden (Stand März 2023).[42,46] Die Firma Intuitive Surgical benannte den Roboter nach dem bekannten Erfinder, Maler und Anatom Leonardo da Vinci. Dieser erschuf den ersten bekannten Roboter „Leonardo`s Robot“, welcher vermutlich um das Jahr 1495 entstand.[43] Die erste erfolgreiche roboterassistierte Operation mit einem Ro-

boter der Firma Intuitive Surgical war, mittels des Prototypen „Mona“, eine laparoskopische Cholezystektomie in Dendermonde, Belgien im Jahr 1997.[37] Seitdem hat sich das mögliche Operationsspektrum stark ausgeweitet.

## 1.2 Der da Vinci Si Operationsroboter

### 1.2.1 Aufbau

Das da Vinci Robotersystem besteht aus drei verschiedenen Komponenten: Dem Patientenwagen, der Chirurgenkonsole sowie dem Videosystemwagen. Der Patientenwagen ist die operative Komponente des Systems und befindet sich während der Operation am Patienten. Er besitzt in der Regel vier Roboterarme. Drei dieser Arme können mit EndoWrist-Instrumenten bestückt werden, der vierte Arm ist mit einem flexiblen Endoskop mit Lichtquelle ausgestattet.[21,51] Die Chirurgenkonsole ist der Arbeitsplatz des Chirurgen und dient als Steuerungselement des Patientenwagens. Der Chirurg operiert sitzend an der Konsole und kann mittels Fußschalterpedalen sowie per Hand mit zwei Master-Steuerungen die Roboterarme in Echtzeit führen. Die Kamera des Patientenwagens überträgt das aktuelle Bild des Operationsbereiches in vergrößertem, hochauflösendem 3D in das Sichtfenster der Chirurgenkonsole.[48] Der Videosystemwagen ist eine Zentralsteuerungseinheit und dient zur Kommunikation zwischen der Chirurgenkonsole und dem Patientenwagen. Er enthält Bildverarbeitungstechnologien und Informationssysteme ebenso wie ein HD-Display zur Übertragung des Kamerabildes.[50]

### 1.2.2 Vor- und Nachteile

Der Chirurg sitzt während der Operation zwar entfernt vom Patienten, hat das System aber jederzeit zu 100% unter Kontrolle.[21] Somit kann der Roboter nicht eigenständig agieren, unterstützt jedoch die Arbeit des Chirurgen. Die Vorteile der roboterassistierten Chirurgie entsprechen zum großen Teil denen der konventionell laparoskopischen Chirurgie. Hierzu gehören unter anderem ein geringerer intraoperativer Blutverlust, verminderte postoperative Schmerzen, eine schnellere Mobilisation sowie eine schnellere Verbesserung der gastrointestinalen Funktionen des Patienten und ein daraus resultierender kürzerer Krankenhausaufenthalt, ebenso wie bessere kosmetische Ergebnisse.[9,69] Durch den geringeren Blutverlust werden nachweislich kleinere Mengen an perioperativen Transfusionen benötigt.[24] Desweiteren zeigt sich ein geringeres Risiko für postoperative venöse Thrombembolien.[89,108]

Die roboterassistierte Chirurgie bietet zudem noch einige weitere Vorteile gegenüber der konventionell laparoskopischen Chirurgie. Der da Vinci Roboter erzeugt ein drei-

dimensionales Bild, welches sich von dem operierenden Chirurgen steuern lässt. Dies verhindert die unzureichende Visualisierung des Operationsbereiches, welche bei der konventionellen Laparoskopie durch eine vom Chirurgen unabhängige Kameraführung entsteht. Zudem hat der Roboter sieben frei bewegliche Freiheitsgrade für die Instrumente, eine Bewegungsskalierung, mit welcher die Bewegungsabläufe in präzise Mikrobewegungen umgerechnet werden können, sowie einen Tremorfilter, wodurch ein Zittern der Hände nicht auf die Instrumente übertragen wird. Einen weiteren Vorteil bietet die Chirurgenkonsole, an welcher der Chirurg in einer angenehmen Sitzhaltung operieren kann und bei der das Zusammenspiel von Augen und Händen einer natürlichen Haltung am Operationstisch entspricht. Dies ermöglicht eine intuitive Steuerung der Instrumente.[55,103,127]

Zu den Problemen der roboterassistierten Chirurgie zählt u. a. das Fehlen einer taktilen Rückmeldung, wodurch es zu unerwarteten Belastungen und Gewebeverletzungen kommen kann. Nachteilig sind zudem die hohen Kosten des Systems sowie der größere logistische Aufwand, der mit einer längeren Operationsdauer einhergeht.[10,119,127]

### 1.2.3 Anwendungsgebiete der roboterassistierten Chirurgie

Aufgrund der vielen Vorteile ist es nicht verwunderlich, dass der da Vinci Roboter seit seiner Einführung in den Operationssaal ein breites Spektrum an Operationsgebieten erobert hat. Er wird mittlerweile in verschiedensten Fachgebieten verwendet. Es können urologische Operationen an Prostata-, Blasen- und Nierenkarzinomen durchgeführt werden, ebenso wie allgemeinchirurgische Operationen in Form von Leistenhernienoperationen und bariatrischen Operationen sowie Einsätze in der kolorektalen Chirurgie. Auch wird er in der Gynäkologie für Hysterektomien und Myomektomien eingesetzt, in der Thoraxchirurgie für Lobektomien und mediastinale Operationen sowie in der Herzchirurgie für Mitralklappenreparaturen.[47] Durch die *TransOral Robotic Surgery* (*TORS*) ist es sogar möglich, Karzinome der Kategorie T1 und T2 im Hals-Nasen-Ohrenbereich zu operieren.[45]

Die neueste Entwicklung ist das da Vinci Firefly System. Mittels Nahinfrarot-Bildgebung ist es möglich, Fluoreszenzbilder in Echtzeit zu erhalten und dadurch Gewebe mit erhöhtem Blutfluss von anderem Gewebe zu unterscheiden. Dies ermöglicht z. B. die intraoperative Darstellung von Gallenwegen.[44]

## 1.3 Der da Vinci Skills Simulator

Der da Vinci Skills Simulator (dVSS) ist ein *virtual reality* Simulationssystem, welches in Zusammenarbeit mit der Firma Mimic Technologies (Seattle, WA) entwickelt wurde[81], um möglichst realitätsnah das Operieren mit dem da Vinci Roboter trainieren zu können. Der Simulator ist ein tragbares Modul und kann an der Rückseite der Chirurgenkonsole befestigt werden.[49] Somit kann der Chirurg das Training direkt mit jener Chirurgenkonsole absolvieren, mit der er zukünftig auch Operationen durchführen wird.

### 1.3.1 Aufbau der Software

Der Simulator arbeitet mit der *Mimic virtual reality training software* (Mimic Technologies, Seattle, WA, USA), die es ermöglicht, 41 verschiedene Übungen[54] in verschiedenen Schwierigkeitsgraden zu absolvieren. Diese Übungen teilen sich auf verschiedene Kategorien auf, mit deren Hilfe die benötigten Fähigkeiten trainiert werden können. Mittels *Camera and Clutching* können die Chirurgen die Kamerasteuerung und den Umgang mit dem Entkopplungsmechanismus erlernen. *EndoWrist Manipulation* dient dazu, sich mit den EndoWrist Instrumenten und deren Bewegungsumfang vertraut zu machen. Zum Entwickeln von Fähigkeiten in Bezug auf die Nadelhandhabung gibt es die Kategorien *Needle Control and Driving*. Hier wird ein Fokus darauf gelegt, wie die Nadeln effektiv übergeben und positioniert werden können. *Fourth Arm Integration* ermöglicht es, fortgeschrittene Fähigkeiten in der Instrumentenkontrolle zu erwerben, indem ein weiteres Instrument hinzukommt. Dabei muss der Chirurg sich genau überlegen, welches Instrument er an welcher Position einsetzen will und wie er deren Handhabung umsetzt. Die Fähigkeit *Energy and Dissection* dient dazu, sich mit den Fußschaltern vertraut zu machen und dadurch die Verwendung von Strom bei Dissektionsaufgaben üben zu können. Die letzte Kategorie *System Settings* ist eine Quizübung und bezieht sich auf das Wissen über die Symbole und die ergonomischen Einstellungen.[22] Laut GOMEZ ET AL. müssen all diese Fähigkeiten während eines Trainingsprogramms erworben werden.[29] Nach Abschluss einer Übung erhält der Trainierende durch die Auswertung verschiedener Parameter eine Rückmeldung über die erbrachte Leistung. Folgende Parameter können, je nach Übung, diesbezüglich herangezogen werden: *Time To Complete Exercise* [s], *Economy of Motion* [cm], *Instrument Collisions* [n], *Excessive Instrument Force* [s], *Instruments Out Of View* [cm], *Master Workspace Range* [ cm], *Drops* [n], *Misapplied Energy Time* [s], *Blood Loss Volume* [ml], *Broken Vessels* [n] und *Missed Targets* [n]. Mit Hilfe dieser Parameter kann vom System die Gesamtleistung als *Overall Score* [%] errechnet werden.

### 1.3.2 **Validitätsprüfungen**

Dass der Einsatz derartiger Simulatoren zum Erlernen roboterspezifischer Fähigkeiten sinnvoll ist, wurde bereits in mehreren Studien bestätigt. Hierfür wurde das Training u. a. auf verschiedene Validitäten hin überprüft, um nachzuweisen, ob es im Simulationstraining gelingt, die notwendigen Kompetenzen zu testen. HUNG ET AL. führten hierfür eine Studie mit 64 Probanden durch und ließen sie verschiedene Aufgaben mit dem dVSS durchführen. Die Probanden waren vor allem Medizinstudenten ohne Erfahrungen im Bereich der roboterassistierten Chirurgie sowie Urologen, Herzthoraxchirurgen und Gynäkologen mit Erfahrungen in diesem Bereich. Mit Hilfe eines im Anschluss an die Übungen durchgeführten Fragebogens konnten die *face validity*, d. h. wie gut der Simulator die Realität abbildet, und die *content validity*, eine Beurteilung, ob der Simulator als Lehrgerät angemessen ist,[4,5,76,78] nachgewiesen werden, indem die Probanden den Simulator als realistisch und nützlich zum Erlernen roboterspezifischer Fähigkeiten bewerteten. Auch die *construct validity*, welche die Fähigkeit des Simulators zur Differenzierung zwischen verschiedenen Gruppen wie z. B. Anfängern und Experten angibt[4,78], konnte bestätigt werden, da die Probanden mit Erfahrungen in der roboterassistierten Chirurgie signifikant bessere Ergebnisse erzielten als diejenigen ohne derartige Erfahrungen.[41] ALZAHRANI ET AL. und LYONS ET AL. kamen zu denselben Schlüssen. Auch in ihren Studien wurden sowohl unerfahrene Chirurgen als auch solche mit Robotererfahrung am dVSS getestet. Eine anschließende Fragebogentestung war auch hier Teil der Untersuchungen. Es gelangen ebenfalls Nachweise der *face validity*, *content validity* und *construct validity*.[7,75] Die Erkenntnisse dieser drei Autoren stimmen mit einer Vielzahl weiterer Studien überein.[25,39,40,58,73,86,94,116]

In anderen Studien gelang es, die *concurrent validity* zu belegen, die zeigen soll, in welchem Ausmaß die Testergebnisse mit dem „Goldstandard“ korrelieren.[4,78] Die Autoren verglichen hierfür den dVSS mit verschiedenen anderen Trainingsverfahren am da Vinci Roboter. TERGAS ET AL. verglichen in ihrer Studie den Simulator mit Trockenlaborübungen, die mittels des da Vinci Roboters durchgeführt wurden.[118] HUNG ET AL. nahmen zusätzlich eine in-vivo-Aufgabe am lebenden Schweinemodell hinzu.[39] In beiden Studien zeigten sich signifikante Korrelationen zwischen den verschiedenen Methoden.

Ferner konnte die *predictive validity*, d. h. inwieweit der Simulator die zukünftige Leistung im Operationssaal vorhersagen kann,[4,78] in verschiedenen Studien nachgewiesen werden.[3,20,40] HUNG ET AL. führten hierfür eine weitere Studie durch. Sie ließen unerfah-

rene Roboterchirurgen (< 10 Roboterfälle) mit dem da Vinci Operationsroboter zunächst ex-vivo-Gewebeübungen an Tierkadavern durchführen. Es erfolgte eine Bewertung durch erfahrene Roboterchirurgen mit einer anschließenden Einteilung in zwei Gruppen. Die eine Gruppe sollte über zehn Wochen an dem dVSS trainieren, die andere Gruppe erhielt kein Training. Beim Abschlusstraining am ex-vivo-Tiergewebe zeigte sich, dass die Teilnehmer mit besseren Ergebnissen am Simulator auch in der ex-vivo-Übung besser abschnitten. Im Allgemeinen konnte jene Gruppe, welche das Training am dVSS absolviert hatte, bessere Ergebnisse vorweisen. Zudem zeigte sich auch hier eine Korrelation zwischen der Leistung am dVSS sowie der ex-vivo-Gewebeübung (*concurrent validity*).[40]

Neben dem dVSS gibt es noch weitere Simulatoren für die roboterassistierte Chirurgie.[1,16,36,76] Auch sie wurden erfolgreich auf die verschiedenen Validitäten getestet[6,23,27,53,59,60,68,70,71,77,104–106,128], allerdings besteht – laut Mimic Technologies – bei keinem dieser Simulatoren eine so gute Validation wie bei dem dVSS.[83] In einer Studie von HERTZ ET AL. wurden drei Simulatoren (dVSS, dV-Trainer und RobotiX Mentor) von erfahrenen und unerfahrenen Chirurgen getestet. In den von den Probanden ausgefüllten Fragebögen schnitten alle drei Simulatoren gut ab, wobei der dVSS die besten Ergebnisse erzielte.[36]

### 1.3.3 Vor- und Nachteile

Die durch die Übung an Simulatoren erlernten Fähigkeiten erwiesen sich als übertragbar auf roboterassistierte Verfahren.[13,15,88,114] Zudem zeigten Studien, dass Simulatoren als *warm-up* vor Operationen geeignet sind (15 bis 20 Minuten führen zu einer Steigerung der chirurgischen Fähigkeiten bei Folgeaufgaben),[17,56] sowie zur Aufrechterhaltung der Roboterfähigkeiten in Zeiten geringer aktiver roboterchirurgischer Eingriffe.[30] Schwierig erweist sich allerdings das Mentoring für die Roboterchirurgie. Üblicherweise befindet sich der Mentor in unmittelbarer Nähe zum Auszubildenden und kann somit praxisnah lehren. Da in der Roboterchirurgie nur eine Person an der Konsole sitzen kann, besteht hier jedoch eine räumliche Trennung, welche ein Eingreifen seitens des Lehrenden erschwert.[32,92,118] Dies zeigt die Wichtigkeit eines guten Trainings.[123]

Der dVSS ist einer der am weitesten verbreiteten und getesteten Simulatoren.[79] Er ist der einzige Simulator der mit der Chirurgenkonsole zusammen agiert.[30] Dies hat den Vorteil, dass der Chirurg bereits im Training mit den Steuerelementen trainiert, mit denen später operiert wird und kann womöglich dazu beitragen, einen besseren Transfer der erlernten Fähigkeiten vom Training zum realen Operationssystem zu bewirken.[112]

Nachteilig am dVSS gegenüber anderen Simulatoren ist, dass er nicht ohne das Operationssystem verwendet werden kann. Somit ist ein Training nur außerhalb der Operationszeiten möglich.

## 1.4 Hintergrund der Arbeit

Trotz der rasanten Ausbreitung der roboterassistierten Chirurgie scheint es bisher kein einheitliches, evidenzbasiertes Lernschema zu geben.

In den letzten Jahren wurden vielversprechende Lehrpläne mit unterschiedlichen Ansatzpunkten für die roboterchirurgische Ausbildung entwickelt[18,100], die Leitung der Ausbildungsanforderungen und die Zertifizierung ist jedoch den einzelnen Krankenhäusern selbst überlassen.[43] Dass dies Probleme mit sich bringen kann, zeigen diverse Klagen gegen Intuitive Surgical, die aufgrund von Fehlern seitens der Chirurgen durch Unerfahrenheit und unzureichendes Training eingereicht wurden.[115,117] Auch GAWANDE ET AL. beschrieben, dass ein Großteil der chirurgischen Fehler durch unerfahrene Chirurgen und mangelnde Kompetenz bei chirurgischen Aufgaben entsteht.[28] Wie die Vielzahl der Studien zu diesem Thema belegen, stellt sich seit geraumer Zeit die Frage nach einer effektiven Vorbereitung. Bereits vorhandene Trainingssysteme für die offene oder konventionell laparoskopische Chirurgie erwiesen sich als nicht ausreichend, da sich die benötigten Fähigkeiten für die roboterassistierte Chirurgie gegenüber jenen der offenen und konventionellen laparoskopischen Chirurgie unterscheiden,[13,29,64] wie z.B. der Verwendung der 3D-Kamera, die Bedienung der EndoWrist Instrumente sowie dem Fehlen einer taktilen Rückmeldung der Instrumente.[11,74,79] Ein speziell auf die roboterassistierte Chirurgie abgestimmtes Training ist nach Aussagen von BRIC ET AL. und KOWALEWSKI ET AL. notwendig, um diese Fähigkeiten erlernen und die Patientensicherheit gewährleisten zu können.[13,64] Daher entwickelte Intuitive Surgical für den da Vinci Operationsroboter den dVSS, welcher in dieser Studie verwendet wurde.

## 1.5 Zielsetzung und Fragestellung

Seit geraumer Zeit wird untersucht, wie man Simulatoren als Trainingsgerät für die roboterassistierte Chirurgie bestmöglich einsetzen kann. So wurden bereits Studien zu unterschiedlichen Trainingsfrequenzen[30,57,124] und -zeiten[129] durchgeführt. Ebenso erfolgten Analysen in Bezug auf die Lernkurven am Simulator[14,123] und es wurden (roboter)chirurgische Anfänger hinsichtlich ihrer Performance am Simulator mit Experten verglichen.[19] Allerdings finden sich nur wenige Daten über den Einfluss verschiedener Altersklassen auf das Training am dVSS.[79] Es hat sich jedoch gezeigt, dass die kogniti-

ve und sensomotorische Leistungsfähigkeit schon ab dem mittleren Erwachsenenalter abnehmen kann.[101,113,121]

Da es jedoch sowohl für die jüngere Generation als auch für die ältere Generation wichtig ist, eine gute Roboterausbildung zu erhalten, beschäftigt sich die vorliegende Arbeit mit diesem Thema. Zentrales Ziel dieser Studie ist es, herauszufinden, ob das Alter Auswirkungen auf die Performance am dVSS hat. Hierbei soll die Frage geklärt werden, ob eine Altersklasse den anderen über- oder unterlegen ist. Hierfür wurden drei Gruppen verschiedener Altersklassen gebildet, die zu jeweils 50 Prozent aus Männern und Frauen bestanden. Alle Probanden bearbeiteten dieselben Übungen am dVSS, sodass ein direkter Vergleich der Ergebnisse möglich ist.

Im Mittelpunkt der Arbeit stehen folgende Fragestellungen:

1. Besteht generell ein Lernerfolg in der Performance am dVSS vom ersten zum letzten Versuch?
2. Besteht zwischen den verschiedenen Altersklassen ein Unterschied in der Performance am dVSS?
3. Gibt es in den verschiedenen Altersklassen einen Unterschied im Lernerfolg?
4. Ist eine Altersklasse den anderen in der Performance am dVSS über-/unterlegen?

Die gewonnenen Daten sollen dazu beitragen, weitere Erkenntnisse für das Training mit dem dVSS zu erhalten und somit die Suche nach einem standardisierten Training für die roboterassistierte Chirurgie zu unterstützen.

# 2 Material und Methoden

## 2.1 Probandenkollektiv

Das Probandenkollektiv dieser Dissertation besteht aus insgesamt 60 Personen. Diese wurden im Umfeld der Philipps-Universität Marburg sowie über private Kontakte rekrutiert. Das Kollektiv teilt sich anhand des Alters in drei verschiedene Gruppen auf. Jede Gruppe besteht aus 20 Probanden und setzt sich aus jeweils zehn weiblichen und zehn männlichen Probanden zusammen. Die Probanden der Gruppe 1 befanden sich im Alter von 20-29 Jahren, der Gruppe 2 von 30-39 Jahren und der Gruppe 3 ≥40 Jahren.
Wie der Abbildung 1 zu entnehmen ist, waren der jüngste Proband zum Zeitpunkt der Datenerhebung 22 Jahre und der älteste Proband 58 Jahre alt. Das mittlere Alter lag in Gruppe 1 bei 25 Jahren ±2,04, in Gruppe 2 bei 32 Jahren ±2,20 und in Gruppe 3 bei 48 Jahren ±5,73.

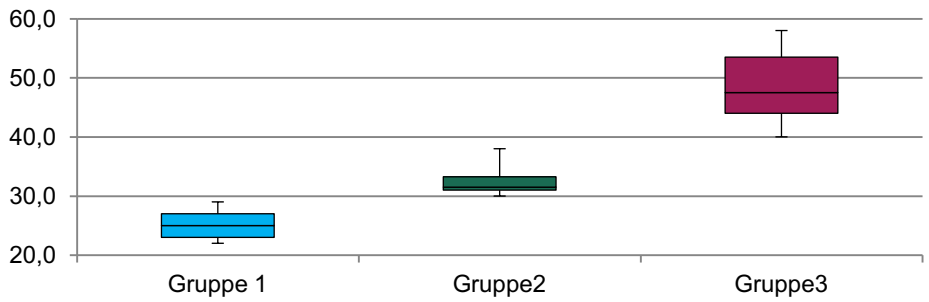


**Abbildung 1: Übersicht der Probandengruppen in Abhängigkeit vom Alter**

Als Einschlusskriterium ergab sich demzufolge die Altersstruktur als zentrale Voraussetzung. Es konnten nur Probanden teilnehmen, die Älter als 20 Jahre waren. Außerdem mussten die Teilnehmer an den festgelegten Tagen mit +2/-1 Wochentag Abweichung teilnehmen können. Ausgeschlossen wurden Probanden mit Erfahrung am da Vinci Roboter oder am dVSS, um sicherzustellen, dass alle auf gleichem Niveau starteten.

## 2.2 Studienaufbau

Der Zeitraum der Datenerfassung erstreckte sich von Dezember 2014 bis September 2016. Die Teilnehmer konnten werktags zwischen 16:00 Uhr und 21:00 Uhr sowie wochenends ganztäglich an der Studie an dem dVSS Si des Universitätsklinikums Marburg teilnehmen. Zu Beginn wurden die Probanden über die Freiwilligkeit der Studienteilnahme aufgeklärt und darauf hingewiesen, dass diese jederzeit ohne Angabe von Gründen beendet werden könnte. Sie erhielten eine schriftliche und mündliche Aufklärung zu dem Studienablauf und mussten schriftlich einwilligen, an der Studie teilzunehmen.

Die Aufgabe der Probanden war es, Trainingsübungen zu absolvieren. Chirurgische Vorkenntnisse waren für den erfolgreichen Abschluss der Übungen nicht notwendig. Wie auf Abbildung 2 zu sehen ist, sollte jeder Proband an zwei verschiedenen Tagen kommen. Diese beiden Untersuchungstage mussten in einem Abstand von 7 Tagen (+2/-1 Tag) liegen. An Tag 1 erhielten die Probanden zunächst eine Einweisung in die Funktionsweise des dVSS und den Ablauf des Trainingsprogrammes. Anschließend wurde eine zweiminütige Einführungsübung (*Stacking Challenge*) absolviert, damit sich die Probanden mit dem Gerät vertraut machen konnten. Diese war nicht Teil der Datenerhebung. Danach begann die Datenerhebung. Dabei gab es vier verschiedene Übungen (*Match Board 1, Peg Board 2, Ring & Rail 2 und Energy & Dissection 3*) mit verschiedenen Schwierigkeitsgraden, die von jedem Probanden durchzuführen waren. Jede dieser vier Übungen wurde sowohl an Tag 1 als auch an Tag 2 dreimal wiederholt, sodass es insgesamt sechs Wiederholungen jeder Übung gab (vgl. Abbildung 2). Die Anzahl der Wiederholungen basierte auf Studien von RAJANBABU ET AL. und SHETH ET AL. Sie stellten in ihren Studien fest, dass die meisten Probanden nach sechs Wiederholungen ein Plateau in ihrem Leistungsniveau erreichten.[93,110] PATEL ET AL. kamen zu einem ähnlichen Ergebnis.[91] Nach Beendigung der letzten Übung füllten die Probanden einen Fragebogen aus. Dieser enthielt verschiedene Fragen bezüglich des Roboter-Simulationstrainings, welche mit einer fünf-Punkte Likert-Skala bewertet wurden.

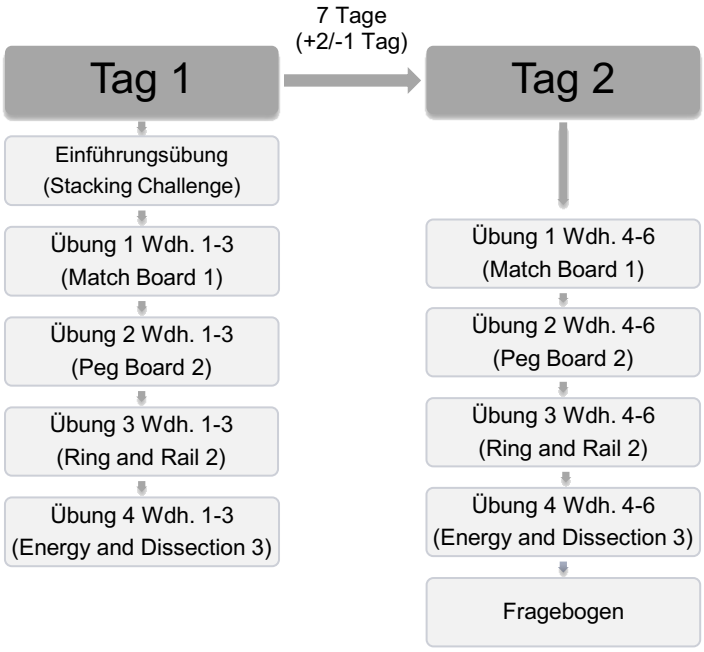


**Abbildung 2: Studiendesign**

## 2.3 Fragebogen

Der Fragebogen, welchen die Probanden am Ende des zweiten Tages ausfüllen sollten, enthielt verschiedene Fragen bezüglich des Roboter-Simulationstrainings. Diese konnten mit einer fünf-Punkte Likert-Skala bewertet werden. Die Patienten hatten die Möglichkeit zwischen den Aussagen „trifft völlig zu“, „trifft zu“, „neutral“, „trifft nicht zu“ und „trifft überhaupt nicht zu“ zu wählen (vgl. Tabelle 32).

Zu Beginn wurden das Geschlecht, das Alter und die Händigkeit erfasst. Die darauffolgenden Fragen zielten auf verschiedene Aspekte bezüglich des dVSS ab. Einige Fragen bezogen sich auf die persönlichen Erfahrungen im Umgang mit dem dVSS (Fragen 4 und 5), der Einschätzung der eigenen erlernten Fähigkeiten (Fragen 11-13) und möglichen körperlichen Auswirkungen des Trainings (Fragen 14-18). Andere beschäftigten sich mit der Meinung des Probanden über die Relevanz des dVSS und der Robotergestützte Chirurgie (Fragen 6-10). Zuletzt wurden die Probanden bezüglich des eigenen Computerspiel Verhaltens befragt (Fragen 19 und 20).

## 2.4 Bedienung des da Vinci Skills Simulators

Der dVSS wird durch die Chirurgenkonsole des da Vinci Si-Systems unabhängig vom Patientenwagen gesteuert. Dazu befindet sich dieser in einer tragbaren Box auf der Rückseite der Konsole. Die Chirurgenkonsole verfügt über verschiedene ergonomische Einstellmöglichkeiten zur individuellen Anpassung an die Körpergröße, einen Stereo-Bildbetrachter, eine Master-Steuerung sowie ein Fußschalter-Bedienfeld.[51]

Der Stereo-Bildbetrachter ermöglicht ein dreidimensionales Videobild der jeweiligen Simulationsübung. Zudem gewährleistet er über Infrarot-Kopfsensoren eine sichere Steuerung[51] (vgl. Abbildung 3).

**Abbildung 3: links: Stereo-Bildbetrachter, Mitte: Chirurgenkonsole, rechts: Fußschalter-Bedienfeld**

Durch das Fußschalter-Bedienfeld am Boden der Chirurgenkonsole können unter anderem die Positionierung des Kamerabildes und die Energiezufuhr gesteuert werden. Bei Betätigung des Kamerapedals mit dem linken Fuß und gleichzeitiger Bewegung der Masterarme kann das Kamerabild dreidimensional bewegt und gedreht werden. Mit Benutzung der Energiesteuerungspedale durch den rechten Fuß wird die Stromzufuhr der Energieinstrumente reguliert[51] (vgl. Abbildung 3).

Mithilfe der Master-Steuerung lenkt der Benutzer die Instrumente in den Simulationsübungen. Diese Steuerung besteht aus zwei Masterarmen mit Mastergriffen und ermöglicht in ihrer Handhabung und durch sieben mögliche Freiheitsgrade einen natürlichen Bewegungsspielraum, um einer möglichst realen Instrumentenbewegung zu entsprechen. Mittels der Fingerspitzen von Daumen und Mittelfinger können die Operationsinstrumente geöffnet und geschlossen werden (*Fingertip-Control*). Der Zeigefinger dient der Bedienung der beidseitigen Fingerkupplung. Dies ermöglicht das Auskuppeln der Instrumentensteuerung, um die Masterarme neu zu positionieren. Die Besonderheiten der Steuerung liegen in einer intuitiven Bewegung der Arme, einer Verringerung des Zitterns sowie dem *Fingertip-Control*.[51] In den Simulationsübungen dieser Studie wurden EndoWrist-Instrumente, insbesondere Zangen, verwendet. In der Übung *Energy & Dissection 3* kamen Energieinstrumente und Scheren hinzu (vgl. Abbildung 4).

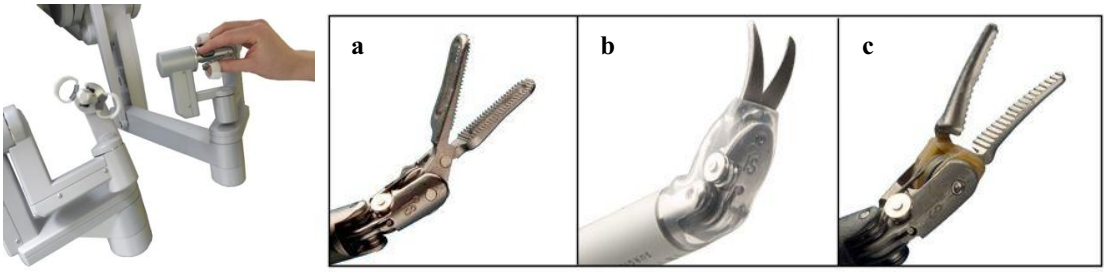


**Abbildung 4: links: Master-Steuerung, rechts: EndoWrist Instrumente (a: Zange, b: Schere, c: bipolare Zange)[52]**

## 2.5 Erläuterung der Übungen

Mit dem dVSS kann mittels virtueller Übungen das Operieren mit dem Da Vinci-Robotersystem geübt werden. Hierzu enthält er verschiedene Themenkomplexe zum Trainieren unterschiedlicher Fertigkeiten. Die Übungen für die vorliegende Studie stammen aus den Bereichen *EndoWrist Manipulation* sowie *Energy & Dissection*. Das Training mit *EndoWrist Manipulation* soll die Handhabung der EndoWrist-Instrumente verbessern, während es bei *Energy & Dissection* darum geht, sich mit den Energiesteuerungspedalen vertraut zu machen.[49] Alle in die Datenerhebung eingeschlossenen Übungen haben kein Zeitlimit. Erst wenn eine Übung erfolgreich abgeschlossen wird, been-

det das System diese. Unterschiede zeigen sich zudem durch verschiedene Schwierigkeitsstufen. Im Folgenden werden die für die vorliegende Studie durchgeführten Übungen näher erläutert.

### *Stacking Challenge* (Einführungsübung)

Die Übung *Stacking Challenge* diente den Probanden als Einführungsübung und wurde nicht in die Datenerhebung aufgenommen. Dabei sollten sie mit zwei von ihnen bedienten Zangen einen Turm aus den vorhandenen Würfeln und Dominosteinen bauen. Hierfür hatten die Probanden 120 Sekunden Zeit. Währenddessen konnten sie sich mit der Funktionsweise des Gerätes und dem Ablauf einer Übung vertraut machen (vgl. Abbildung 5).

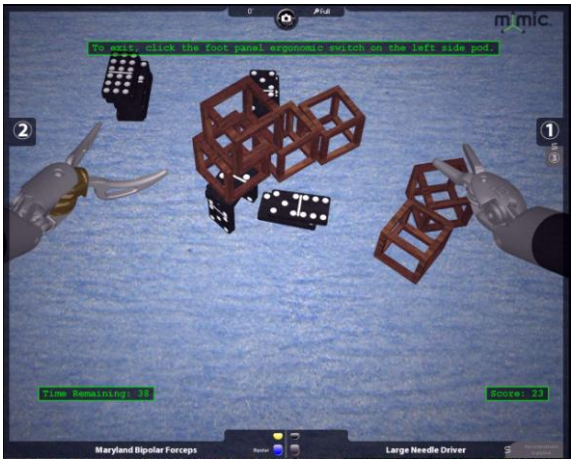


**Abbildung 5: Stacking Challenge**

### *Match Board 1* (Übung 1)

Die Datenerhebung begann mit der Übung *Match Board 1* (*MB1*). Die Aufgabenstellung bestand darin, dreidimensionale hölzerne Zahlen und Buchstaben präzise in das entsprechende Feld einer Schachtel zu legen. Hierbei dienten zwei Zangen als Greifarme. Die korrekte Positionierung wurde den Probanden durch grünes Aufleuchten der Objekte signalisiert, wie in Abbildung 6 zu sehen ist. Das Programm beendete die Übung, sobald sich alle Symbole an der richtigen Stelle befanden.

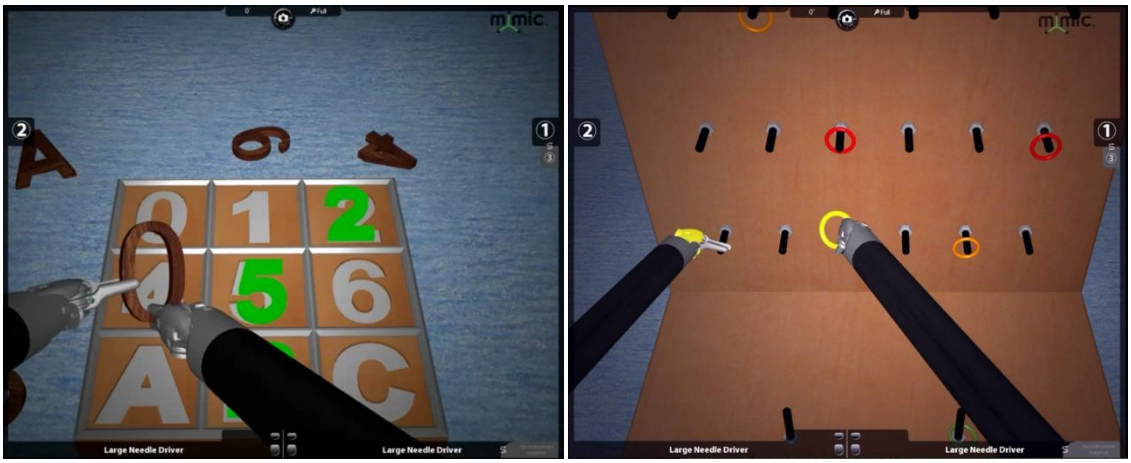


**Abbildung 6: links: Übung *Match Board 1*, rechts: Übung *Peg Board 2***

### *Peg Board 2* (Übung 2)

In *Peg Board 2* (*PB2*) sollten die Probanden Ringe, die an Stäben an einer Holzwand hingen, mit einer Zange aufnehmen und an die andere Zange übergeben. Zum Schluss mussten die Ringe über eine der beiden Stäbe am Boden gelegt werden. Bei dieser Übung war die Einhaltung eine bestimmte Reihenfolge wichtig. Diese wurde den Probanden durch ein gelbes Aufblinken angezeigt. Sobald die Übung startete, blinkte einer der Ringe ebenso wie eine der beiden Zangen gelb auf. Mit dieser Zange musste der blinkende Ring gegriffen werden. Anschließend blinkte die andere Zange auf, zum Zeichen, dass der Ring an diese übergeben werden sollte (vgl. Abbildung 6). Abschließend signalisierte ein weiteres Aufblinken, über welche der beiden Stäbe am Boden der Ring zu legen war. Sofern alles korrekt durchgeführt wurde, endete die Übung.

### *Ring & Rail 2* (Übung 3)

In der Übung *Ring & Rail 2* (*RR2*) galt es, drei verschiedenfarbige Ringe entsprechend ihrer Farbe auf den dazugehörigen Draht aufzufädeln. Diese mussten anschließend bis zum Zielbereich bewegt werden. Der Draht bestand aus festem, nicht verschiebbarem Material. Die Ringe und Zangen durften den Draht berühren (vgl. Abbildung 7).

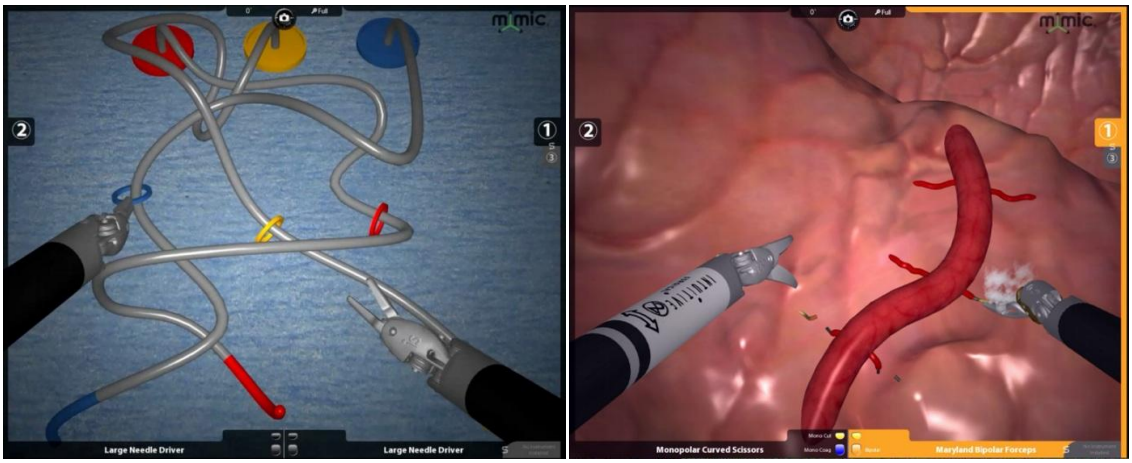


**Abbildung 7: links: Übung *Ring & Rail 2*, rechts: Übung *Energy & Dissection 3***

***Energy & Dissection 3* (Übung 4)**

Die letzte Übung *Energy & Dissection 3* (*ED3*) bestand aus einem großen Blutgefäß mit umliegendem Gewebe, von dem sechs kleinere Gefäße abgingen (vgl. Abbildung 7). Hier sollten die Probanden die sechs kleinen Gefäße mittels Strom verschließen (koagulieren) und durchtrennen. Am rechten Instrumentenarm befand sich eine Zange, mit der man die Blutgefäße packen und koagulieren konnte. Der Strom für die Zange wurde über das rechte blaue Energiesteuerungspedal gesteuert. Die linke Hand bediente eine Schere zum Durchtrennen der Gefäße.

## 2.6 Datenerhebung

Nach Beendigung einer Übung stellt das Simulationsprogramm automatisch das Leistungsniveau des jeweiligen Versuchs in dem sogenannten MScore dar, welcher durch die Software von Mimic Technologies erstellt wird (vgl. Abbildung 8).

In diesem prozentbasierten Bewertungsschema ermittelt die Software einen Gesamtscore (*Overall Score*), welcher sich aus sieben bis zehn verschiedenen Parametern zusammensetzt (vgl. Tabelle 1). Gemäß den Herstellerangaben können diese Parameter in *Efficiency metrics* und *Good Habit metrics* eingeteilt werden. *Efficiency metrics* sind die Parameter *Time To Complete Exercise, Economy of Motion* und *Master Workspace Range.* Sie zeigen die qualitative Leistung und die Effizienz eines Probanden auf. Die Parameter *Instrument Collisions, Excessive Instrument Force, Instruments Out Of View, Drops, Misapplied Energy Time, Blood Loss Volume und Broken Vessels* zeigen dagegen die Risiken auf, die es zu vermeiden gilt.[80,111]

Für jeden Parameter besteht die Möglichkeit, einen Score von 0% bis 100% zu erreichen, welcher dann zur Berechnung des *Overall Score* verwendet wird. Der Wert zum Erreichen des 100%-Score ist der minimale bzw. maximale Grenzwert, der eine voll-

ständige Erfüllung der jeweiligen Parameterleistung anzeigt. Der Wert des 0%-Score ist dementsprechend der gegenteilige minimale bzw. maximale Grenzwert. Eine weitere Unter- bzw. Überschreitung der Grenzwerte hat keine Auswirkungen auf die Berechnungen des *Overall Score*. Die Grenzwerte sind für jede Übung verschieden (vgl. Anhang 1).

**Abbildung 8: Beispiel für die Auswertung der Übung *Match Board 1***

In der Auswertung des Simulationsprogrammes wird mittels eines blauen Balkens unter jedem Parameter die ihn ihm erzielte Leistung ersichtlich. Wenn kein blauer Balken zu erkennen ist, bedeutet dies einen 0%-Score. Bei einem vollständigen blauen Balken zeigt sich ein 100%-Score und dementsprechend eine bestmögliche Leistung. Zudem erfolgt die Darstellung der Parameter mittels farblicher Symbole. Werte ≥80% zeigen einen grünen Haken, Ergebnisse zwischen 60% und 79% ein gelbes Dreieck und Werte <60% ein rotes Kreuz. Anhand dieser Darstellung ist es den Benutzern ersichtlich, welche Parameter verbesserungswürdig sind (vgl. Abbildung 8). Dieses Bewertungsschema des MScore basiert auf Leistungsdaten einer Vielzahl erfahrener Chirurgen (n>100). Hierfür wurden die Mittelwerte und Standardabweichungen jedes Parameters und jeder Übung erfasst.[80,111] Ein *Overall Score* von ≥80% gilt laut Hersteller als anzustrebendes Leistungsniveau.[30]

**Tabelle 1: Auflistung der gemessenen Parameter mit Erläuterungen**[82]

| Parameter | Bedeutung |
|---|---|
| ***Overall Score* [%]** | Erreichter Gesamtscore der Übung |
| ***Time To Complete Exercise* [s]** | Für die Übung benötigte Zeit |
| ***Economy of Motion* [cm]** | Virtuell zurückgelegte Strecke aller Instrumente einer Übung |
| ***Instrument Collisions* [n]** | Anzahl an Kollisionen der virtuellen Instrumente untereinander |
| ***Excessive Instrument Force* [s]** | Gesamtzeit, in der übermäßige Kräfte auf die virtuellen Instrumente wirken und dabei einen Grenzwert überschreiten. Diese Kräfte können durch gegenseitige Kollisionen, Geweberetraktionen, Nadelführung, Zugkräfte beim Nähen und Knoten, etc. entstehen |
| ***Instruments Out Of View* [cm]** | Zurückgelegte Strecke der virtuellen Instrumente außerhalb des Sichtfeldes |
| ***Master Workspace Range* [cm]** | Radius des real genutzten Arbeitsbereiches der Mastergriffe |
| ***Drops* [n]** | Anzahl fallengelassener Objekte in einem unangebrachten Bereich |
| ***Misapplied Energy Time* [s]*** | Gesamtzeit, in der unsachgemäß Energie eingesetzt wird |
| ***Blood Loss Volume* [ml]*** | Gesamtmenge an Blutverlust |
| ***Broken Vessels* [n]*** | Anzahl verletzter Gefäße |

* Vorkommen in der Übung *Energy & Dissection 3*

Die einzelnen Prozentwerte der in Tabelle 1 beschriebenen Parameter werden durch die Simulationssoftware prozentual in den Overall Score verrechnet. Die Gewichtung der Parameter ist – je nach Übung mit 16,13% bzw. 12,2% – größtenteils identisch. Einzige Ausnahme bildet der Parameter Master Workspace Range mit 3,23% bzw. 2,44% (vgl. Tabelle 2).[82]

**Tabelle 2: Prozentuale Gewichtung der Parameter im *Overall Score*[82]**

| Parameter | Gewichtung der Übungen *Match Board 1, Peg Board 2, Ring & Rail 2* | Gewichtung der Übung *Energy & Dissection 3* |
|---|---|---|
| ***Economy of Motion* [cm]** | 16,13% | 12,2% |
| ***Time To Complete Exercise* [s]** | 16,13% | 12,2% |
| ***Excessive Instrument Force* [s]** | 16,13% | 12,2% |
| ***Instrument Collisions* [n]** | 16,13% | 12,2% |
| ***Instruments Out Of View* [cm]** | 16,13% | 12,2% |
| ***Master Workspace Range* [cm]** | 3,23% | 2,44% |
| ***Drops* [n]** | 16,13% | 12,2% |
| ***Misapplied Energy Time* [s]** | - | 12,2% |
| ***Blood Loss Volume* [ml]** | - | 12,2% |
| ***Broken Vessels* [n]** | - | 12,2% |

## 2.7 Statistische Auswertung

Die Auswertung der Daten erfolgte nach vollständiger Datenerhebung. Hierfür wurde die Statistik-Software SPSS Version 22.0 und 27.0 (SAS Statistics, Cary, NC, USA) verwendet. Als statistischer Test diente der Zweistichproben-T-Test für abhängige und unabhängige Variablen mit der Annahme gleicher Varianzen für die Grundgesamtheit. Dieser Test dient der vergleichenden Statistik, mit deren Hilfe geprüft werden soll, ob es Unterschiede zwischen Mittelwerten diverser Parameter gibt. Bei dem T-Test für unabhängige Stichproben wurde zunächst der Levene-Test verwendet, um die Varianzhomogenität zu überprüfen. Darauf aufbauend erfolgte die weitere Auswertung. Es wurde ein Konfidenzintervall von 95% angenommen. Als statistisch signifikant gilt somit ein p-Wert $\leq 0{,}05$.

# 3 Ergebnisse

Zunächst wird dargelegt, wie sich die Ergebnisse der einzelnen Gruppen im Laufe der Versuchsreihe entwickelten. Diese Resultate werden einander anschließend gegenübergestellt. Abschließend erfolgt eine Auswertung des Fragebogens.

## 3.1 Ergebnisse des gruppeninternen Vergleichs

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse, die die Probanden der einzelnen Gruppen im Durchschnitt erreichten, aufgezeigt und miteinander verglichen. Um Veränderungen der Probandenleistungen darzulegen, werden einander jeweils die Ergebnisse der Versuche 1 und 6 gegenübergestellt.

### 3.1.1 *Overall Score*

In der nachfolgenden Tabelle wird aufgezeigt, welchen mittleren Gesamtscore (*Overall Score*) die Teilnehmer der verschiedenen Gruppen in den einzelnen Übungen erreichten. Es ist erkennbar, dass sich alle drei Gruppen in den einzelnen Übungen vom ersten zum letzten Versuch signifikant verbesserten (vgl. Tabelle 3).

**Tabelle 3: Vergleichende Darstellung des mittleren *Overall Score* der Versuche 1 und 6 innerhalb der Gruppen bei den Übungen *MB1,* PB2*, RR2* und *ED3***

| Übung | Gruppe | Versuch | mittlerer *Overall Score* [%] | SD [%] | p-Wert |
|---|---|---|---|---|---|
| *Match Board 1* | 1 | 1 | 67,75 | 9,90 | **0,000** |
| | | 6 | 82,20 | 5,71 | |
| | 2 | 1 | 67,60 | 6,93 | **0,000** |
| | | 6 | 80,55 | 8,44 | |
| | 3 | 1 | 60,45 | 8,54 | **0,000** |
| | | 6 | 75,10 | 6,32 | |
| *Peg Board 2* | 1 | 1 | 78,85 | 10,74 | **0,000** |
| | | 6 | 93,85 | 3,33 | |
| | 2 | 1 | 79,15 | 8,01 | **0,000** |
| | | 6 | 89,45 | 9,45 | |
| | 3 | 1 | 70,10 | 14,32 | **0,000** |
| | | 6 | 89,10 | 5,51 | |
| *Ring & Rail 2* | 1 | 1 | 61,95 | 14,29 | **0,000** |
| | | 6 | 86,10 | 11,46 | |
| | 2 | 1 | 61,35 | 19,85 | **0,000** |
| | | 6 | 80,80 | 13,47 | |
| | 3 | 1 | 53,60 | 19,96 | **0,015** |
| | | 6 | 63,65 | 19,03 | |
| *Energy & Dissection 3* | 1 | 1 | 79,75 | 10,72 | **0,001** |
| | | 6 | 90,20 | 5,86 | |
| | 2 | 1 | 75,70 | 10,05 | **0,000** |
| | | 6 | 92,35 | 4,86 | |
| | 3 | 1 | 71,05 | 14,65 | **0,000** |
| | | 6 | 86,80 | 9,25 | |

### 3.1.2 *Time To Complete Exercise*

Der Parameter *Time To Complete Exercise* beschreibt die Zeit, die benötigt wurde, um eine Übung zu beenden. Es wurde angestrebt, die Übungen möglichst schnell zu lösen. In Tabelle 4 wird die benötigte Zeit in Sekunden für den ersten und sechsten Versuch aufgeführt und miteinander verglichen. Diesbezüglich wurde innerhalb der einzelnen Gruppen der arithmetische Mittelwert errechnet.

Mit p-Werten von durchgehend 0,000 konnten alle Gruppen die benötigte Zeit von Versuch 1 zu Versuch 6 in jeder Übung signifikant reduzieren (vgl. Tabelle 4).

**Tabelle 4: Vergleichende Darstellung der mittleren *Time To Complete Exercise* der Versuche 1 und 6 innerhalb der Gruppen bei den Übungen *MB1, PB2, RR2* und *ED3***

| Übung | Gruppe | Versuch | mittlere *Time to Complete Exercise* [s] | | SD [s] | p-Wert |
|---|---|---|---|---|---|---|
| *Match Board 1* | 1 | 1 | 304,70 | (0%) | 69,05 | **0,000** |
| | | 6 | 162,15 | (16%) | 24,72 | |
| | 2 | 1 | 326,80 | (0%) | 111,58 | **0,000** |
| | | 6 | 176,55 | (3%) | 55,99 | |
| | 3 | 1 | 362,55 | (0%) | 150,05 | **0,000** |
| | | 6 | 207,65 | (0%) | 41,58 | |
| *Peg Board 2* | 1 | 1 | 208,40 | (17%) | 53,47 | **0,000** |
| | | 6 | 105,90 | (73%) | 18,61 | |
| | 2 | 1 | 198,95 | (22%) | 48,45 | **0,000** |
| | | 6 | 119,25 | (66%) | 38,42 | |
| | 3 | 1 | 219,20 | (11%) | 65,62 | **0,000** |
| | | 6 | 118,90 | (66%) | 24,49 | |
| *Ring & Rail 2* | 1 | 1 | 455,35 | (12%) | 113,44 | **0,000** |
| | | 6 | 237,45 | (69%) | 55,12 | |
| | 2 | 1 | 490,60 | (2%) | 176,29 | **0,000** |
| | | 6 | 264,65 | (62%) | 90,26 | |
| | 3 | 1 | 442,20 | (15%) | 153,93 | **0,000** |
| | | 6 | 318,95 | (48%) | 103,34 | |
| *Energy & Dissection 3* | 1 | 1 | 207,25 | (27%) | 41,64 | **0,000** |
| | | 6 | 114,35 | (100%) | 33,98 | |
| | 2 | 1 | 222,00 | (15%) | 63,82 | **0,000** |
| | | 6 | 111,15 | (100%) | 31,97 | |
| | 3 | 1 | 220,70 | (16%) | 54,09 | **0,000** |
| | | 6 | 121,80 | (99%) | 28,03 | |

### 3.1.3 *Economy of Motion*

Der Parameter *Economy of Motion* beschreibt die zurückgelegte Strecke der virtuellen Instrumente während ihrer Nutzung. Ziel war es, die Distanzen gering zu halten und unnötige Bewegungen zu vermeiden. Zur Analyse dieses Parameters wurden innerhalb der Gruppen der arithmetische Mittelwert gebildet und die Versuche 1 und 6 miteinander verglichen. Tabelle 5 führt die Ergebnisse auf.

Aus diesen geht hervor, dass in jeder Gruppe eine signifikante Verbesserung in der Performance vom ersten zum letzten Versuch vorhanden war (vgl. Tabelle 5).

**Tabelle 5: Vergleichende Darstellung der mittleren *Economy of Motion* der Versuche 1 und 6 innerhalb der Gruppen bei den Übungen *MB1, PB2, RR2* und *ED3***

| Übung | Gruppe | Versuch | mittlere *Economy Of Motion* [cm] | SD [cm] | p-Wert |
|---|---|---|---|---|---|
| *Match Board 1* | 1 | 1 | 335,30 (32%) | 80,68 | 0,000 |
| | | 6 | 235,90 (82%) | 39,94 | |
| | 2 | 1 | 354,70 (23%) | 85,94 | 0,000 |
| | | 6 | 262,55 (69%) | 64,27 | |
| | 3 | 1 | 435,85 (0%) | 129,01 | 0,000 |
| | | 6 | 301,30 (49%) | 54,09 | |
| *Peg Board 2* | 1 | 1 | 272,25 (73%) | 59,27 | 0,000 |
| | | 6 | 206,10 (100%) | 26,10 | |
| | 2 | 1 | 277,90 (70%) | 46,18 | 0,006 |
| | | 6 | 244,35 (89%) | 62,93 | |
| | 3 | 1 | 324,65 (43%) | 73,46 | 0,000 |
| | | 6 | 245,20 (88%) | 30,51 | |
| *Ring & Rail 2* | 1 | 1 | 495,10 (61%) | 143,13 | 0,000 |
| | | 6 | 339,35 (92%) | 72,98 | |
| | 2 | 1 | 557,50 (49%) | 210,51 | 0,000 |
| | | 6 | 413,50 (77%) | 179,78 | |
| | 3 | 1 | 569,35 (46%) | 194,21 | 0,019 |
| | | 6 | 480,75 (64%) | 122,79 | |
| *Energy & Dissection 3* | 1 | 1 | 144,85 (100%) | 28,69 | 0,000 |
| | | 6 | 108,05 (100%) | 24,18 | |
| | 2 | 1 | 177,85 (92%) | 64,49 | 0,000 |
| | | 6 | 118,85 (100%) | 30,45 | |
| | 3 | 1 | 193,25 (88%) | 54,71 | 0,000 |
| | | 6 | 126,30 (100%) | 29,17 | |

### 3.1.4 Vergleich der Gesamtzeit

Tabelle 6 führt die Zeit auf, die die Probanden der einzelnen Gruppen pro Tag durchschnittlich benötigten. Es zeigte sich in allen Gruppen und Übungen eine signifikante Reduzierung der Zeit von Tag 1 (Wdh. 1-3) zu Tag 2 (Wdh. 4-6; vgl. Anhang 2).

**Tabelle 6: Benötigte Gesamtzeit [min] der einzelnen Übungen pro Tag sowie der Gesamtzeit aller Übungen eines Tages innerhalb der Gruppen**

| Gruppe | Tag | *Match Board 1* | *Peg Board 2* | *Ring & Rail 2* | *Energy & Dissection 3* | Gesamtzeit | p-Wert |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 13,20 | 8,60 | 19,10 | 8,30 | 49,20 ±7,69 | 0,000 |
| | 2 | 8,85 | 5,65 | 12,75 | 6,05 | 33,35 ±4,11 | |
| 2 | 1 | 13,95 | 9,00 | 20,45 | 8,05 | 51,90 ±11,74 | 0,000 |
| | 2 | 9,55 | 6,05 | 14,05 | 6,15 | 35,90 ±9,53 | |
| 3 | 1 | 14,35 | 8,85 | 19,35 | 8,55 | 51,35 ±10,76 | 0,000 |
| | 2 | 11,00 | 6,70 | 15,80 | 6,65 | 40,05 ±6,96 | |

### 3.1.5 Analyse weiterer Parameter

#### 3.1.5.1 *Instrument Collisions*

Für den Parameter *Instrument Collisions* zeigte sich in der Übung *Match Board 1* in allen drei Gruppen eine signifikante Verbesserung von Versuch 1 zu Versuch 6, während sich bei der Übung *Peg Board 2* in keiner Gruppe signifikante Fortschritte feststellen ließen. Auch in der Übung *Ring & Rail 2* verbesserten alle drei Gruppen ihre Werte. Dies war lediglich in Gruppe 1 signifikant (Wdh. 1 n=3,15 vs. Wdh. 6 n=0,95; p=0,003). In der letzten Übung (*ED3*) konnten sich ebenfalls alle drei Gruppen steigern, jedoch war dieser Fortschritt nur in den Gruppen 2 und 3 signifikant (vgl. Tabelle 7).

**Tabelle 7: Vergleichende Darstellung der mittleren *Instrument Collisions* der Versuche 1 und 6 innerhalb der Gruppen bei den Übungen *MB1, PB2, RR2* und *ED3***

| Übung | Gruppe | Versuch | mittlere *Instrument Collisions* [n] | SD [n] | p-Wert |
|---|---|---|---|---|---|
| *Match Board 1* | 1 | 1 | 1,30 (74%) | 1,81 | **0,038** |
| | | 6 | 0,30 (94%) | 0,66 | |
| | 2 | 1 | 0,75 (85%) | 1,16 | **0,045** |
| | | 6 | 0,20 (96%) | 0,41 | |
| | 3 | 1 | 2,35 (53%) | 3,91 | **0,022** |
| | | 6 | 0,15 (97%) | 0,37 | |
| *Peg Board 2* | 1 | 1 | 0,35 (93%) | 0,59 | 0,666 |
| | | 6 | 0,25 (95%) | 0,72 | |
| | 2 | 1 | 0,40 (92%) | 0,50 | 0,629 |
| | | 6 | 0,30 (94%) | 0,80 | |
| | 3 | 1 | 1,40 (72%) | 2,66 | 0,184 |
| | | 6 | 0,55 (89%) | 1,00 | |
| *Ring & Rail 2* | 1 | 1 | 3,15 (37%) | 2,54 | **0,003** |
| | | 6 | 0,95 (81%) | 1,10 | |
| | 2 | 1 | 3,20 (36%) | 3,11 | 0,130 |
| | | 6 | 1,70 (66%) | 2,34 | |
| | 3 | 1 | 3,10 (38%) | 3,28 | 0,402 |
| | | 6 | 2,60 (48%) | 2,30 | |
| *Energy & Dissection 3* | 1 | 1 | 0,60 (88%) | 1,23 | 0,273 |
| | | 6 | 0,25 (95%) | 0,55 | |
| | 2 | 1 | 1,00 (80%) | 1,30 | **0,009** |
| | | 6 | 0,10 (98%) | 0,45 | |
| | 3 | 1 | 1,15 (77%) | 1,57 | **0,032** |
| | | 6 | 0,25 (95%) | 0,44 | |

### 3.1.5.2 *Excessive Instrument Force*

In dem Parameter *Excessive Instrument Force* zeigten die Gruppen in den Übungen *Match Board 1*, *Peg Board 2* und *Energy & Dissection 3* keine signifikanten Unterschiede von Versuch 1 zu 6. In der Übung *Ring & Rail 2* war der Kraftaufwand aller Gruppen höher. Zum sechsten Versuch hin verbesserten sich alle Gruppen, allerdings war dies nur in den Gruppen 2 und 3 signifikant (vgl. Tabelle 8).

**Tabelle 8: Vergleichende Darstellung der mittleren *Excessive Instrument Force* der Versuche 1 und 6 innerhalb der Gruppen bei den Übungen *MB1, PB2, RR2* und *ED3***

| Übung | Gruppe | Versuch | mittlere *Excessive Instrument Force* [s] | SD [s] | p-Wert |
|---|---|---|---|---|---|
| *Match Board 1* | 1 | 1 | 0,10 (100%) | 0,45 | 0,330 |
| | | 6 | 0,00 (100%) | 0,00 | |
| | 2 | 1 | 0,15 (100%) | 0,67 | 0,330 |
| | | 6 | 0,00 (100%) | 0,00 | |
| | 3 | 1 | 0,50 (100%) | 1,47 | 0,144 |
| | | 6 | 0,00 (100%) | 0,00 | |
| *Peg Board 2* | 1 | 1 | 0,25 (100%) | 0,91 | 0,234 |
| | | 6 | 0,00 (100%) | 0,00 | |
| | 2 | 1 | 0,50 (100%) | 1,47 | 0,144 |
| | | 6 | 0,00 (100%) | 0,00 | |
| | 3 | 1 | 1,10 (100%) | 2,81 | 0,096 |
| | | 6 | 0,00 (100%) | 0,00 | |
| *Ring & Rail 2* | 1 | 1 | 7,80 (28%) | 14,20 | 0,281 |
| | | 6 | 3,65 (79%) | 8,88 | |
| | 2 | 1 | 13,60 (0%) | 22,77 | **0,039** |
| | | 6 | 2,25 (97%) | 3,96 | |
| | 3 | 1 | 13,50 (0%) | 13,76 | **0,035** |
| | | 6 | 7,75 (28%) | 8,68 | |
| *Energy & Dissection 3* | 1 | 1 | 0,00 (100%) | 0,00 | - |
| | | 6 | 0,00 (100%) | 0,00 | |
| | 2 | 1 | 0,05 (99%) | 0,22 | 0,330 |
| | | 6 | 0,00 (100%) | 0,00 | |
| | 3 | 1 | 3,70 (26%) | 16,31 | 0,323 |
| | | 6 | 0,00 (100%) | 0,00 | |

### 3.1.5.3 *Instruments Out Of View*

Bei dem Parameter *Instruments Out Of View* gab es in keiner der vier Übungen einen signifikanten Unterschied vom ersten zum letzten Versuch (vgl. Tabelle 9).

**Tabelle 9: Vergleichende Darstellung der mittleren *Instruments Out Of View* der Versuche 1 und 6 innerhalb der Gruppen bei den Übungen *MB1, PB2, RR2* und *ED3***

| Übung | Gruppe | Versuch | mittlere *Instruments Out Of View* [cm] | SD [cm] | p-Wert |
|---|---|---|---|---|---|
| Match Board 1 | 1 | 1 | 0,15 (97%) | 0,67 | 0,330 |
| | | 6 | 0,00 (100%) | 0,00 | |
| | 2 | 1 | 0,20 (96%) | 0,70 | 0,214 |
| | | 6 | 0,00 (100%) | 0,00 | |
| | 3 | 1 | 0,35 (93%) | 0,99 | 0,130 |
| | | 6 | 0,00 (100%) | 0,00 | |
| Peg Board 2 | 1 | 1 | 0,00 (100%) | 0,00 | - |
| | | 6 | 0,00 (100%) | 0,00 | |
| | 2 | 1 | 0,00 (100%) | 0,00 | - |
| | | 6 | 0,00 (100%) | 0,00 | |
| | 3 | 1 | 0,00 (100%) | 0,00 | - |
| | | 6 | 0,00 (100%) | 0,00 | |
| Ring & Rail 2 | 1 | 1 | 0,70 (86%) | 1,26 | 0,437 |
| | | 6 | 0,45 (91%) | 1,19 | |
| | 2 | 1 | 2,00 (60%) | 6,51 | 0,204 |
| | | 6 | 0,20 (96%) | 0,52 | |
| | 3 | 1 | 2,65 (47%) | 3,42 | 0,248 |
| | | 6 | 1,65 (67%) | 2,56 | |
| *Energy & Dissection 3* | 1 | 1 | 0,00 (100%) | 0,00 | - |
| | | 6 | 0,00 (100%) | 0,00 | |
| | 2 | 1 | 0,00 (100%) | 0,00 | - |
| | | 6 | 0,00 (100%) | 0,00 | |
| | 3 | 1 | 0,55 (89%) | 2,46 | 0,330 |
| | | 6 | 0,00 (100%) | 0,00 | |

#### 3.1.5.4 *Master Workspace Range*

Wie aus Tabelle 10 ersichtlich ist, zeigte in den ersten beiden Übungen (*MB1* und *PB2*) lediglich Gruppe 3 signifikante Verbesserungen vom ersten zum letzten Versuch.

In der Übung *Ring & Rail 2* gab es in keiner der Gruppen signifikante Unterschiede von Versuch 1 zu Versuch 6. Dagegen verbesserte sich Gruppe 2 in der letzten Übung (*ED3*) als einzige signifikant (Wdh. 1 9,3 cm vs. Wdh. 2 8,15 cm; p=0,012).

**Tabelle 10: Vergleichende Darstellung des mittleren *Master Workspace Range* der Versuche 1 und 6 innerhalb der Gruppen bei den Übungen *MB1, PB2, RR2* und *ED3***

| Übung | Gruppe | Versuch | mittlerer *Master Workspace Range* [cm] | | SD [cm] | p-Wert |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Match Board 1 | 1 | 1 | 10,35 | (93%) | 2,28 | 0,553 |
| | | 6 | 9,90 | (100%) | 2,02 | |
| | 2 | 1 | 10,00 | (100%) | 2,20 | 0,722 |
| | | 6 | 10,25 | (95%) | 2,47 | |
| | 3 | 1 | 12,05 | (59%) | 1,43 | **0,024** |
| | | 6 | 10,60 | (88%) | 2,16 | |
| Peg Board 2 | 1 | 1 | 10,00 | (100%) | 2,36 | 0,083 |
| | | 6 | 10,60 | (88%) | 2,35 | |
| | 2 | 1 | 10,30 | (94%) | 1,69 | 0,742 |
| | | 6 | 10,45 | (91%) | 1,85 | |
| | 3 | 1 | 11,85 | (63%) | 1,53 | **0,041** |
| | | 6 | 10,60 | (88%) | 2,66 | |
| Ring & Rail 2 | 1 | 1 | 9,40 | (100%) | 1,73 | 0,096 |
| | | 6 | 8,65 | (100%) | 1,57 | |
| | 2 | 1 | 9,65 | (100%) | 1,81 | 0,654 |
| | | 6 | 9,85 | (100%) | 1,73 | |
| | 3 | 1 | 10,65 | (87%) | 1,60 | 0,292 |
| | | 6 | 11,15 | (77%) | 2,32 | |
| *Energy & Dissection 3* | 1 | 1 | 8,00 | (100%) | 1,86 | 0,149 |
| | | 6 | 8,70 | (100%) | 2,08 | |
| | 2 | 1 | 9,30 | (100%) | 2,25 | **0,012** |
| | | 6 | 8,15 | (100%) | 1,57 | |
| | 3 | 1 | 9,05 | (100%) | 2,35 | 0,142 |
| | | 6 | 7,90 | (100%) | 2,25 | |

#### 3.1.5.5 *Drops*

Bei dem Parameter *Drops* zeigte sich in allen Gruppen und Übungen im Mittel eine geringe Anzahl stattgefundener Ereignisse. Jede Gruppe verbesserte sich vom ersten zum letzten Versuch. Einzig die Verbesserung der Gruppe 1 in der Übung *Peg Board 2* war signifikant (Wdh. 1 n=0,60 vs. Wdh. 6 n=0,15; p=0,016; vgl. Tabelle 11).

**Tabelle 11: Vergleichende Darstellung der mittleren *Drops* der Versuche 1 und 6 innerhalb der Gruppen bei den Übungen *MB1*, *PB2*, *RR2* und *ED3***

| Übung | Gruppe | Versuch | mittlere *Drops* [n] | SD [n] | p-Wert |
|---|---|---|---|---|---|
| Match Board 1 | 1 | 1 | 0,25 (95%) | 0,55 | 0,056 |
| | | 6 | 0,00 (100%) | 0,00 | |
| | 2 | 1 | 0,25 (95%) | 0,55 | 0,104 |
| | | 6 | 0,05 (99%) | 0,22 | |
| | 3 | 1 | 0,15 (97%) | 0,37 | 0,163 |
| | | 6 | 0,05 (99%) | 0,22 | |
| Peg Board 2 | 1 | 1 | 0,60 (88%) | 0,75 | **0,016** |
| | | 6 | 0,15 (97%) | 0,37 | |
| | 2 | 1 | 0,45 (91%) | 0,89 | 0,505 |
| | | 6 | 0,30 (94%) | 0,47 | |
| | 3 | 1 | 0,65 (87%) | 0,81 | 0,058 |
| | | 6 | 0,20 (96%) | 0,52 | |
| Ring & Rail 2 | 1 | 1 | 0,15 (97%) | 0,37 | 0,083 |
| | | 6 | 0,00 (100%) | 0,00 | |
| | 2 | 1 | 0,20 (96%) | 0,41 | 0,789 |
| | | 6 | 0,25 (95%) | 0,72 | |
| | 3 | 1 | 0,05 (99%) | 0,22 | 0,577 |
| | | 6 | 0,10 (98%) | 0,31 | |

#### 3.1.5.6 *Misapplied Energy Time, Blood Loss Volume* und *Broken Vessels* der Übung *Energy & Dissection 3*

Die Parameter *Misapplied Energy Time, Blood Loss Volume* und *Broken Vessels* kommen lediglich in der Übung *Energy & Dissection 3* vor.

Bei dem Parameter ***Misapplied Energy Time*** gab es in keiner der drei Gruppen einen signifikanten Unterschied vom ersten zum letzten Versuch (vgl. Tabelle 12).

In dem Parameter ***Blood Loss Volume*** verbesserte sich jede Gruppe vom ersten zum letzten Versuch. Diese Verbesserung war jedoch nur in Gruppe 2 signifikant (Wdh. 1 78,50 ml vs. Wdh. 6 11,85 ml; p=0,019; vgl. Tabelle 12).

Bei dem Parameter ***Broken Vessels*** starteten alle Gruppen bereits mit einer geringen Anzahl an Gefäßverletzungen. Im letzten Versuch konnten alle Gruppen derartige Verletzungen vermeiden. Ein signifikanter Unterschied vom ersten zum sechsten Versuch bestand nicht (vgl. Tabelle 12).

**Tabelle 12: Vergleichende Darstellung der mittleren *Misapplied Energy Time*, *Blood Loss Volume* und *Broken Vessels* der Versuche 1 und 6 innerhalb der Gruppen in der Übung *Energy & Dissection 3***

| Parameter | Gruppe | Versuch | Mittelwert | | SD | p-Wert |
|---|---|---|---|---|---|---|
| mittlere *Misapplied Energy Time* [s] | 1 | 1 | 9,10 | (73%) | 4,09 | 0,428 |
| | | 6 | 8,25 | (78%) | 2,20 | |
| | 2 | 1 | 9,40 | (71%) | 3,72 | 0,398 |
| | | 6 | 8,60 | (76%) | 3,02 | |
| | 3 | 1 | 11,35 | (58%) | 2,91 | 0,646 |
| | | 6 | 11,90 | (54%) | 5,85 | |
| mittlere *Blood Loss Volume* [ml] | 1 | 1 | 39,65 | (21%) | 46,45 | 0,160 |
| | | 6 | 21,60 | (57%) | 22,83 | |
| | 2 | 1 | 78,50 | (0%) | 110,68 | **0,019** |
| | | 6 | 11,85 | (76%) | 15,85 | |
| | 3 | 1 | 64,80 | (0%) | 74,62 | 0,088 |
| | | 6 | 29,00 | (42%) | 34,08 | |
| mittlere *Broken Vessels* [n] | 1 | 1 | 0,00 | (100%) | 0,00 | - |
| | | 6 | 0,00 | (100%) | 0,00 | |
| | 2 | 1 | 0,05 | (95%) | 0,22 | 0,330 |
| | | 6 | 0,00 | (100%) | 0,00 | |
| | 3 | 1 | 0,05 | (95%) | 0,22 | 0,330 |
| | | 6 | 0,00 | (100%) | 0,00 | |

## 3.2 Ergebnisse des Gruppenvergleichs

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der verschiedenen Gruppen miteinander verglichen. Hierfür werden einander die arithmetischen Mittelwerte der Ergebnisse jeweils zweier Gruppen in den Versuchen 1 und 6 gegenübergestellt.

### 3.2.1 *Overall Score*

#### Übung *Match Board 1*

Zwischen den Gruppen 1 und 2 zeigte sich weder im ersten (Gruppe 1 67,75% vs. Gruppe 2 67,60%; p=0,956) noch im sechsten Versuch (Gr. 1 82,20% vs. Gr. 2 80,55%; p=0,474) ein signifikanter Unterschied. Mit Differenzen von 7% zu beiden Gruppen in Versuch 1 sowie von 7% zu Gruppe 1 und von 5% zu Gruppe 2 in Versuch 6 war Gruppe 3 in beiden Versuchen signifikant schlechter (vgl. Tabelle 13).

**Tabelle 13: Darstellung des mittleren *Overall Score* der Versuche 1 und 6 im Gruppenvergleich bei der Übung *Match Board 1***

| Übung | Gruppe | Versuch 1 | | | Versuch 6 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Mittelwert [%] | SD [%] | p-Wert | Mittelwert [%] | SD [%] | p-Wert |
| *Match Board 1* | 1 | 67,75 | 9,90 | 0,956 | 82,20 | 5,71 | 0,474 |
| | 2 | 67,60 | 6,93 | | 80,55 | 8,44 | |
| | 1 | 67,75 | 9,90 | **0,017** | 82,20 | 5,71 | **0,001** |
| | 3 | 60,45 | 8,54 | | 75,10 | 6,32 | |
| | 2 | 67,60 | 6,93 | **0,006** | 80,55 | 8,44 | **0,026** |
| | 3 | 60,45 | 8,54 | | 75,10 | 6,32 | |

### Übung *Peg Board 2*

In der Übung *Peg Board 2* zeigte sich ein ähnliches Muster wie in der Übung *Match Board 1*. In den Versuchen 1 und 6 gab es zwischen der ersten und der zweiten Gruppe keine signifikanten Unterschiede. Gruppe 3 startete im ersten Versuch dagegen signifikant schlechter als die anderen Gruppen. Im Vergleich zu Gruppe 1 blieb dies im sechsten Versuch so (Gruppe 1 93,85% vs. Gruppe 3 89,45%; p=0,002; vgl. Tabelle 14).

**Tabelle 14: Darstellung des mittleren *Overall Score* der Versuche 1 und 6 im Gruppenvergleich bei der Übung *Peg Board 2***

| Übung | Gruppe | Versuch 1 | | | Versuch 6 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Mittelwert [%] | SD [%] | p-Wert | Mittelwert [%] | SD [%] | p-Wert |
| *Peg Board 2* | 1 | 78,85 | 10,74 | 0,921 | 93,85 | 3,33 | 0,061 |
| | 2 | 79,15 | 8,01 | | 89,45 | 9,45 | |
| | 1 | 78,85 | 10,74 | **0,035** | 93,85 | 3,33 | **0,002** |
| | 3 | 70,10 | 14,32 | | 89,10 | 5,51 | |
| | 2 | 79,15 | 8,01 | **0,020** | 89,45 | 9,45 | 0,887 |
| | 3 | 70,10 | 14,32 | | 89,10 | 5,51 | |

### Übung *Ring & Rail 2*

Aus Tabelle 15 geht hervor, dass zwischen den Ergebnissen aller Gruppen im ersten Versuch kein signifikanter Unterschied bestand. Im Gegensatz hierzu erreichte Gruppe 3 im sechsten Versuch signifikant geringere Werte als die Gruppen 1 und 2.

**Tabelle 15: Darstellung des mittleren *Overall Score* der Versuche 1 und 6 im Gruppenvergleich bei der Übung *Ring & Rail 2***

| Übung | Gruppe | Versuch 1 | | | Versuch 6 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Mittelwert [%] | SD [%] | p-Wert | Mittelwert [%] | SD [%] | p-Wert |
| *Ring & Rail 2* | 1 | 61,95 | 14,29 | 0,913 | 86,10 | 11,46 | 0,188 |
| | 2 | 61,35 | 19,85 | | 80,80 | 13,47 | |
| | 1 | 61,95 | 14,29 | 0,136 | 86,10 | 11,46 | **0,000** |
| | 3 | 53,60 | 19,96 | | 63,65 | 19,03 | |
| | 2 | 61,35 | 19,85 | 0,226 | 80,80 | 13,47 | **0,002** |
| | 3 | 53,60 | 19,96 | | 63,65 | 19,03 | |

### Übung *Energy & Dissection 3*

In der Übung *Energy & Dissection 3* war Gruppe 1 mit 79% signifikant besser als Gruppe 3 mit 71% (p=0,039). Im letzten Versuch näherten sich die Gruppen 1 und 3 einander an, sodass keine signifikante Differenz mehr bestand (Gr. 1 90,20% vs. Gr. 3 86,80%; p=0,173). Gruppe 2 steigerte sich jedoch im Vergleich zu Gruppe 3 signifikant (Gr. 2 92,35% vs. Gr. 3 86,80%; p=0,024; vgl. Tabelle 16).

**Tabelle 16: Darstellung des mittleren *Overall Score* der Versuche 1 und 6 im Gruppenvergleich bei der Übung *Energy & Dissection 3***

| Übung | Gruppe | Versuch 1 | | | Versuch 6 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Mittelwert [%] | SD [%] | p-Wert | Mittelwert [%] | SD [%] | p-Wert |
| ***Energy & Dissection 3*** | 1 | 79,75 | 10,72 | 0,225 | 90,20 | 5,86 | 0,214 |
| | 2 | 75,70 | 10,05 | | 92,35 | 4,86 | |
| | 1 | 79,75 | 10,72 | **0,039** | 90,20 | 5,86 | 0,173 |
| | 3 | 71,05 | 14,65 | | 86,80 | 9,25 | |
| | 2 | 75,70 | 10,05 | 0,249 | 92,35 | 4,86 | **0,024** |
| | 3 | 71,05 | 14,65 | | 86,80 | 9,25 | |

### Lernkurven

Die Abbildung 9 und Abbildung 10 zeigen den durchschnittlich erreichten mittleren *Overall Score* der einzelnen Gruppen in allen sechs Wiederholungen. Auf den ersten Blick lässt sich eine Verbesserung aller Gruppen in allen vier Übungen erkennen.

In der Übung ***Match Board 1*** zeigten alle drei Gruppen einen ähnlichen Kurvenverlauf. Die Gruppen 1 und 2 begannen auf gleichem Niveau (Gr. 1 67,75% vs. Gr. 2 67,60%) und zeigten im weiteren Verlauf keine signifikanten Unterschiede (vgl. Anhang 10). Die dritte Gruppe startete und endete mit signifikant niedrigeren Werten (vgl. Anhang 11, Anhang 12). Mit 24,23% relativer Differenz zeigte Gruppe 3 die größte Verbesserung von Versuch 1 zu 6, gefolgt von Gruppe 1 (21,33%; vgl. Tabelle 17).

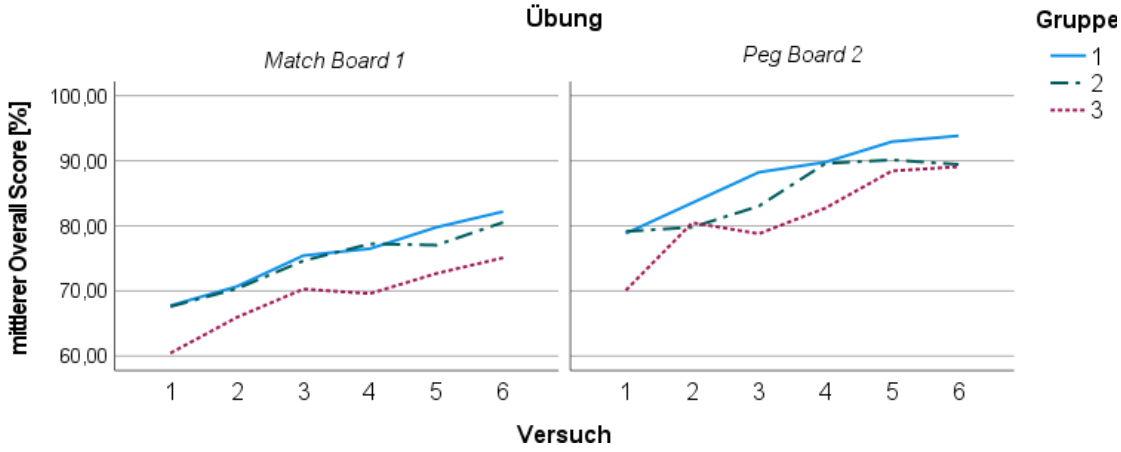


**Abbildung 9: Grafische Darstellung des mittleren *Overall Score* der Versuche 1 bis 6 bei den Übungen *Match Board 1* und *Peg Board 2***

Auch in der Übung ***Peg Board 2*** starteten die Gruppen 1 und 2 auf annähernd gleichem Niveau (Gr. 1 78,85% vs. Gr. 2 79,15%). Hier gab es ebenfalls keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Gruppen (vgl. Anhang 10). Die dritte Gruppe begann mit einer Differenz von >8% signifikant schlechter als die anderen beiden Gruppen (vgl. Tabelle 14). Im Verlauf von sechs Wiederholungen konnte Gruppe 3 – trotz zwischenzeitlich deutlicher Differenzen – zu Gruppe 2 aufschließen und endete mit ihr auf gleichem Niveau (Gr. 2 89,45% vs. Gr. 3 89,10%). Im Vergleich zu Gruppe 1 war Gruppe 3

in jedem Versuch – bis auf Versuch 2 – signifikant schlechter (vgl. Anhang 11). Gruppe 3 steigerte sich mit 27,10% erneut am meisten, gefolgt von Gruppe 1 mit 19,02% (vgl. Tabelle 17).

**Tabelle 17: relative Differenzen des mittleren *Overall Score* von Versuch 1 zu 6 in den Übungen *Match Board 1* und *Peg Board 2***

| Gruppe | Versuch | *Match Board 1* | | *Peg Board 2* | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Mittelwert [%] | relative Differenz zu Versuch 1 [%] | Mittelwert [%] | relative Differenz zu Versuch 1 [%] |
| 1 | 1 | 67,75 | - | 78,85 | - |
| | 6 | 82,20 | 21,33 | 93,85 | 19,02 |
| 2 | 1 | 67,60 | - | 79,15 | - |
| | 6 | 80,55 | 19,16 | 89,45 | 13,01 |
| 3 | 1 | 60,45 | - | 70,10 | - |
| | 6 | 75,10 | 24,23 | 89,10 | 27,10 |

Wie auch in den vorherigen Übungen starteten die Gruppen 1 und 2 in der Übung ***Ring & Rail 2*** auf gleichem Niveau (Gr. 1 61,95% vs. Gr. 2 61,35%) und Gruppe 3 mit einem deutlich niedrigeren Wert (53,60%). Gruppe 1 hatte durchgehend die höchsten Werte, Gruppe 3 die niedrigsten. Zwischen den Gruppen 1 und 2 gab es erneut zu keiner Zeit signifikante Differenzen (vgl. Anhang 10). Beide Gruppen waren in den letzten drei Wiederholungen signifikant besser als Gruppe 3 (vgl. Anhang 11, Anhang 12). Mit einem prozentualen Zuwachs von 38,98% zeigte Gruppe 1 in dieser Übung die stärkste Zunahme, gefolgt von Gruppe 2 (31,70%; vgl. Tabelle 18).

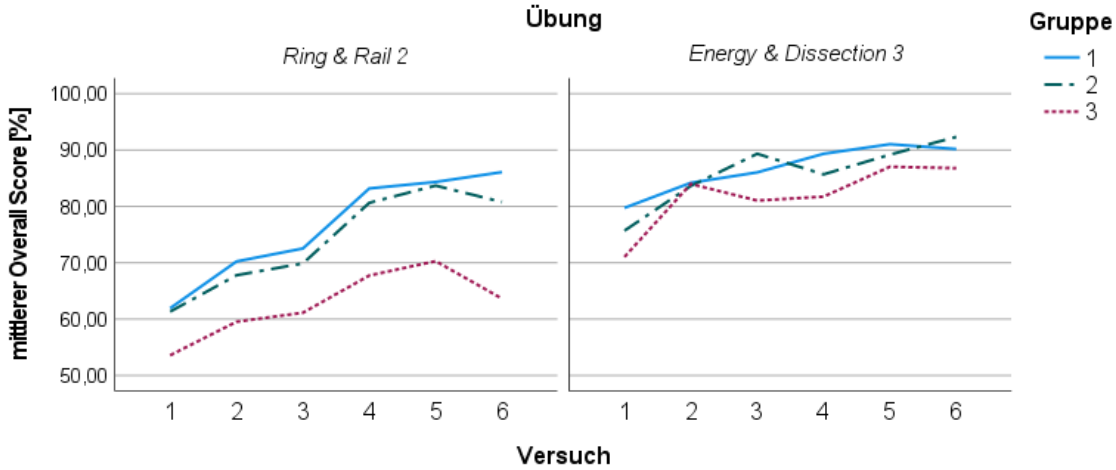


**Abbildung 10: Grafische Darstellung des mittleren *Overall Score* der Versuche 1 bis 6 bei den Übungen *Ring & Rail 2* und *Energy & Dissection 3***

In der Übung ***Energy & Dissection 3*** startete Gruppe 1 mit dem höchsten Wert, Gruppe 3 mit einem signifikant niedrigeren (Gr. 1 79,75% vs. Gr. 3 71,05%, p=0,039; vgl. Anhang 11). Zwischen den Gruppen 1 und 2 zeigten sich in keinem Versuch signifikante Differenzen (vgl. Anhang 10). Mit 22,17% relativer Differenz von Versuch 1 zu 6

steigerte sich Gruppe 3 am stärksten. Gruppe 2 lag mit 21,99% knapp dahinter (vgl. Tabelle 18).

**Tabelle 18: relative Differenzen des mittleren *Overall Score* von Versuch 1 zu 6 in den Übungen *Ring & Rail 2* und *Energy & Dissection 3***

| Gruppe | Versuch | *Ring & Rail 2* | | *Energy & Dissection 3* | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Mittelwert [%] | relative Differenz zu Versuch 1 [%] | Mittelwert [%] | relative Differenz zu Versuch 1 [%] |
| 1 | 1 | 61,95 | - | 79,75 | - |
| | 6 | 86,10 | 38,98 | 90,20 | 13,10 |
| 2 | 1 | 61,35 | - | 75,70 | - |
| | 6 | 80,80 | 31,70 | 92,35 | 21,99 |
| 3 | 1 | 53,60 | - | 71,05 | - |
| | 6 | 63,65 | 18,75 | 86,80 | 22,17 |

**Zusammenfassung**

Im Gesamten zeigte sich, dass die Gruppen 1 und 2 in allen vier Übungen nach dem sechsten Versuch einen *Overall Score* von ≥80% erreichten, was laut Hersteller als anzustrebendes Leistungsniveau gilt.[30] Gruppe 3 schaffte dies nur in zwei Übungen (*PB2* und *ED3*). Zudem wies Gruppe 1 im sechsten Versuch in drei von vier Übungen die höchsten Werte auf (*MB1*, *PB2*, *RR2*). Gruppe 3 hatte in allen Übungen, sowohl im ersten als auch im sechsten Versuch, die geringsten Werte. In den Übungen *Match Board 1*, *Peg Board 2* und *Energy & Dissection 3* zeigte Gruppe 3 die größten Steigerungen von Versuch 1 zu 6. In der Übung *Ring & Rail 2* hatte Gruppe 1 die stärkste Zunahme. Zwischen den Gruppen 1 und 2 zeigten sich in keiner der vier Übungen signifikante Unterschiede (vgl. Anhang 10). Demgegenüber ließen sich zwischen den Gruppen 1 und 3 die häufigsten signifikanten Unterschiede im Verlauf der Versuche ausmachen (vgl. Anhang 11).

### 3.2.2 *Time To Complete Exercise*

**Übung *Match Board 1***

Aus Tabelle 19 geht hervor, dass im ersten Versuch der Übung Match Board 1 zwischen den Gruppen keine signifikanten Unterschiede der benötigten Zeit bestanden. In Versuch 6 wies Gruppe 1 mit 162,15 Sekunden im Vergleich zu Gruppe 3 mit 207,65 Sekunden einen signifikant besseren Wert auf (p=0,000).

**Tabelle 19: Darstellung der mittleren *Time To Complete Exercise* der Versuche 1 und 6 im Gruppenvergleich bei der Übung *Match Board 1***

| Übung | Gruppe | Versuch 1 | | | Versuch 6 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Mittelwert [s] | SD [s] | p-Wert | Mittelwert [s] | SD [s] | p-Wert |
| ***Match Board 1*** | 1 | 304,70 | 69,05 | 0,457 | 162,15 | 24,72 | 0,302 |
| | 2 | 326,80 | 111,58 | | 176,55 | 55,99 | |
| | 1 | 304,70 | 69,05 | 0,126 | 162,15 | 24,72 | **0,000** |
| | 3 | 362,55 | 150,05 | | 207,65 | 41,58 | |
| | 2 | 326,80 | 111,58 | 0,398 | 176,55 | 55,99 | 0,053 |
| | 3 | 362,55 | 150,05 | | 207,65 | 41,58 | |

### Übung *Peg Board 2*

Sowohl in Versuch 1 als auch in Versuch 6 gab es in der Übung *Peg Board 2* keinen signifikanten Unterschied zwischen den drei Gruppen. Dennoch zeigte sich die Tendenz, dass Gruppe 3 sowohl im ersten als auch im letzten Versuch am langsamsten war (vgl. Tabelle 20).

**Tabelle 20: Darstellung der mittleren *Time To Complete Exercise* der Versuche 1 und 6 im Gruppenvergleich bei der Übung *Peg Board 2***

| Übung | Gruppe | Versuch 1 | | | Versuch 6 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Mittelwert [s] | SD [s] | p-Wert | Mittelwert [s] | SD [s] | p-Wert |
| ***Peg Board 2*** | 1 | 208,40 | 53,47 | 0,562 | 105,90 | 18,61 | 0,173 |
| | 2 | 198,95 | 48,45 | | 119,25 | 38,42 | |
| | 1 | 208,40 | 53,47 | 0,572 | 105,90 | 18,61 | 0,066 |
| | 3 | 219,20 | 65,62 | | 118,90 | 24,49 | |
| | 2 | 198,95 | 48,45 | 0,274 | 119,25 | 38,42 | 0,973 |
| | 3 | 219,20 | 65,62 | | 118,90 | 24,49 | |

### Übung *Ring & Rail 2*

Tabelle 21 ist zu entnehmen, dass zwischen den Gruppen im ersten Versuch der Übung *Ring & Rail 2* keine signifikanten Unterschiede vorlagen. In Versuch 6 verbesserte sich Gruppe 1 im Vergleich zu Gruppe 3 signifikant (Gr. 1 237,45 s vs. Gr. 3 318,95 s; p=0,004).

**Tabelle 21: Darstellung der mittleren *Time To Complete Exercise* der Versuche 1 und 6 im Gruppenvergleich bei der Übung *Ring & Rail 2***

| Übung | Gruppe | Versuch 1 | | | Versuch 6 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Mittelwert [s] | SD [s] | p-Wert | Mittelwert [s] | SD [s] | p-Wert |
| ***Ring & Rail 2*** | 1 | 455,35 | 113,44 | 0,457 | 237,45 | 55,12 | 0,257 |
| | 2 | 490,60 | 176,29 | | 264,65 | 90,26 | |
| | 1 | 455,35 | 113,44 | 0,760 | 237,45 | 55,12 | **0,004** |
| | 3 | 442,20 | 153,93 | | 318,95 | 103,34 | |
| | 2 | 490,60 | 176,29 | 0,361 | 264,65 | 90,26 | 0,085 |
| | 3 | 442,20 | 153,93 | | 318,95 | 103,34 | |

### Übung *Energy & Dissection 3*

Wie auch in allen vorherigen Übungen bestand in der Übung *Energy & Dissection 3* im ersten Versuch kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen. Alle drei Gruppen benötigten im letzten Versuch deutlich weniger Zeit und erreichten im Schnitt Ergebnisse von ≥99%. Ein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen bestand auch hier nicht (vgl. Tabelle 22).

**Tabelle 22: Darstellung der mittleren *Time To Complete Exercise* der Versuche 1 und 6 im Gruppenvergleich bei der Übung *Energy & Dissection 3***

| Übung | Gruppe | Versuch 1 | | | Versuch 6 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Mittelwert [s] | SD [s] | p-Wert | Mittelwert [s] | SD [s] | p-Wert |
| *Energy & Dissection 3* | 1 | 207,25 | 41,64 | 0,393 | 114,35 | 33,98 | 0,761 |
| | 2 | 222,00 | 63,82 | | 111,15 | 31,97 | |
| | 1 | 207,25 | 41,64 | 0,384 | 114,35 | 33,98 | 0,454 |
| | 3 | 220,70 | 54,09 | | 121,80 | 28,03 | |
| | 2 | 222,00 | 63,82 | 0,945 | 111,15 | 31,97 | 0,270 |
| | 3 | 220,70 | 54,09 | | 121,80 | 28,03 | |

### Lernkurven

In den Abbildung 11 und Abbildung 12 ist die durchschnittlich erreichte mittlere *Time To Complete Exercise* der einzelnen Gruppen in allen sechs Wiederholungen aufgezeigt. Die Gruppen 1 und 2 hatten zu keinem Zeitpunkt signifikant unterschiedliche Werte (vgl. Anhang 13). Ab dem vierten Versuch verbesserte sich Gruppe 1 durchgehend signifikant im Vergleich zu Gruppe 3 (vgl. Anhang 14).

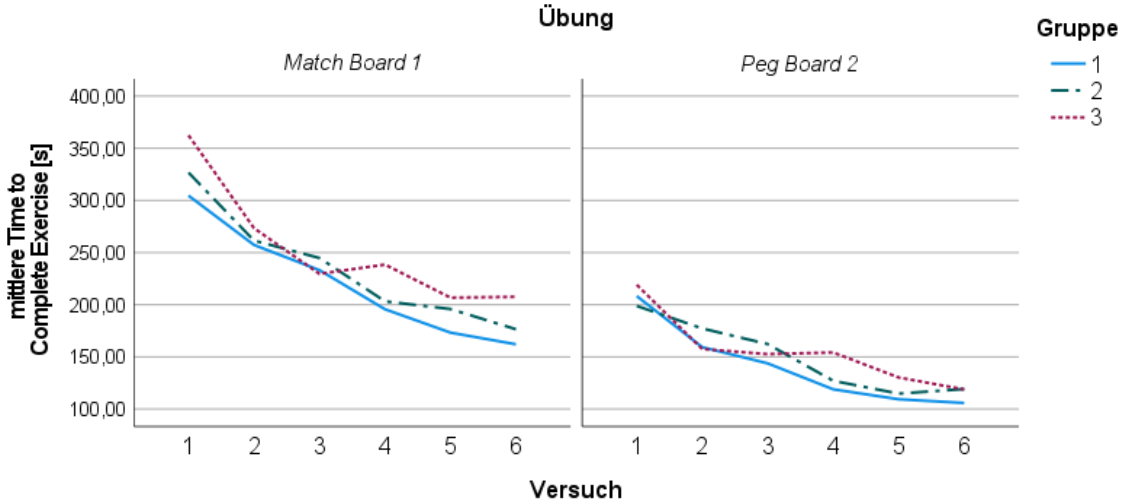


**Abbildung 11: Grafische Darstellung der mittleren *Time To Complete Exercise* der Versuche 1 bis 6 bei den Übungen *Match Board 1* und *Peg Board 2***

Auch in der Übung ***Peg Board 2*** zeigten die Gruppen 1 und 2 keine signifikanten Differenzen. Trotz zwischenzeitlicher Differenzen im Kurvenverlauf bestanden lediglich in Versuch 4 zwischen den Gruppen 1 und 3 sowie 2 und 3 signifikante Unterschiede (vgl. Anhang 13, Anhang 14, Anhang 15).

In beiden Übungen (*MB1*, *PB2*) wiesen alle drei Gruppen eine prozentuale Abnahme der mittleren *Time To Complete Exercise* von >40% auf. Mit relativen Differenzen von 46,78% (*MB1*) und 49,18% (*PB2*) zeigten sich in Gruppe 1 die größten Verbesserungen (vgl. Tabelle 23).

**Tabelle 23: relative Differenzen der mittleren *Time To Complete Exercise* von Versuch 1 zu 6 in den Übungen *Match Board 1* und *Peg Board 2***

| Gruppe | Versuch | *Match Board 1* | | *Peg Board 2* | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Mittelwert [s] | relative Differenz zu Versuch 1 [%] | Mittelwert [s] | relative Differenz zu Versuch 1 [%] |
| 1 | 1 | 304,70 | - | 208,40 | - |
| | 6 | 162,15 | 46,78 | 105,90 | 49,18 |
| 2 | 1 | 326,80 | - | 198,95 | - |
| | 6 | 176,55 | 45,98 | 119,25 | 40,06 |
| 3 | 1 | 362,55 | - | 219,20 | - |
| | 6 | 207,65 | 42,73 | 118,90 | 45,76 |

In der Übung ***Ring & Rail 2*** startete Gruppe 3 mit dem besten Wert, hatte im Vergleich zu den anderen beiden Gruppen jedoch einen flacheren Kurvenverlauf und zeigte mit 27,87% relativer Differenz eine deutlich geringere Verbesserung als die anderen beiden Gruppen (Gr. 1 47,85%, Gr. 2 46,06%; vgl. Tabelle 24). Signifikante Unterschiede zeigten sich lediglich zwischen den Gruppen 1 und 3 ab dem vierten Versuch (vgl. Anhang 13, Anhang 14, Anhang 15).

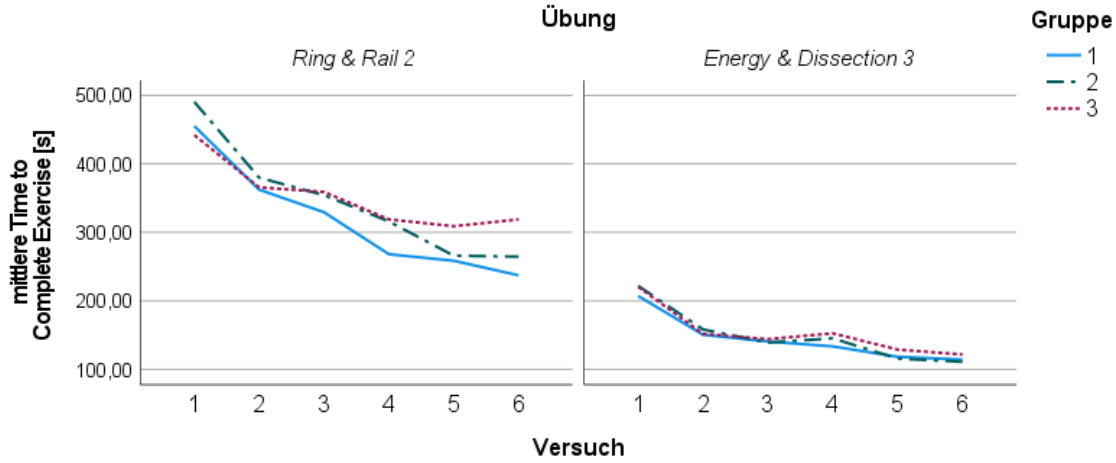


**Abbildung 12: Grafische Darstellung der mittleren *Time To Complete Exercise* der Versuche 1 bis 6 bei den Übungen *Ring & Rail 2* und *Energy & Dissection 3***

In der letzten Übung (***ED3***) lagen alle drei Gruppen zeitlich sehr nahe beieinander. Dies änderte sich auch im weiteren Verlauf nicht, sodass es hier zwischen keiner der Gruppen signifikante Unterschiede gab (vgl. Anhang 13, Anhang 14, Anhang 15). Gruppe 2 verbesserte sich mit 49,93% am stärksten (vgl. Tabelle 24).

**Tabelle 24: relative Differenzen der mittleren *Time To Complete Exercise* von Versuch 1 zu 6 in den Übungen *Ring & Rail 2* und *Energy & Dissection 3***

| Gruppe | Versuch | *Ring & Rail 2* | | *Energy & Dissection 3* | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Mittelwert [s] | relative Differenz zu Versuch 1 [%] | Mittelwert [s] | relative Differenz zu Versuch 1 [%] |
| 1 | 1 | 455,35 | - | 207,25 | - |
| | 6 | 237,45 | 47,85 | 114,35 | 44,83 |
| 2 | 1 | 490,60 | - | 222,00 | - |
| | 6 | 264,65 | 46,06 | 111,15 | 49,93 |
| 3 | 1 | 442,20 | - | 220,70 | - |
| | 6 | 318,95 | 27,87 | 121,80 | 44,81 |

**Zusammenfassung**

Insgesamt zeigt sich, dass alle Gruppen lediglich in der Übung *Energy & Dissection 3* den 80%-Wert erreichten. Allerdings wies Gruppe 1 im sechsten Versuch in drei von vier Übungen die höchsten Werte auf (*MB1*, *PB2*, *RR2*), Gruppe 3 die niedrigsten (*MB1*, *RR2*, *ED3*). Zudem zeigte Gruppe 1 in jeder Übung eine kontinuierliche Reduzierung der benötigten Zeit. Auch die zweite Gruppe zeigte in drei von vier Übungen eine durchgehende Verbesserung (*MB1, RR2, ED3*), während dies der Gruppe 3 in keiner Übung gelang. In drei von vier Übungen (*MB1*, *PB2*, *RR2*) zeigte Gruppe 1 die größte Verbesserung von Versuch 1 zu 6. Die Gruppen 1 und 2 zeigten – wie schon im *Overall Score* – zu keinem Zeitpunkt signifikante Unterschiede (vgl. Anhang 13). Zwischen den Gruppen 1 und 3 bestanden am häufigsten signifikante Differenzen (vgl. Anhang 14).

### 3.2.3 *Economy of Motion*

**Übung *Match Board 1***

In der Übung *Match Board 1* bestand zwischen den Gruppen 1 und 2 sowohl in Versuch 1 als auch in Versuch 6 kein signifikanter Unterschied. Die dritte Gruppe war im Vergleich zu den anderen beiden Gruppen sowohl im ersten als auch im sechsten Versuch signifikant schlechter (vgl. Tabelle 25).

**Tabelle 25: Darstellung der mittleren *Economy of Motion* der Versuche 1 und 6 im Gruppenvergleich bei der Übung *Match Board 1***

| Übung | Gruppe | Versuch 1 | | | Versuch 6 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Mittelwert [cm] | SD [cm] | p-Wert | Mittelwert [cm] | SD [cm] | p-Wert |
| ***Match Board 1*** | 1 | 335,30 | 80,68 | 0,466 | 235,90 | 39,94 | 0,125 |
| | 2 | 354,70 | 85,94 | | 262,55 | 64,27 | |
| | 1 | 335,30 | 80,68 | **0,005** | 235,90 | 39,94 | **0,000** |
| | 3 | 435,85 | 129,01 | | 301,30 | 54,09 | |
| | 2 | 354,70 | 85,94 | **0,025** | 262,55 | 64,27 | **0,046** |
| | 3 | 435,85 | 129,01 | | 301,30 | 54,09 | |

### Übung *Peg Board 2*

Aus Tabelle 26 ist ersichtlich, dass Gruppe 3 im Vergleich zu den anderen beiden Gruppen im ersten Versuch signifikant schlechtere Werte aufwies. In Versuch 6 zeigte sich ebenfalls ein signifikant besserer Wert von Gruppe 1 im Vergleich zu Gruppe 3 (Gr. 1 206,10 cm vs. Gr. 3 245,20 cm; p=0,000). Verglichen mit Gruppe 2 verbesserte sich Gruppe 1 signifikant (Gr. 1 206,10 cm vs. Gr. 2 244,35 cm; p=0,019). Lediglich zwischen den Gruppen 2 und 3 bestand kein signifikanter Unterschied mehr.

**Tabelle 26: Darstellung der mittleren *Economy of Motion* der Versuche 1 und 6 im Gruppenvergleich bei der Übung *Peg Board 2***

| Übung | Gruppe | Versuch 1 | | | Versuch 6 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Mittelwert [cm] | SD [cm] | p-Wert | Mittelwert [cm] | SD [cm] | p-Wert |
| ***Peg Board 2*** | 1 | 272,25 | 59,27 | 0,739 | 206,10 | 26,10 | **0,019** |
| | 2 | 277,90 | 46,18 | | 244,35 | 62,93 | |
| | 1 | 272,25 | 59,27 | **0,018** | 206,10 | 26,10 | **0,000** |
| | 3 | 324,65 | 73,46 | | 245,20 | 30,51 | |
| | 2 | 277,90 | 46,18 | **0,021** | 244,35 | 62,93 | 0,957 |
| | 3 | 324,65 | 73,46 | | 245,20 | 30,51 | |

### Übung *Ring & Rail 2*

In der Übung *Ring & Rail 2* bestand im ersten Versuch zwischen den Gruppen kein signifikanter Unterschied. Im sechsten Versuch verbesserte sich Gruppe 1 im Vergleich zu Gruppe 3 signifikant (Gr. 1 339,35 cm vs. Gr. 3 480,75 cm; p=0,000 vgl. Tabelle 27).

**Tabelle 27: Darstellung der mittleren *Economy of Motion* der Versuche 1 und 6 im Gruppenvergleich bei der Übung *Ring & Rail 2***

| Übung | Gruppe | Versuch 1 | | | Versuch 6 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Mittelwert [cm] | SD [cm] | p-Wert | Mittelwert [cm] | SD [cm] | p-Wert |
| ***Ring & Rail 2*** | 1 | 495,10 | 143,13 | 0,280 | 339,35 | 72,98 | 0,096 |
| | 2 | 557,50 | 210,51 | | 413,50 | 179,78 | |
| | 1 | 495,10 | 143,13 | 0,177 | 339,35 | 72,98 | **0,000** |
| | 3 | 569,35 | 194,21 | | 480,75 | 122,79 | |
| | 2 | 557,50 | 210,51 | 0,854 | 413,50 | 179,78 | 0,175 |
| | 3 | 569,35 | 194,21 | | 480,75 | 122,79 | |

### Übung *Energy & Dissection 3*

Tabelle 28 zeigt im ersten Versuch sowohl zwischen der ersten und zweiten als auch zwischen der ersten und dritten Gruppe einen signifikant besseren Wert für Gruppe 1. Im sechsten Versuch blieb der signifikante Unterschied zwischen den Gruppen 1 und 3 bestehen (Gr. 1 108,05 cm vs. Gr. 3 126,30 cm; p=0,038), während es zwischen den anderen Gruppen keine signifikanten Unterschiede gab.

**Tabelle 28: Darstellung der mittleren *Economy of Motion* der Versuche 1 und 6 im Gruppenvergleich bei der Übung *Energy & Dissection 3***

| Übung | Gruppe | Versuch 1 | | | Versuch 6 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Mittelwert [cm] | SD [cm] | p-Wert | Mittelwert [cm] | SD [cm] | p-Wert |
| *Energy & Dissection 3* | 1 | 144,85 | 28,69 | **0,046** | 108,05 | 24,18 | 0,222 |
| | 2 | 177,85 | 64,49 | | 118,85 | 30,45 | |
| | 1 | 144,85 | 28,69 | **0,001** | 108,05 | 24,18 | **0,038** |
| | 3 | 193,25 | 54,71 | | 126,30 | 29,17 | |
| | 2 | 177,85 | 64,49 | 0,421 | 118,85 | 30,45 | 0,434 |
| | 3 | 193,25 | 54,71 | | 126,30 | 29,17 | |

### Lernkurven

Die Abbildung 13 und Abbildung 14 veranschaulichen die durchschnittlich erreichte mittlere *Economy of Motion* der einzelnen Gruppen in allen sechs Wiederholungen.

Zwischen der ersten und zweiten Gruppe bestanden in der Übung ***Match Board 1*** in keinem der Versuche signifikante Unterschiede (vgl. Anhang 16). Die dritte Gruppe war in jedem Versuch – bis auf Versuch 3 – signifikant schlechter als Gruppe 1 (vgl. Anhang 17). Trotz zwischenzeitlicher Annäherungen zeigte auch Gruppe 2 zum Schluss signifikant bessere Werte (vgl. Anhang 18). Dennoch zeigte Gruppe 3 mit einer relativen Differenz von 30,87% die größte Steigerung von Versuch 1 zu 6, dicht gefolgt von Gruppe 1 (29,65%, vgl. Tabelle 29).

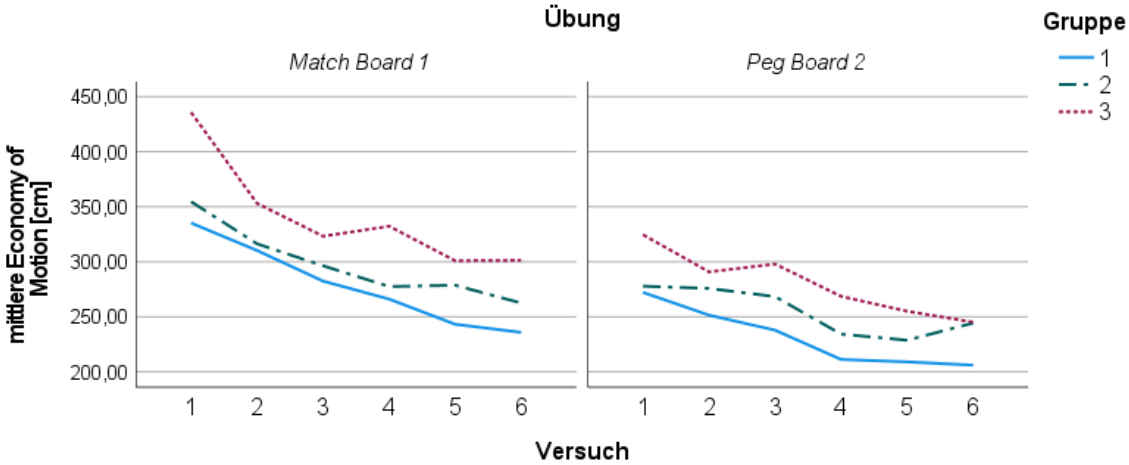


**Abbildung 13: Grafische Darstellung der mittleren *Economy of Motion* der Versuche 1 bis 6 bei den Übungen *Match Board 1* und *Peg Board 2***

In der Übung ***Peg Board 2*** zeigte Gruppe 1 ab dem dritten Versuch erstmals signifikant bessere Werte als Gruppe 2 (vgl. Anhang 16). Die dritte Gruppe startete auch hier signifikant schlechter (vgl. Anhang 17, Anhang 18), konnte jedoch zu Gruppe 2 aufschließen und endete mir ihr auf gleichem Niveau (Gr. 2 244,35 cm vs. Gr. 3 245,20 cm, vgl. Anhang 18). Im Vergleich zur ersten Gruppe war die dritte in allen Versuchen signifikant schlechter (vgl. Anhang 17). Mit relativen Differenzen von 24,30% (Gr. 1) und 24,47% (Gr. 3) lagen beide Gruppen deutlich vor Gruppe 2 (12,07%; vgl. Tabelle 29).

**Tabelle 29: relative Differenzen der mittleren *Economy of Motion* von Versuch 1 zu 6 in den Übungen *Match Board 1* und *Peg Board 2***

| | | *Match Board 1* | | *Peg Board 2* | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Gruppe** | **Versuch** | **Mittelwert [cm]** | **relative Differenz zu Versuch 1 [%]** | **Mittelwert [cm]** | **relative Differenz zu Versuch 1 [%]** |
| **1** | 1 | 335,30 | - | 272,25 | - |
| | 6 | 235,90 | 29,65 | 206,10 | 24,30 |
| **2** | 1 | 354,70 | - | 277,90 | - |
| | 6 | 262,55 | 25,98 | 244,35 | 12,07 |
| **3** | 1 | 435,85 | - | 324,65 | - |
| | 6 | 301,30 | 30,87 | 245,20 | 24,47 |

Die Ergebnisse zwischen den Gruppen 1 und 3 wichen im Verlauf der Übung ***Ring & Rail 2*** zunehmend voneinander ab, sodass ab dem vierten Versuch signifikante Unterschiede zugunsten der ersten Gruppe bestanden (vgl. Anhang 17). Zwischen den Gruppen 1 und 2 sowie 2 und 3 zeigten sich kaum signifikante Differenzen (vgl. Anhang 16, Anhang 18). Gruppe 1 wies mit 31,46% die größte Verbesserung vom ersten zum sechsten Versuch auf, gefolgt von Gruppe 2 (25,83%, vgl. Tabelle 30).

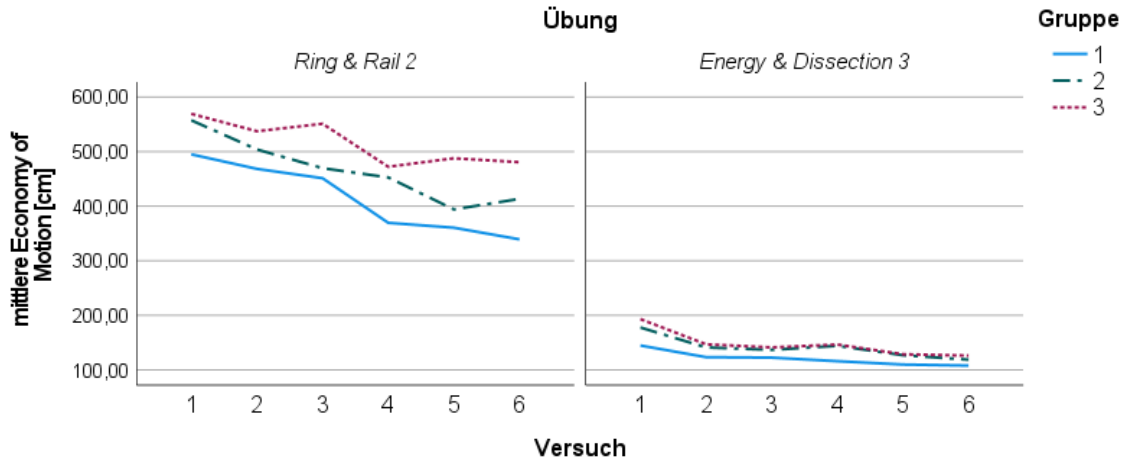


**Abbildung 14: Grafische Darstellung der mittleren *Economy of Motion* der Versuche 1 bis 6 bei den Übungen *Ring & Rail 2* und *Energy & Dissection 3***

In der Übung ***Energy & Dissection 3*** zeigten die Gruppen 2 und 3 einen sehr ähnlichen Kurvenverlauf. Hier ließen sich keine signifikanten Unterschiede erkennen (vgl. Anhang 18). Gruppe 1 startete signifikant besser als die anderen Gruppen (vgl. Anhang 16, Anhang 17). Im weiteren Verlauf bestand zwischen den Gruppen 1 und 2 kein signifikanter Unterschied mehr (vgl. Anhang 16). Die dritte Gruppe zeigte hier die stärkste Verbesserung (34,64%), dicht gefolgt von Gruppe 2 mit 33,17% (vgl. Tabelle 30).

**Tabelle 30: relative Differenzen der mittleren *Economy of Motion* von Versuch 1 zu 6 in den Übungen *Ring & Rail 2* und *Energy & Dissection 3***

| | | *Ring & Rail 2* | | *Energy & Dissection 3* | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Gruppe** | **Versuch** | **Mittelwert [cm]** | **relative Differenz zu Versuch 1 [%]** | **Mittelwert [cm]** | **relative Differenz zu Versuch 1 [%]** |
| **1** | 1 | 495,10 | - | 144,85 | - |
| | 6 | 339,35 | 31,46 | 108,05 | 25,41 |
| **2** | 1 | 557,50 | - | 177,85 | - |
| | 6 | 413,50 | 25,83 | 118,85 | 33,17 |
| **3** | 1 | 569,35 | - | 193,25 | - |
| | 6 | 480,75 | 15,56 | 126,30 | 34,64 |

**Zusammenfassung**

Im Ganzen betrachtet erreichte Gruppe 1 in allen vier Übungen den 80%-Wert. Die Gruppen 2 und 3 überschritten diesen Wert in zwei Übungen (*PB2*, *ED3*). Zudem erzielte die erste Gruppe in allen vier Übungen durchgehend die besten Ergebnisse und zeigte – wie schon bei den Parametern *Overall Score* und *Time To Complete Exercise* – in jeder Übung eine kontinuierliche Leistungssteigerung. Gruppe 3 hatte durchgehend die schlechtesten Werte. Sie zeigte jedoch in drei von vier Übungen (*MB1*, *PB2*, *ED3*) die größten Verbesserungen. Zwischen den Gruppen 1 und 2 ließen sich die wenigsten signifikanten Unterschiede erkennen (vgl. Anhang 16). Zwischen den Gruppen 1 und 3 bestanden auch hier die häufigsten signifikanten Differenzen (vgl. Anhang 16, Anhang 17, Anhang 18).

### 3.2.4 Vergleich der Gesamtzeit

Tabelle 31 stellt die durchschnittliche Zeit, die die Probanden einer Gruppe pro Tag benötigten, einer zweiten Gruppe vergleichend gegenüber.

Am ersten Tag (Wdh 1-3) zeigte sich in keiner Übung ein signifikanter Unterschied zwischen den drei Gruppen (vgl. Anhang 3). Am zweiten Tag (Wdh 4-6) verbesserte sich Gruppe 1 im Vergleich zu Gruppe 3 in drei von vier Übungen (*MB1*, *PB2*, *RR2*) signifikant (vgl. Anhang 3) und wies auch am Ende dieses Tages einen insgesamt signifikant besseren Wert auf (Gr. 1 33,35 min vs. Gr. 3 40,05 min; p=0,001; vgl. Tabelle 31).

Gruppe 1 benötigte an beiden Tagen in jeder Übung am wenigsten Zeit und reduzierte die durchschnittlich benötigte Gesamtzeit von Tag 1 zu Tag 2 um 15,85 Minuten. Die zweite Gruppe verbesserte sich um 16,00 Minuten, die dritte Gruppe um 11,30 Minuten.

**Tabelle 31: Benötigte Gesamtzeit [min] der einzelnen Übungen pro Tag sowie der Gesamtzeit aller Übungen eines Tages im Gruppenvergleich**

| Tag | Gruppe | *Match Board 1* | *Peg Board 2* | *Ring & Rail 2* | *Energy & Dissection 3* | Gesamtzeit | p-Wert |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 13,20 | 8,60 | 19,10 | 8,30 | 49,20 ±7,69 | 0,395 |
| | 2 | 13,95 | 9,00 | 20,45 | 8,60 | 51,90 ±11,74 | |
| | 1 | 13,20 | 8,60 | 19,10 | 8,30 | 49,20 ±7,69 | 0,471 |
| | 3 | 14,35 | 8,85 | 19,35 | 8,55 | 51,35 ±10,76 | |
| | 2 | 13,95 | 9,00 | 20,45 | 8,60 | 51,90 ±11,74 | 0,878 |
| | 3 | 14,35 | 8,85 | 19,35 | 8,55 | 51,35 ±10,76 | |
| 2 | 1 | 8,85 | 5,65 | 12,75 | 6,05 | 33,35 ±4,11 | 0,282 |
| | 2 | 9,55 | 6,05 | 14,05 | 6,15 | 35,90 ±9,53 | |
| | 1 | 8,85 | 5,65 | 12,75 | 6,05 | 33,35 ±4,11 | **0,001** |
| | 3 | 11,00 | 6,70 | 15,80 | 6,65 | 40,05 ±6,96 | |
| | 2 | 9,55 | 6,05 | 14,05 | 6,15 | 35,90 ±9,53 | 0,124 |
| | 3 | 11,00 | 6,70 | 15,80 | 6,65 | 40,05 ±6,96 | |

### 3.2.5 Analyse weiterer Parameter

#### 3.2.5.1 *Instrument Collisions*

Bei dem Parameter *Instrument Collisions* bestand der einzige signifikante Unterschied zwischen den Gruppen darin, dass Gruppe 1 im letzten Versuch der Übung *Ring & Rail 2* signifikant besser abschnitt als Gruppe 3 (Gr. 1 n=0,95 vs. Gr. 3 n=2,60; p=0,007; vgl. Anhang 4). Die dritte Gruppe erzielte im ersten Versuch in drei Übungen (*MB1*, *PB2*, *ED3*) im Mittel die schlechtesten Ergebnisse, konnte sich bis zum letzten Versuch, verglichen mit den anderen beiden Gruppen, jedoch deutlich verbessern (vgl. Abbildung 15). Alle Gruppen erreichten bis zum sechsten Versuch den 80%-Wert.

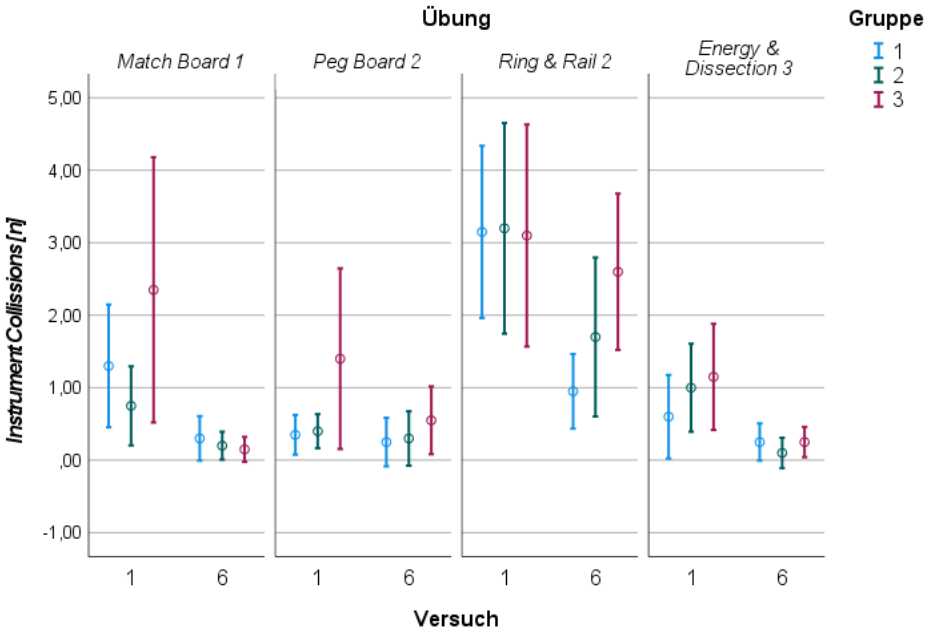


**Abbildung 15: Grafische Darstellung der** mittleren Instrument ***Collisions*** **der Versuche 1 und 6 im Gruppenvergleich bei den Übungen *MB1, PB2, RR2* und *ED3***

### 3.2.5.2 *Excessive Instrument Force*

In den Übungen *Match Board 1*, *Peg Board 2* und *Energy & Dissection 3* zeigten sich weder in Versuch 1 noch in Versuch 6 signifikante Differenzen zwischen den Gruppen. Hier erreichten alle Gruppen die 80%-Grenze. Auch in der Übung *Ring & Rail 2* unterschieden sie sich zu Beginn nicht signifikant (vgl. Anhang 5). In Versuch 6 verbesserte sich Gruppe 2 im Vergleich zu Gruppe 3 signifikant (Gr. 2 2,25 s vs. Gr. 3 7,75 s; p=0,016; vgl. Anhang 5). Gruppe 2 überschritt in dieser Übung als einzige den 80%-Wert (vgl. Abbildung 16).

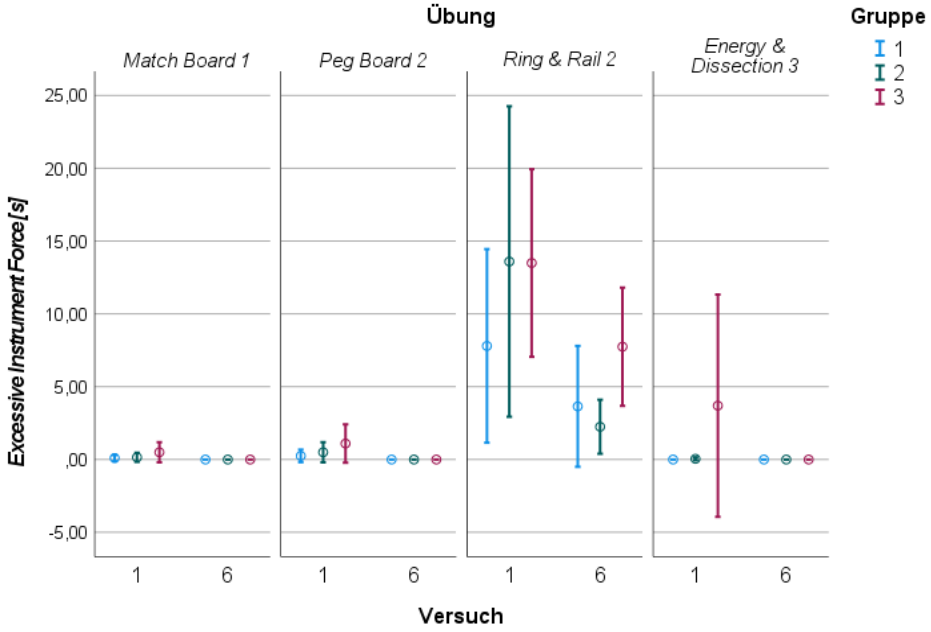


**Abbildung 16: Grafische Darstellung der mittleren *Excessive Instrument Force* der Versuche 1 und 6 im Gruppenvergleich bei den Übungen *MB1, PB2, RR2* und *ED3***

### 3.2.5.3 *Instruments Out Of View*

Bei dem Parameter *Instruments Out Of View* bestanden bei drei von vier Übungen (*MB1, PB2*, *ED3*) keine signifikanten Unterschiede zwischen den drei Gruppen. In der Übung *Ring & Rail 2* zeigte Gruppe 1 zu Beginn ein signifikant besseres Ergebnis als Gruppe 3 (Gr. 1 0,70 cm vs. Gr. 3 2,65 cm; p=0,025; vgl. Anhang 6). Auch im letzten Versuch waren die Instrumente bei Gruppe 1 seltener außerhalb des Sichtfeldes als bei Gruppe 3. Dieser Unterschied war jedoch nicht mehr signifikant (Gr. 1 0,45 cm vs. Gr. 3 1,65 cm; p=0,06; vgl. Anhang 6). Die Gruppen erreichten in allen vier Übungen den 80%-Wert (vgl. Abbildung 17).

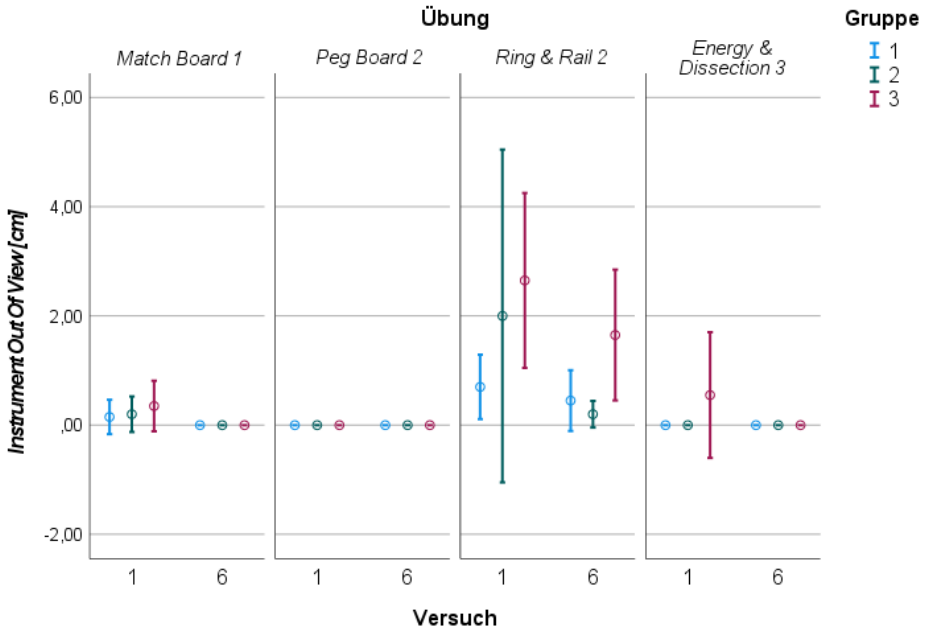


**Abbildung 17: Grafische Darstellung der mittleren *Instruments Out Of View* der Versuche 1 und 6 im Gruppenvergleich bei den Übungen *MB1, PB2, RR2* und *ED3***

### 3.2.5.4 *Master Workspace Range*

Die dritte Gruppe startete in den Übungen *Match Board 1* und *Peg Board 2* signifikant schlechter als die anderen beiden Gruppen. Im letzten Versuch konnte sie sich deutlich verbessern, sodass zwischen keiner der Gruppen mehr ein signifikanter Unterschied bestand. Den 80%-Wert erreichten die Gruppen 1 und 2 in beiden Übungen bereits im ersten Versuch. Im sechsten Versuch gelang dies auch Gruppe 3 (vgl. Anhang 7).

Auch in der dritten Übung (*RR2*) startete Gruppe 3 im Vergleich zu Gruppe 1 signifikant schlechter (Gr. 1 9,40 cm vs. Gr. 3 10,65 cm, p=0,023; vgl. Anhang 7). In Versuch 6 verbesserte sich Gruppe 1 sowohl gegenüber Gruppe 2 als auch gegenüber Gruppe 3 signifikant. Zwischen den anderen beiden Gruppen bestand kein signifikanter Unterschied. In der letzten Übung, *Energy & Dissection 3*, erreichten alle Gruppen be-

reits im ersten Versuch den 100%-Wert, sodass sich keine signifikanten Unterschiede zeigten (vgl. Anhang 7, Abbildung 18).

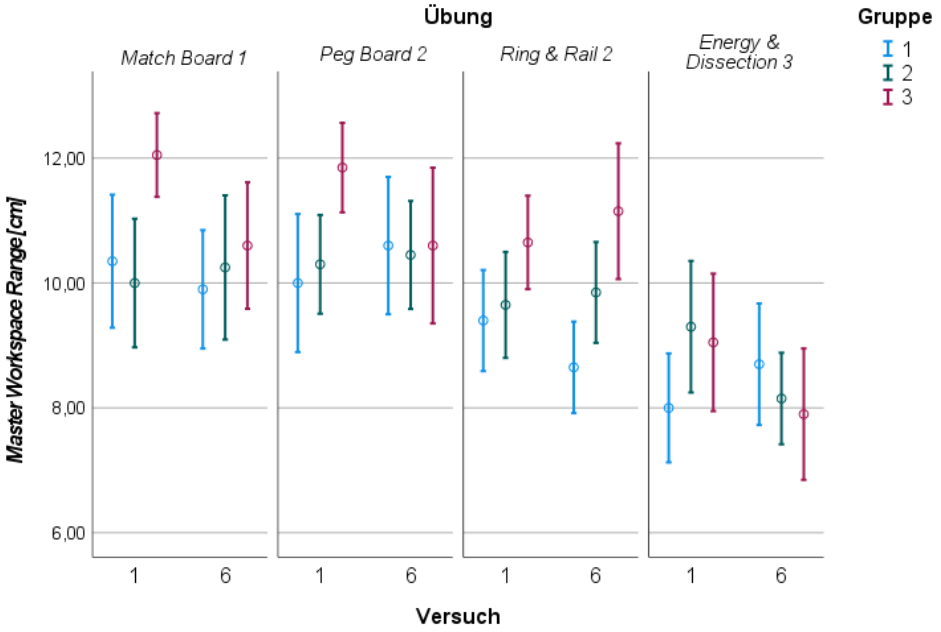


**Abbildung 18: Grafische Darstellung des mittleren *Master Workspace Range* der Versuche 1 und 6 im Gruppenvergleich bei den Übungen *MB1, PB2, RR2* und *ED3***

### 3.2.5.5 *Drops*

Bei dem Parameter *Drops* bestand in keiner Übung ein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen. Alle drei Gruppen überschritten schon im ersten Versuch den 80%-Wert (vgl. Abbildung 19, Anhang 8).

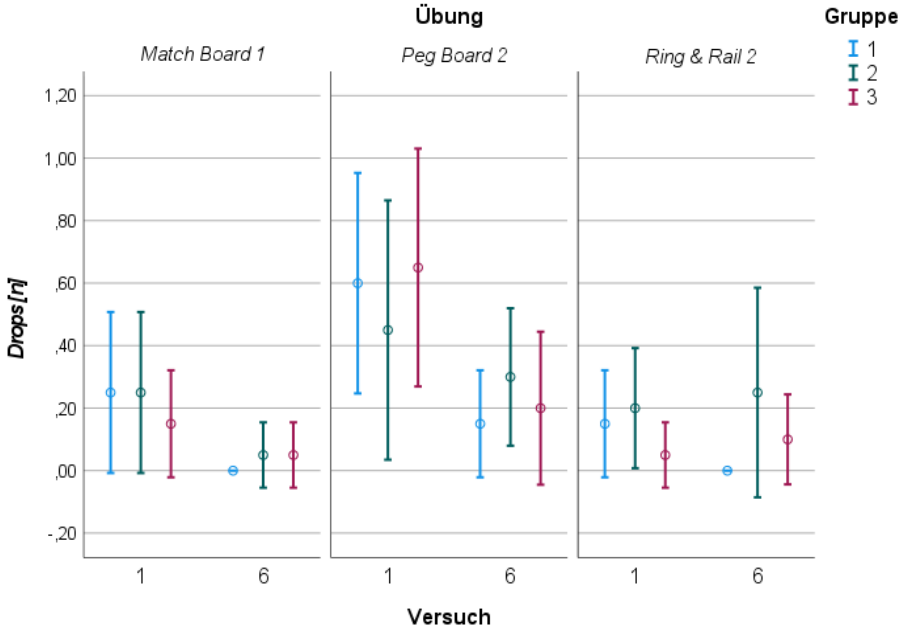


**Abbildung 19: Grafische Darstellung der mittleren *Drops* der Versuche 1 und 6 im Gruppenvergleich bei den Übungen *MB1,* PB2, *RR2* und *ED3***

#### 3.2.5.6 *Missaplied Energy Time, Blood Loss Volume* und *Broken Vessels* der Übung *Energy & Dissection 3*

Bei dem Parameter ***Misapplied Energy Time*** zeigte sich im ersten Versuch kein signifikanter Unterschied zwischen den drei Gruppen. Von Versuch 1 zu Versuch 6 verbesserten sich die Gruppen 1 und 2 im Vergleich zu der dritten Gruppe signifikant. Den 80%-Wert erreichte keine der Gruppen. Es ist erkennbar, dass Gruppe 1 sowohl im ersten als auch im letzten Versuch die besten Ergebnisse aufwies und Gruppe 3 die schlechtesten (vgl. Abbildung 20, Anhang 9).

Bei dem Parameter ***Blood Loss Volume*** bestand weder im ersten noch im sechsten Versuch ein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen. Auch hier erreichte keine der Gruppen den 80%-Wert (vgl. Abbildung 20, Anhang 9).

Auch bei dem Parameter ***Broken Vessels*** zeigten sich zwischen den Gruppen keine signifikanten Differenzen (vgl. Abbildung 20, Anhang 9).

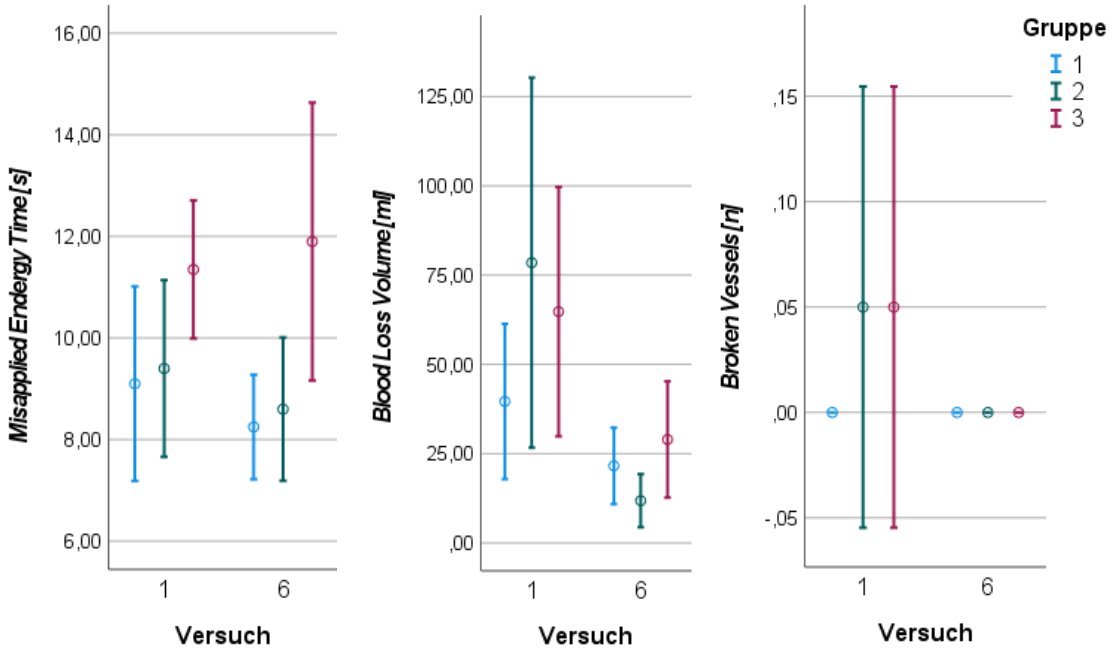


**Abbildung 20: Grafische Darstellung der mittleren *Misapplied Energy Time*, *Blood Loss Volume* und *Broken Vessels* der Versuche 1 und 6 im Gruppenvergleich bei der Übung *Energy & Dissection 3***

## 3.3 Auswertung des Fragebogens

**Tabelle 32: Tabellarische Darstellung der Ergebnisse des Fragebogens**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Geschlecht** | männlich: 30 | | weiblich: 30 | | |
| **Alter** | zwischen 22 & 58 Jahren | | | | |
| **Händigkeit** | links: 5 | | rechts: 54 | bds.: 1 | |
| **Fragen** | 2* | 1* | 0* | -1* | -2* |
| **Das Training am dVSS hat mir Spaß gemacht.** | 46 | 12 | 2 | - | - |
| **Das Training am dVSS hat mich frustriert.** | - | 3 | 8 | 26 | 23 |
| **Das Training am dVSS empfand ich zur Vorbereitung auf Roboter-gestützte Eingriffe sinnvoll.** | 32 | 26 | 2 | - | - |
| **Ich halte es für sinnvoll, das Training am dVSS zur Vorbereitung auf Roboter-gestützte Eingriffe in der Zukunft fortzusetzen.** | 39 | 19 | 2 | - | - |
| **Ich halte es für sinnvoll, das Training am dVSS zur Vorbereitung auf Roboter-gestützte Eingriffe als festen Bestandteil der Facharztweiterbildung für chirurgische Fächer zu integrieren.** | 29 | 17 | 11 | 3 | - |
| **Ich halte das Training am dVSS zur alleinigen Vorbereitung auf Roboter-gestützte Eingriffe für ausreichend.** | 2 | 5 | 20 | 25 | 8 |
| **Ich denke, dass die Roboter-gestützte Chirurgie in der Zukunft zunehmen wird.** | 20 | 33 | 6 | 1 | - |
| **Ich denke, das Training am dVSS hat meine Geschicklichkeit im Zusammenhang mit Roboter-gestützter Chirurgie verbessert.** | 16 | 31 | 13 | - | - |
| **Ich denke, das Training am dVSS hat mein Instrumentenhandling im Zusammenhang mit Roboter-gestützter Chirurgie verbessert.** | 18 | 31 | 11 | - | - |
| **Ich denke, das Training am dVSS hat mein 3D-Vorstellungsvermögen im Zusammenhang mit Roboter-gestützter Chirurgie verbessert.** | 15 | 31 | 13 | 1 | - |
| **Nach dem Training am dVSS hatte ich Nackenschmerzen.** | - | 4 | 4 | 16 | 36 |
| **Ich denke, meine Körperhaltung hat sich im Laufe des Trainings mit dem dVSS verbessert.** | 1 | 13 | 29 | 14 | 3 |
| **Nach dem Training am dVSS hatte ich Schmerzen im Bereich der Hände/Handgelenke.** | 1 | 6 | 4 | 19 | 30 |
| **Ich denke, meine Handhaltung hat sich im Laufe des Trainings mit dem dVSS verbessert.** | 5 | 31 | 18 | 6 | - |
| **Ich konnte während des Trainings am dVSS meine Konzentration halten.** | 20 | 21 | 11 | 8 | - |
| **Ich spiele/spielte oft Computerspiele.** | 5 | 11 | 11 | 14 | 19 |
| **Häufigkeit der Computerspiele** | < 1x jährl.: 31 | mtl.: 14 | wöchentl.: 10 | | tgl.: 5 |

*2: trifft völlig zu. 1: trifft zu. 0: neutral. -1: trifft nicht zu. -2: trifft überhaupt nicht zu.

Alle 60 Probanden füllten nach Beendigung der Übungen des zweiten Tages einen Fragebogen aus. Die Geschlechterverteilung betrug zu 50% das männliche und zu 50% das weibliche Geschlecht. Der Altersrahmen lag zwischen 22 und 58 Jahren. Von den Probanden waren 54 rechtshändig (90%), fünf linkshändig (8%) und eine Person beidhändig (2%). 96,6% der Probanden gefiel das Simulations-Training, jedoch frustrierte es 5% der Teilnehmer. Bei der Auswertung zeigte sich eine positive Einschätzung in Bezug auf die Zweckmäßigkeit des Trainings am dVSS zur Vorbereitung auf Robotergestützte Eingriffe (96,6%). 76% der Befragten waren der Meinung, dass das Simulationsprogramm in die chirurgische Facharztausbildung integriert werden sollte. Zur alleinigen Vorbereitung auf robotergestützte Eingriffe hielten es jedoch nur 11,6% für ausreichend. 88% der Teilnehmer gingen davon aus, dass die Roboterchirurgie zunehmen werde. Die Mehrheit der Probanden befand, dass das Training die eigene Geschicklichkeit (78%), das Instrumentenhandling (81,6%) und das eigene räumliche Vorstellungsvermögen (76,6%) verbessert habe. Von den Teilnehmern litt infolge des Trainings nur ein kleiner Teil an Nackenschmerzen (6,6%) oder Schmerzen im Handgelenk (11,6%). 23% sagten aus, dass sich ihre Körperhaltung im Laufe des Trainings verbessert habe. Die Handhaltung habe sich dagegen bei 60% der Probanden verbessert. Die Konzentration konnten 68% der Teilnehmer beibehalten, 13% gelang dies nicht. 26,7% der Probanden gaben an, häufig Computerspiele zu spielen, 55% stimmten dieser Aussage nicht oder überhaupt nicht zu.

## 3.4 Vergleich Computerspieler vs. nicht-Computerspieler

Zwischen jenen Probanden, die angaben, häufig Computerspiele zu spielen (n=16), und jenen, die dies nicht taten (n=33), zeigten sich kaum signifikante Unterschiede in den drei Hauptparametern *Overall Score*, *Time To Complete Exercise* und *Economy of Motion*. Lediglich im *Overall Score* (PC-Spieler 68,31% vs. nicht-PC-Spieler 54,39%; p=0,006) und in *Economy of Motion* (PC-Spieler 461,15 cm vs. nicht-PC-Spieler 582,93 cm; p=0,003) in Versuch 1 der Übung *Ring & Rail 2* waren die Computerspieler signifikant besser. Im sechsten Versuch bestanden keine signifikanten Differenzen mehr (vgl. Anhang 19).

## 3.5 Einteilung der Übungen nach Schwierigkeitsgrad

Anhand des durchschnittlichen *Overall Scores* der verschiedenen Übungen erfolgte im Anschluss an die Datenerhebung eine Einteilung in Schwierigkeitsgrade. Hierfür wurde für jede Übung der mittlere *Overall Score* des ersten Tages (Wdh. 1-3) von allen Gruppen errechnet und miteinander verglichen (vgl. Anhang 20). In den Übungen *Peg Board 2* und *Energy & Dissection 3* erreichten die Gruppen im Mittel 81%, in der Übung *Match Board 1* 69% und in der Übung *Ring & Rail 2* 65%. Zwischen allen Übungen bestehen signifikante Unterschiede, Ausnahmen sind die Übungen *Peg Board 2* und *Energy & Dissection 3* (80,23% vs. 81,64%; p=0,171, vgl. Anhang 20). Dementsprechend entstand die in Tabelle 33 dargestellte Einteilung.

**Tabelle 33: Darstellung der Übungen nach Schwierigkeitsgraden**

| Schwierigkeitsgrad | Übung |
|---|---|
| **leicht** | *Peg Board 2*, *Energy & Dissection 3* |
| **mittel** | *Match Board 1* |
| **schwer** | *Ring & Rail 2* |

# 4 Diskussion

## 4.1 Übersicht

Das Ziel dieser prospektiven Longitudinalstudie war es, herauszufinden, ob das Alter der anwendenden Person die Leistungen am dVSS beeinflusst und ob eine Altersgruppe womöglich einer anderen im Erlernen technischer Fertigkeiten für die Roboterchirurgie über- bzw. unterlegen ist. Dass das Simulatortraining eine effektive Möglichkeit ist, roboterspezifische Fähigkeiten zu erwerben, ist bereits erwiesen.[30,61,102]

Ein Blick auf die aktuelle Literatur zeigt einige Studien, die sich mit der Ausbildung in der roboterassistierten Chirurgie beschäftigen. So berichteten FOELL ET AL. von einem multidisziplinären, simulationsbasierten Trainingscurriculum für Roboterchirurgie-Neulinge. Es bestand aus verschiedenen Lehrstrategien: Didaktische Vorlesung, Online-Trainingsmodule, praktisches Training mit dem da Vinci Roboter und Training am dVSS. Die Studien kamen zu dem Schluss, dass simulationsbasiertes Training für die Ausbildung in der Roboterchirurgie von großem Nutzen sei.[26] KOLONTAREV ET AL. analysierten 19 Publikationen in Bezug auf roboterassistierte Chirurgie und roboterchirurgisches Training und stellten fest, dass simulationsbasiertes Training das größte Potenzial in der Ausbildung der Roboterchirurgie habe.[63]

In den letzten Jahren erfolgten bereits Studien zu Lernkurven [79,123] und möglichen Einflüssen von Trainingsfrequenzen [30,124] auf die Leistung am Simulator. Auch wurden bereits verschiedene Übungen miteinander [125] sowie die Leistung von roboterchirurgischen Anfängern mit Experten verglichen.[75,86] Zu einem möglichen Einfluss des Alters – unabhängig von der (roboter)chirurgischen Erfahrung – auf die Performance am dVSS gibt es bisher jedoch nur wenige Daten. Daher befasst sich die vorliegende Studie mit diesem Thema und soll zur Entwicklung eines einheitlichen und möglichst effektiven Trainingsprogrammes beitragen.

Für die Datenauswertung erfolgte eine Betrachtung aller Einzelparameter gemäß dem prozentbasierten Bewertungsschema von dem Hersteller Mimic Technologies (vgl. Kapitel 2.6), wobei das Hauptaugenmerk in dem Vergleich und der Diskussion des *Overall Score* sowie der beiden Parameter *Time To Complete Exercise* und *Economy of Motion* liegt. In einer Studie von LYONS ET AL. wurden die Leistungen von 46 Chirurgen (25 Anfänger, 8 Fortgeschrittene und 13 Experten) verglichen. Es stellte sich heraus, dass sich die Anfänger und Experten anhand der drei genannten Parameter in jeder Übung voneinander unterscheiden ließen.[75] Wie bereits WALLICZEK ET AL. beschrieben haben,[123] könnte dies darauf hindeuten, dass diese drei Parameter dazu geeignet sind,

die Leistungen von Anfängern zu beurteilen. Auch PATEL ET AL. nahmen an, dass es wichtig sei, gut in *Economy of Motion* zu sein, um ein besserer Roboterchirurg zu werden.[91] Zudem zeigt sich, dass die beiden Parameter *Time To Complete Exercise* und *Economy of Motion* die einzigen Parameter sind, bei denen sich die Werte zum Erreichen der 0%- und 100%-Grenze in jeder der vier verwendeten Übungen verändern. Für die restlichen Parameter sind diese Grenzen – bis auf *Excessive Instrument Force* in der Übung *Energy & Dissection 3* – in jeder Übung identisch (vgl. Anhang 1). Dadurch könnte man annehmen, dass gerade jene beiden Parameter besonders gut dazu geeignet sind, die Leistung am dVSS zu beurteilen und zu vergleichen.

Da es unter den für diese Studie verwendeten Übungen keine offizielle Einteilung in Schwierigkeitsgrade gibt, erfolgte eine solche Anhand der am ersten Tag (Wdh. 1-3) gewonnenen Ergebnisse des mittleren *Overall Score* (vgl. Kapitel 3.5).

## 4.2 Diskussion des gruppeninternen Vergleichs

In der vorliegenden Studie verbesserte sich jede Gruppe im *Overall Score* sowie in den Parametern *Time To Complete Exercise* und *Economy of Motion* innerhalb ihres Trainings signifikant.

Im ***Overall Score*** konnte sich Gruppe 1 bis zum letzten Versuch in allen vier Übungen auf Werte ≥80% steigern. In den Aufgaben mit geringem Schwierigkeitsgrad (*PB2* und *ED3*) erreichte sie Ergebnisse von >90%. Auch Gruppe 2 verbesserte sich in Versuch 6 in allen Übungen auf ≥80%. Die dritte Gruppe erreichte, trotz ebenfalls signifikanter Verbesserungen, lediglich in den beiden Übungen mit geringem Schwierigkeitsgrad (*PB2* und *ED3*) ≥80%. Dass dies in der mittelschweren Übung *Match Board 1* nicht gelang, lag vor allem an den Ergebnissen der Parameter *Time To Complete Exercise* und *Economy of Motion*. Diese beiden Parameter lagen als einzige unter der 80%-Grenze. In der am schwierigsten eingestuften Übung *Ring & Rail 2* erreichte die dritte Gruppe sogar nur in dem Parameter *Drops* ≥80%, welcher in dieser Übung zudem die geringste Relevanz besitzt.

Trotz ebenfalls durchgehend signifikanter Verbesserungen aller drei Gruppen in ***Time To Complete Exercise***, erzielte keine der Gruppen in den ersten drei Übungen (*MB1*, *PB2* und *RR2*) die vom Hersteller empfohlenen 80%. In der Übung *Energy & Dissection 3* erreichten dagegen alle drei Gruppen im letzten Versuch ≥99%. Dies könnte daran liegen, dass – im Vergleich zu den anderen drei Übungen – die Probanden für diese Übung mit 120 Sekunden deutlich mehr Zeit hatten, um die 100%-Grenze zu erreichen. Sowohl in der Übung *Match Board 1* als auch *Peg Board 2* fordert das Programm mit

70 Sekunden (*MB1*) und 65 Sekunden (*PB2*) deutlich weniger Zeit, um 100% zu erreichen. Dabei zeigte sich die Übung *Peg Board* 2 als gleich schwierig, die Übung *Match Board 1* sogar als schwieriger. In der schwierigsten Übung *Ring & Rail 2* wird den Teilnehmern zwar mehr Zeit gelassen, um nicht auf 0% zu fallen, jedoch muss diese Übung ebenfalls innerhalb von 120 Sekunden abgeschlossen werden, um 100% zu erreichen.

Auch in ***Economy of Motion*** bewiesen alle drei Gruppen einen signifikanten Fortschritt vom ersten zum letzten Versuch in der Performance. Hier erreichte Gruppe 1 abermals in allen vier Übungen die 80%-Grenze. Die Gruppen 2 und 3 konnten sich lediglich in den Übungen mit geringem Schwierigkeitsgrad (*PB2* und *ED3*) auf ≥80% steigern.

Die erzielten Ergebnisse stimmen mit denen einer Vielzahl vorheriger Studien überein. Bereits in Studien von GOMEZ ET AL. und SHETH ET AL. zeigten sich in den von ihnen am Simulator durchgeführten Übungen durchgehend signifikante Verbesserungen im *Overall Score* sowie in *Time To Complete Exercise* und *Economy of Motion*.[29,110] Ein Unterschied zu der Studie von SHETH ET AL. besteht darin, dass die Teilnehmer dort zehn Wiederholungen einer Übung durchführten.[110] In der vorliegenden Studie konnte gezeigt werden, dass bereits sechs Wiederholungen einer Übung ausreichen, um signifikante Verbesserungen zu erzielen. GOMEZ ET AL. ließen ihre Teilnehmer maximal sechs Wiederholungen einer Übung durchführen, um die 80%-Grenze zu erreichen. Es zeigte sich, dass dies den Probanden nicht in allen Übungen gelang,[29] was ebenso in der vorliegenden Studie festgestellt werden konnte. In beiden Studien reichten vor allem in den anspruchsvolleren Übungen bzw. Fertigkeiten sechs Versuche nicht aus, um das angestrebte Leistungsniveau zu erreichen. WALLICZEK-DWORSCHAK ET AL. kamen in ihrer Studie mit ebenfalls sechs Wiederholungen zu demselben Ergebnis.[125] Der vorliegenden Studie sowie den beiden Studien von GOMEZ ET AL. und WALLICZEK-DWORSCHAK ET AL. ist gemein, dass die Trainingseinheiten im Abstand von einer Woche stattfanden. In diesem Kontext ist eine Studie von GÜLDNER ET AL. zu berücksichtigen, in welcher die Autoren empfehlen, das Trainingsintervall bei Übungen mit höherem Schwierigkeitsgrad zu reduzieren. Demnach sei es besser, jeden Tag über einen kurzen Zeitraum zu trainieren statt einmal pro Woche.[30]

Wie die beiden zuvor diskutierten Parameter *Time To Complete Exercise* und *Economy of Motion* zählt auch der Parameter ***Master Workspace Range*** zu den *Efficiency metrics*. Wie schon in Kapitel 2.6 erwähnt, geben sie Hinweise auf die qualitative Leistung und die Effizienz eines Probanden. Wenngleich der Nebenparameter *Master*

*Workspace Range* den geringsten Anteil am *Overall Score* hat (vgl. Tabelle 2), wird im Folgenden auf diesen näher eingegangen, da er Auffälligkeiten und signifikante Unterschiede innerhalb der Gruppe 3 zeigt.

Die Gruppen 1 und 2 erreichten in allen vier Übungen bereits im ersten Versuch Prozentwerte von >90% und steigerten sich – bis auf Gruppe 2 in der Übung *Energy & Dissection 3* – nicht mehr signifikant. Der dritten Gruppe fiel es in den ersten beiden Übungen (*MB1* und *PB2*) zunächst schwerer, gute Ergebnisse in diesem Parameter zu erzielen. Jedoch steigerte sie sich hier zum letzten Versuch hin signifikant. In den anderen beiden Übungen (*RR2*, *ED3*) konnte auch in der dritten Gruppe keine signifikante Verbesserung gezeigt werden. Diese Ergebnisse stehen im Einklang mit einer Studie von BRINKMANN ET AL. In dieser bearbeiteten 17 Medizinstudenten, alle unerfahren im Umgang mit roboterassistierter Chirurgie, am dVSS die Übung *Ring & Rail 2*. Auch hier zeigte sich von Versuch 1 zu Versuch 6 keine signifikante Verbesserung.[14]

Die übrigen sieben Nebenparameter (***Instrument Collisions***, ***Excessive Instrument Force***, ***Instruments Out Of View***, ***Drops, Misapplied Energy Time***, ***Blood Loss Volume*** **und** ***Broken Vessels***) zählen zu den *Good Habit metrics* und zeigen Ereignisse auf, die es zu vermeiden gilt. Bei diesen Parametern konnten nur vereinzelt signifikante Verbesserungen innerhalb der Gruppen festgestellt werden. Dies liegt zum Teil daran, dass alle drei Gruppen in vielen Parametern bereits im ersten Versuch hohe Prozentwerte von ≥ 90% erreichten, vor allem in den beiden leichten (*PB2*, *ED3*) und der mittelschweren (*MB1*) Übung. In den Fällen, in denen die Gruppen zu Beginn vermehrt Fehler in den oben genannten Parametern begingen, verbesserten sie sich in der Hälfte der Fälle zum sechsten Versuch hin signifikant. Doch auch in den anderen Fällen zeigten sich zum großen Teil deutliche aber nicht signifikante Verbesserungen.

Ähnliche Ergebnisse zeigten sich bereits in Studien von GÜLDNER ET AL. und WALLICZEK-DWORSCHAK ET AL. Sie führten den Umstand, dass es nur vereinzelt signifikante Verbesserungen gab, auf die geringen Mittelwerte zurück. Da hierdurch ein möglicher Fähigkeitsgewinn schwer zu interpretieren sei, unterließen sie eine genauere Betrachtung.[30,125] Aus demselben Grund erfolgt auch in der vorliegenden Studie keine detailliertere Diskussion dieser Parameter. Dieser Umstand bedeutet nicht, dass es sich hierbei um irrelevante Parameter handelt. Vielmehr ist das Vermeiden der Fehler, die durch diese Parameter aufgezeigt werden, in Hinblick auf die Patientensicherheit unerlässlich.

## 4.3 Diskussion des Gruppenvergleichs

Die bisherigen Ergebnisse zeigten, dass sich alle drei Altersklassen innerhalb der vorgegebenen sechs Wiederholungen in den drei Hauptparametern (*Overall Score*, *Time To Complete Exercise*, *Economy of Motion*) signifikant verbesserten. Somit konnte ein altersunabhängiger Lernerfolg in der Performance am dVSS nachgewiesen werden. Die Leistungsverbesserungen bestätigen die Nützlichkeit des Simulators als Trainingswerkzeug für Robotik-Neulinge, wie bereits LIU ET AL. und MEIER ET AL. feststellten.[74,79]

Darüber hinaus lassen sich in einem direkten Vergleich der Gruppen untereinander Unterschiede in den erzielten Ergebnissen erkennen.

Die auffälligsten Differenzen offenbarten sich zwischen den Gruppen 1 und 3. Erstere hatte zu Beginn der Versuchsreihe in drei Übungen (*MB1*, *PB2*, *ED3*) einen signifikant besseren ***Overall Score***. In den Übungen *Match Board 1* und *Peg Board 2* war sie auch nach sechs Versuchen signifikant überlegen. In der am schwierigsten eingestuften Übung *Ring & Rail 2* zeigte Gruppe 1 ebenfalls einen höheren Ausgangswert als Gruppe 3 und verbesserte sich zum letzten Versuch hin signifikant. Auch die zweite Gruppe zeigte im Vergleich zur dritten Gruppe durchgehend höhere *Overall Score* Werte. Diese waren im ersten Versuch in zwei Übungen (*MB1*, *PB2*) signifikant höher. Im letzten Durchgang waren es drei Übungen (*MB1*, *RR2*, *ED3*), in denen die dritte Gruppe einen signifikant niedrigeren Wert aufwies. Auch in den Übungen, in denen Gruppe 3 nicht signifikant schlechter abschnitt als die anderen beiden Gruppen, zeigte sie dennoch die geringsten *Overall Score* Werte, sowohl zu Beginn als auch zum Abschluss der Übungen. Bereits MEIER ET AL. untersuchten in einer Studie den Zusammenhang zwischen dem Alter und der Leistung am dVSS. Sie ließen 28 Probanden unterschiedlichen Alters und mit verschiedenen Erfahrungsgraden in robotergestützter Chirurgie Aufgaben am dVSS durchführen. Ihre Aufgabe bestand darin, einen *Overall Score* von 90% zu erreichen. Unter den teilnehmenden Personen waren zehn Robotik-Neulinge, von denen jeweils fünf ≤25 und ≥40 Jahre alt waren.[79] Im Vergleich zur vorliegenden Studie war die Teilnehmerzahl deutlich geringer. Zudem erfolgten nur drei Wiederholungen einer Übung. Nichtsdestotrotz zeigten in beiden Studien die Probanden ≥40 Jahren im Vergleich zu den jüngeren Teilnehmern sowohl zu Beginn als auch zum Abschluss der Übungen die geringeren *Overall Score* Werte.

Zwischen den Gruppen 1 und 2 ließen sich im *Overall Score* keine signifikanten Unterschiede in ihren Leistungen erkennen. Dieses Ergebnis gleicht dem einer Studie von GOMEZ ET AL. Dort führten 22 Teilnehmer (vier chirurgische Fachärzte, vier Altassis-

tenten und 14 Jungassistenten) verschiedene Übungen am dVSS durch. Alle waren unerfahren im Umgang mit Operationsrobotern, jedoch hatten die verschiedenen Gruppen unterschiedliche chirurgische Vorerfahrungen. Es stellte sich heraus, dass zwischen den Gruppen kein signifikanter Unterschied in ihrer Gesamtleistung bestand. Die Autoren schlussfolgerten, dass das Erlernen roboterchirurgischer Fähigkeiten von chirurgischen Vorerfahrungen unabhängig sein könnte.[29] Es sollte jedoch auch der Alterszusammensetzung der drei Gruppen Beachtung geschenkt werden. Die Fachärzte und Altassistenten waren 31-40 Jahre alt, die Jungassistenten 20-30 Jahre alt. Diese Alterszusammensetzung deckt sich mit denen der Gruppen 1 und 2 der vorliegenden Studie. In beiden Studien zeigten sich somit keine signifikanten Unterschiede zwischen diesen beiden Altersklassen. Gleichwohl lässt sich in der vorliegenden Arbeit die Tendenz erkennen, dass die erste Gruppe nach sechs Versuchen besser abschnitt als die zweite. In drei von vier Übungen (*MB1*, *PB2*, *RR2*) starteten die beiden Gruppen auf annähernd gleichem Niveau. In denselben Übungen vergrößerte Gruppe 1 die Differenz zu Gruppe 2 zum sechsten Versuch hin, jedoch nicht signifikant.

In ***Time To Complete Exercise*** verbesserte sich Gruppe 1 im Vergleich zu Gruppe 3 lediglich in der mittelschweren (*MB1*) und schweren (*RR2*) Übung signifikant. Dennoch benötigte sie – bis auf Versuch 1 der Übung *Ring und Rail* 2 – sowohl zu Beginn als auch zum Abschluss der Übungen weniger Zeit als die dritte Gruppe.

Zwischen den Gruppen 1 und 2 sowie den Gruppen 2 und 3 bestanden keine signifikanten Differenzen. Nichtsdestotrotz fällt auf, dass Gruppe 1 im Vergleich zu Gruppe 2 und Gruppe 2 im Vergleich zu Gruppe 3 häufiger das bessere Ergebnis erzielte.

In einer Studie von MOGLIA ET AL. konnte ebenfalls gezeigt werden, dass die jüngeren Probanden die Übungen schneller abschlossen als die älteren Teilnehmer. Dort führten drei Gruppen (Medizinstudenten, Assistenzärzte sowie erfahrene Chirurgen) ohne Erfahrung in robotergestützter Chirurgie 26 verschiedene Übungen mit je einer Wiederholung durch. Die Medizinstudenten waren im Mittel 25 ±2,4 Jahre alt, die Assistenzärzte 28 ±2,1 und die erfahrenen Chirurgen 42 ±8,0 Jahre alt. Sowohl die Medizinstudenten als auch die Assistenzärzte waren in ihrer Gesamtzeit schneller als die Chirurgen.[84] In Übereinstimmung mit den Ergebnissen der Studie von MOGLIA ET AL. benötigten auch in der vorliegenden Studie die jüngeren Teilnehmer insgesamt weniger Zeit als die älteren. Gruppe 1 – welche vom Alter her mit den Medizinstudenten und Assistenzärzten der Studie von MOGLIA ET AL. übereinstimmt – war mit 82,55 Minuten am schnellsten. Die Gruppen 2 und 3 benötigten 87,8 Minuten bzw. 91,4 Minuten. Somit zeigten sich

auch in diesem Parameter – wie schon im *Overall Score* – die größten Unterschiede zwischen den jüngsten und ältesten Teilnehmern.

Zudem ist auffällig, dass die dritte Gruppe auch in denjenigen Versuchen, in denen sie weniger Zeit benötigte als die erste und zweite Gruppe, dennoch niedrigere *Overall Score* Werte aufwies. Die Herangehensweise und somit auch die Geschwindigkeit, in der eine Aufgabe gelöst wird, sind von Person zu Person unterschiedlich. In dem Versuch, die Übungen möglichst schnell zu beenden, besteht somit die Gefahr, die anderen Parameter zu vernachlässigen. Angesichts dieser Ergebnisse liegt die Schlussfolgerung nahe, dass die älteren Probanden mehr Zeit benötigen, um den Umgang mit robotergestützter Chirurgie sicher zu erlernen.

Dies lässt sich durch einen Blick auf die durchschnittliche benötigte Gesamtzeit für Tag 1 und Tag 2 verdeutlichen. Die erste Gruppe verringerte diese Zeit von 49,20 Minuten auf 33,35 Minuten, die zweite Gruppe von 51,90 Minuten auf 35,90 Minuten und die dritte Gruppe von 51,35 Minuten auf 40,05 Minuten (vgl. Tabelle 6). Hier lässt sich erkennen, dass die Gruppen 1 und 2 am zweiten Versuchstag knapp 16 Minuten schneller waren als am ersten. Die Gruppe 3 konnte sich dagegen nur um 11,30 Minuten verbessern.

In ***Economy of Motion*** zeigt sich ein ähnliches Bild wie im *Overall Score*. Auch hier erzielte Gruppe 1 im Vergleich zu Gruppe 3 in den drei Übungen *Match Board 1*, *Peg Board 2* und *Energy & Dissection 3* zu Beginn signifikant bessere Ergebnisse. In allen drei Übungen blieben die Werte nach sechs Wiederholungen signifikant besser. In der schwierigsten Übung (*RR2*) verbesserte sich die erste Gruppe im Vergleich zur dritten Gruppe auch in diesem Parameter zum letzten Versuch hin signifikant.

Die zweite Gruppe erzielte am Anfang in zwei Übungen (*MB1*, *PB2*) signifikant bessere Ergebnisse als die dritte Gruppe. In der Übung *Match Board 1* blieb dieser Unterschied im letzten Versuch bestehen, in der Übung *Peg Board 2* verringerte die dritte Gruppe die Differenz. In den anderen beiden Übungen (*RR2*, *ED3*) bestanden in diesem Parameter jedoch keine signifikanten Unterschiede.

Wie bereits im *Overall Score* hatte Gruppe 3 auch in *Economy of Motion* durchgehend schlechtere Ergebnisse als Gruppe 1. Auch im Vergleich zu Gruppe 2 schnitt die dritte Gruppe in diesem Parameter in jeder Übung schlechter ab.

Zwischen den Gruppen 1 und 2 zeigten sich – wie schon im *Overall Score* – deutlich geringere Unterschiede. Lediglich in der Übung *Peg Board 2* konnte sich die erste Gruppe im Vergleich zur zweiten Gruppe signifikant verbessern. Allerdings lässt sich

auch in diesem Parameter erkennen, dass sich die erste Gruppe in denselben drei Übungen (*MB1*, *PB2*, *RR2*) stärker verbesserte als die zweite Gruppe.
Aufgrund der ohnehin lückenhaften Studienlage in Bezug auf die Performance verschiedener Altersklassen am dVSS hat die Autorin dieser Arbeit keine vergleichbare Literatur zu dem Parameter *Economy of Motion* gefunden.
Neben den drei Hauptparametern zeigt vor allem der Nebenparameter ***Master Workspace Range*** signifikante Unterschiede zwischen den drei Gruppen. Sowohl Gruppe 1 als auch Gruppe 2 starteten in den Übungen *Match Board 1* und *Peg Board 2* mit signifikant besseren Ergebnissen. Jedoch verbesserte sich die dritte Gruppe in beiden Übungen zum sechsten Versuch hin deutlich, sodass sie hier nicht mehr signifikant schlechter abschnitt. Auch in der schwierigen Übung *Ring & Rail 2* war die erste Gruppe zu Beginn signifikant besser als die dritte. Dies änderte sich jedoch nach sechs Versuchen nicht. Obwohl die Ergebnisse der zweiten Gruppe im Vergleich zur dritten in diesem Parameter nicht signifikant besser waren, zeigten sich hier – wie schon zwischen den Gruppen 1 und 3 – auch noch nach sechs Versuchen deutlich bessere Ergebnisse zugunsten der zweiten Gruppe. In der Übung *Energy & Dissection 3* gab es keine signifikanten Differenzen mehr. Hier erreichte die dritte Gruppe im letzten Versuch sogar bessere Werte als die anderen beiden Gruppen. Vergleichbare Studien, welche sich auf die Leistungen verschiedener Altersklassen beziehen, konnten nicht gefunden werden.
In den restlichen Parametern (***Instrument Collisions***, ***Excessive Instrument Force***, ***Instruments Out Of View***, ***Drops***, ***Misapplied Energy Time***, ***Blood Loss Volume*** und ***Broken Vessels***) ließen sich – wie schon im gruppeninternen Vergleich – nur vereinzelte und unregelmäßig verteilte signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen feststellen. Dennoch ist auch in diesen Parametern die Tendenz zu erkennen, dass die dritte Gruppe vermehrt Fehler beging und somit überwiegend schlechter abschnitt als die anderen beiden Gruppen. Aufgrund der niedrigen Mittelwerte und der zumeist geringfügigen Unterschiede ist eine detailliertere Diskussion schwierig und potenziell fehlerbehaftet. Daher wird hierauf verzichtet.

In Zusammenschau der bisher diskutierten Ergebnisse lässt sich feststellen, dass die Gruppen 1 und 2 im *Overall Score* sowie in *Time To Complete Exercise* keine signifikanten Unterschiede aufwiesen, in *Economy of Motion* nur wenige. Zwischen den Gruppen 1 und 3 bestanden dagegen die häufigsten signifikanten Differenzen. Im Vergleich zur dritten Gruppe wies die erste Gruppe im *Overall Score* sowie in *Economy of*

*Motion* stets bessere Werte auf. In *Time To Complete Exercise* traf dies bis auf wenige Ausnahmen ebenfalls zu. Auch die zweite Gruppe hatte in *Economy of Motion* durchgehend bessere Ergebnisse als die dritte Gruppe. Im *Overall Score* hatte sie – bis auf zwei Ausnahmen in den leichten Übungen – durchweg höhere Werte. Bezüglich der *Time To Complete Exercise* lässt sich keine allgemeine Aussage treffen. Während die dritte Gruppe am ersten Tag (Wdh. 1-3) häufig schneller war als die zweite Gruppe, kehrte sich das Bild am zweiten Tag (Wdh. 4-6) um.

Betrachtet man die unterschiedlichen Schwierigkeitsgrade der Übungen, lassen sich die Unterschiede zwischen den Gruppen weiter differenzieren. In den beiden leichten Übungen (*PB2*, *ED3*) erreichten 57 (*PB2*) bzw. 55 (*ED3*) von 60 Probanden nach sechs Versuchen die 80%-Grenze im ***Overall Score***. Hiervon waren in der Übung *Peg Board 2* 20 aus der ersten, 18 aus der zweiten und 19 Probanden aus der dritten Gruppe. In der Übung *Energy & Dissection 3* waren es je 20 aus der ersten und zweiten und 15 aus der dritten Gruppe. In den beiden schwierigeren Übungen (*MB1*, *RR2*) erreichten nur 30 (*MB1*) bzw. 35 (*RR2*) von 60 Probanden die 80%-Grenze. Hier zeigt sich ein deutlicher Unterschied zwischen den ersten beiden Gruppen und der dritten (*MB1*: Gruppe 1 n=15, Gruppe 2 n=11, Gruppe 3 n=4; *RR2*: Gruppe 1 n=16, Gruppe 2 n=13, Gruppe 3 n=6). Aus Gruppe 1 erreichten stets die meisten Teilnehmer die 80%-Grenze, aus Gruppe 3 die wenigsten.

Zudem fällt auf, dass in den beiden leichten Übungen (*PB2*, *ED3*) die Gruppen 1 und 3 bereits im zweiten Versuch einen ***Overall Score*** von ≥80% erreichten. Auch Gruppe 2 erreichte in der Übung *Energy & Dissection 3* im zweiten Versuch den 80%-Wert. In der Übung *Peg Board 2* lag sie mit 79,80% nur knapp darunter. In der mittelschweren (*MB1*) und schwierigen (*RR2*) Übung überschritten die Gruppen 1 und 2 ebenfalls nach der gleichen Wiederholungszahl die 80%-Grenze. Die dritte Gruppe und somit die Probanden ≥40 Jahren konnten sich dagegen nicht so schnell verbessern. Ihnen genügten in den schwierigeren Übungen sechs Wiederholungen nicht, um über die 80%-Grenze hinauszukommen. Daraus lässt sich schließen, dass der dritten Gruppe die schwierigeren Übungen schwerer fielen als den anderen beiden Gruppen.

Dieser Umstand ist auch in den Parametern *Time To Complete Exercise*, *Economy of Motion* und *Master Workspace Range* zu erkennen. Während sich hinsichtlich der **benötigten Zeit** in den beiden leichten Übungen (*PB2*, *ED3*) keine signifikanten Differenzen zeigten, konnte sich Gruppe 1 in den schwierigeren Übungen (*MB1*, *RR2*) im Vergleich zu Gruppe 3 signifikant verbessern. In ***Economy of Motion*** erreichten alle drei

Gruppen in der leichten Übung *Energy & Dissection 3* bereits im ersten Versuch die 80%-Grenze dieses Parameters. In der Übung *Peg Board 2* schafften es auch alle drei Gruppen, innerhalb von sechs Versuchen die 80%-Grenze zu überschreiten, allerdings gelang dies Gruppe 1 bereits im zweiten Versuch, Gruppe 2 im vierten und Gruppe 3 im fünften. In den beiden schwierigeren Übungen (*MB1, RR2*) erreichte Gruppe 3 – wie schon im *Overall Score* – nicht die 80%-Grenze. Der zweiten Gruppe gelang dies lediglich einmalig in der Übung *Ring & Rail 2*. Diese Staffelung des Erreichens der 80%-Grenze in dem Parameter *Economy of Motion* untermauert die schon zuvor beschriebene Feststellung, dass die erste Gruppe in dieser Arbeit tendenziell etwas besser abschnitt als die zweite und diese wiederum besser als die dritte. Auch in dem Parameter ***Master Workspace Range*** ist ersichtlich, dass die Unterschiede zwischen den Altersklassen in den schwierigeren Übungen größer waren als in den leichten. In allen vier Übungen war die erste Gruppe zu Beginn besser als die dritte, wobei dies in der Übung *Energy & Dissection 3* nicht signifikant war. In den beiden leichten Übungen war die dritte Gruppe im letzten Versuch jedoch gleich gut (*PB2*) oder besser (*ED3*) als die erste. In den beiden schwierigeren Übungen (*MB1*, *RR2*) behielt die erste Gruppe im letzten Versuch dagegen die besseren Werte. In der Übung *Ring & Rail 2* war dieser Unterschied zudem signifikant.

Ebenfalls sollte der Lernerfolg der einzelnen Gruppen beachtet werden. Wie bereits in Kapitel 4.2 beschrieben, konnte jede der drei Gruppen einen eindeutigen Lernerfolg vom ersten zum letzten Versuch vorweisen. Obwohl die dritte Gruppe im *Overall Score* auch nach sechs Versuchen niedrigere Werte aufwies als die Gruppen 1 und 2, hatte sie in den Übungen *Match Board 1*, *Peg Board 2* und *Energy & Dissection 3* die höchsten relativen Differenzen vom ersten zum sechsten Versuch und verbesserte sich somit am stärksten. Lediglich in der schwierigen Übung *Ring & Rail 2* fiel der Lernerfolg deutlich geringer aus als bei den anderen beiden Gruppen. Dies bestätigt die Vermutung, dass die dritte Gruppe und somit die älteren Probanden vor allem in den schwierigen Übungen den jüngeren Teilnehmern nach sechs Versuchen unterlegen sind.

Wie zuvor erwähnt, wurde in verschiedenen Studien festgestellt, dass sechs Versuche gerade für anspruchsvollere Übungen nicht ausreichen, um das angestrebte Leistungsniveau zu erreichen.[29,125] In der vorliegenden Studie scheint dies vor allem auf die Probanden ≥40 Jahre zuzutreffen.

Dass zwischen der ersten und zweiten Gruppe keine (*Overall Score*, *Time To Complete Exercise*) oder nur wenige (*Economy of Motion*) signifikante Differenzen bestanden, die Gruppen 1 und 2 aber vermehrt besser abschnitten als die dritte, könnte unter anderem an der Alterszusammensetzung innerhalb der Gruppen gelegen haben. Der Altersdurchschnitt der ersten Gruppe lag bei 25 Jahren, der der zweiten bei 32 Jahren und der der dritten bei 48 Jahren. Somit lagen die Gruppen 1 und 2 im Mittel 7 Jahre auseinander, die Gruppen 2 und 3 dagegen 16 Jahre. Auch stellt sich die Frage, ob der Faktor „Computerspielen" womöglich einen Einfluss gehabt haben könnte. Computer- bzw. Videospiele fördern kognitive Fähigkeiten, wie z. B. die Hand-Auge-Koordination, visuell-räumliche Fähigkeiten und die Tiefenwahrnehmung[12,31], welche auch für die Roboterchirurgie von Bedeutung sind. Hierbei stellt sich die Frage, ob die im Computerspiel erlernten Fähigkeiten im Umgang mit dem dVSS übertragbar sind. Bereits OU ET AL., SAMMUT ET AL. und SHANE ET AL. zeigten, dass Videospielerfahrung einen positiven Effekt auf das Erlernen laparoskopischer Techniken zu haben scheint.[90,98,107] Dementsprechend könnte man annehmen, dass sich vermehrtes Computerspielen ebenfalls positiv auf das Erlernen roboterchirurgischer Fähigkeiten auswirken könnte. Da die jüngeren Generationen vermutlich stärker mit Videospielen in Berührung gekommen sind, wäre es plausibel, wenn sie dadurch bei den Simulatorübungen einen Vorteil hätten.

Dies könnte eine Erklärung dafür liefern, weshalb die dritte Gruppe in dem Parameter *Master Workspace Range* vor allem zu Beginn deutlich schlechter abschnitt als die anderen beiden Gruppen. Um in diesem Parameter gute Ergebnisse zu erzielen, war es notwendig, den Entkopplungsmechanismus der Master-Steuerung einzusetzen. Dieser erlaubt es dem Nutzer, die Master-Steuerung neu zu positionieren und so in einem kleineren Umkreis zu agieren, während das virtuelle Instrument „eingefroren" wird. Hierfür ist es nötig, sich nicht nur auf die virtuelle Übung zu konzentrieren, sondern gleichzeitig auch die Funktion des Entkopplungsmechanismus im Hinterkopf zu haben. Dies ist vor allem deshalb schwierig, weil die Benutzung des Mechanismus nur bedingt mit der Ausführung der Übungen zu tun hat. Nicht jede Übung erfordert es gleichermaßen, die Master-Steuerung neu zu positionieren, um sie erfolgreich abzuschließen. Während eines komplexen Computerspiels ist es ebenfalls notwendig, auf verschiedene Dinge gleichzeitig zu achten und vorausschauend zu handeln.

Um einen möglichen Einfluss von Computerspielerfahrung auf die Leistung am dVSS zu untersuchen, machten die Probanden Aussagen zu ihrem Konsum sowie der Frequenz von Computerspielen. In der vorliegenden Studienpopulation gab es in den

Gruppen 1 und 2 sieben (35%) bzw. sechs (30%) Probanden, die angaben, häufig Computerspiele zu spielen. In der dritten Gruppe waren es lediglich drei (15%). Eine eindeutige Überlegenheit der Computerspieler konnte jedoch nicht nachgewiesen werden. So gab es in den Übungen *Match Board 1*, *Peg Board 2* und *Energy & Dissection 3* keine signifikanten Korrelationen. In der Übung *Ring & Rail 2* waren die Computerspieler zu Beginn signifikant besser. Nach sechs Wiederholungen zeigte sich jedoch kein signifikanter Unterschied mehr. Mehrere Autoren anderer Studien konnten ebenfalls keinen signifikanten Zusammenhang feststellen.[33,85,87,109] In den Studien von HAGEN ET AL. und MOGLIA ET AL. konnte lediglich eine geringe Korrelation zwischen einem hohen Konsum von Videospielen und einer besseren Leistung am dVSS festgestellt werden.[33,87] Dies deckt sich ebenfalls mit der vorliegenden Studie.

Im Widerspruch dazu steht eine Studie von HARBIN ET AL. 75 roboterchirurgisch unerfahrene Probanden füllten zunächst einen Fragebogen aus, in dem sie ihre Computerspielhäufigkeit innerhalb der letzten drei Monate, des letzten Jahres, der letzten drei Jahre und während der High School angeben mussten. Im Anschluss daran führten sie elf verschiedene Übungen am dVSS durch. Zwischen den Computerspielern und den „nicht"-Spielern zeigten sich in den Perioden „letzte drei Monate" und „letztes Jahr" signifikante Unterschiede zugunsten der Computerspieler. HARBIN ET AL. erklärte dieses positive Ergebnis mit der eigenen Stichprobengröße, der Aufgabenvielfalt und einem in Bezug auf das Spielverhalten sehr detaillierten Fragebogen.[35]

MOGLIA ET AL konnten zusätzlich zeigen, dass jene Probanden, welche sowohl Computerspielerfahrung hatten als auch ein Musikinstrument spielten, signifikant bessere Werte erzielten als jene mit keinem oder nur einem der beiden genannten Hobbys.[87] Auch scheinen gute Fähigkeiten in bestimmten Sportarten wie Volleyball, Tennis oder Basketball einen Leistungsvorteil zu bringen, wie in der Studie von SHEE ET AL. festgestellt wurde. Allerdings bestand dieser Vorteil nach der dritten Wiederholung nicht mehr.[109]

Vor allem die geringe Anzahl an Computerspielern (n=16) im Verhältnis zur Gesamtteilnehmerzahl (n=60) könnte erklären, weshalb in der vorliegenden Arbeit – trotz besserer Ergebnisse der Computerspieler – kaum signifikanten Unterschiede vorhanden waren. Zudem ist fraglich, ob die Aussage „Ich spiele oft Computerspiele" differenziert genug ist, um intensive Computerspieler ausreichend von „nicht"-Spielern zu trennen. Ebenso ist unklar, welcher Art von Spielen die Probanden nachgehen und ob bestimmte Arten von Computerspielen womöglich einen größeren Vorteil brächten als andere. Sportliche oder musikalische Betätigungen wurden in der vorliegenden Studie nicht

erfragt. Dies könnte für zukünftige Roboterchirurgen jedoch ebenfalls von Interesse sein. Falls sich in weiteren Studien eindeutige Korrelationen feststellen ließen, wären diese Betätigungen ein geeignetes Mittel, um die eigenen motorischen Fähigkeiten zusätzlich zu trainieren.

Ein möglicher Geschlechtereinfluss auf die verschiedenen Gruppenleistungen kann als Erklärung weitgehend ausgeschlossen werden, da diese in jeder der drei Gruppen zu gleichen Teilen vertreten waren.

Diverse Studien zeigten, dass es Menschen höheren Alters schwerer fällt, neue Fähigkeiten zu erlernen. Kognitive und sensomotorische Leistungen nehmen mit zunehmendem Alter ab.[96,101,113,122] Dies scheint bereits ab dem mittleren Erwachsenenalter der Fall zu sein[121] und könnte eine Erklärung dafür sein, dass die Gruppen 1 und 2 zumeist bessere Leistungen erzielten als die dritte Gruppe.

Ähnliches zeigte sich in Studien zum Erlernen von konventionell laparoskopischen Fähigkeiten. Auch hier schnitten die jüngeren Teilnehmer insgesamt besser ab und erwarben die notwendigen Fähigkeiten schneller.[97] Dennoch konnte nachgewiesen werden, dass grundlegende laparoskopische Fähigkeiten unabhängig vom Alter erworben werden können.[95] Diese Erkenntnisse decken sich mit den Ergebnissen der vorliegenden Studie, in der nachgewiesen werden konnte, dass alle Altersgruppen einen Lernerfolg am dVSS vorwiesen und dass das Erlernen von Fähigkeiten für die roboterassistierte Chirurgie in jeder der drei Altersgruppen möglich war. Die dritte Gruppe zeigte in drei von vier Übungen (*MB1*, *PB2*, *ED3*) sogar den größten Lernerfolg, lediglich in der schwierigen Übung (*RR2*) wies sie die geringste Steigerung auf.

Dennoch stellte sich heraus, dass die Teilnehmer ≥40 Jahren schlechter abschnitten, als die Probanden zwischen 20-29 Jahren und 30-39 Jahren. Die größten Unterschiede zeigten sich zwischen den jüngsten und ältesten Probanden. Mit zunehmender Herausforderung der Übungen verstärkte sich dieser Unterschied. Obwohl zwischen den Gruppen 1 und 2 kaum signifikante Differenzen bestanden, hatte die erste Gruppe auch hier häufiger das bessere Ergebnis, vor allem in den schwierigeren Übungen.

Wenngleich die dritte Gruppe einen *Overall Score* von ≥80% in den beiden schwierigeren Übungen (*MB1*, *RR2*) nach sechs Versuchen nicht erreichte, kann nicht ausgeschlossen werden, dass ihr dies nach weiteren Versuchen nicht noch gelungen wäre. Diese Erkenntnis deckt sich mit den Ergebnissen der Studie von MEIER ET AL. Die jüngeren Probanden erreichten die angestrebten 90% im Mittel nach vier Versuchen, die älteren Probanden dagegen erst nach sieben.[79] Auf längere Sicht bestünde somit die

Möglichkeit, dass sich alle drei Altersklassen auf demselben Niveau befänden. So zeigte sich in einer Studie von ZHANG ET AL., dass alle Probanden das Kompetenzziel (*Overall Score* >90%) am dVSS erreichen konnten, jedoch benötigten einige Teilnehmer hierfür länger als andere. In derselben Studie konnte nachgewiesen werden, dass Probanden, die zu Beginn schneller ihr Kompetenzziel erreichten, die erlernten Fähigkeiten länger beibehielten als jene mit anfänglich längerer Trainingszeit.[131]

Die vorliegende Studie zeigt, dass die älteren Probanden – vor allem bei komplexeren Aufgaben – im Vergleich zu den jüngeren Probanden mehr Zeit benötigten, um ähnliche Leistungen zu erbringen. Allerding muss hinterfragt werden, ob der Parameter „Zeit" wirklich ein relevanter Parameter im Bewertungsschema sein sollte. Wie PATEL ET AL. bereits anführten, wäre es für einen Roboterchirurgen zunächst wichtiger, zu lernen, sicher und effizient in den Bewegungen zu sein, bevor er versucht, schnell zu sein.[91] Es empfiehlt sich, den Fokus in der Ausbildung zunächst auf die Patientensicherheit und somit auf den sicheren Umgang mit dem Operationsroboter zu legen. Die Zeit sollte zu Beginn im Hintergrund stehen, um sich auf das Erlernen der nötigen Fähigkeiten konzentrieren zu können. Es scheint ratsam, ein standardisiertes Training nicht auf eine bestimmte Wiederholungszahl oder Trainingszeit festzulegen, sondern auf das Erreichen und Halten eines vordefinierten Leistungsniveaus. Da sich zudem in anderen Studien gezeigt hat, dass kürzere Trainingspausen und eine höhere Wiederholungszahl insbesondere bei mittelschweren oder schwierigen Übungen zu besseren Leistungen führen,[30,123] könnten vor allem ältere Chirurgen in größerem Maße davon profitieren, häufiger und in kürzeren Abständen zu trainieren.

Für die Erstellung eines Trainingscurriculums in Bezug auf das Alter müssten jedoch weitere Faktoren diskutiert werden, die in dieser Arbeit keine Berücksichtigung fanden. In einer realen Umgebung haben ältere Trainierende aufgrund ihres beruflichen Werdegangs oft bereits Vorerfahrungen im operativen oder konventionell laparoskopischen Bereich. Womöglich hätten sie dadurch als erfahrene Chirurgen im Training am dVSS einen Vorteil oder es bestünde ein geringerer Unterschied, vor allem in den Übungen mit spezifisch chirurgischer Natur, wie das Nähen oder Knoten. HAGEN ET AL. konnte ähnliches in einer Studie zeigen. Er ließ 18 chirurgisch unerfahrene Probanden (17-30 Jahre, im Mittel 26 Jahre) und 16 laparoskopisch geschulte Chirurgen (30-56 Jahre, im Mittel 36 Jahre) ohne Erfahrungen in Roboterchirurgie Geschicklichkeitsübungen sowie Naht-/Knotenübungen mit dem da Vinci Roboter durchführen. Es zeigte sich, dass die laparoskopischen Chirurgen besser abschnitten, als die jüngeren chirurgisch

unerfahrenen Probanden.[35] Andere Autoren konnten zwischen der Leistung am dVSS und Erfahrungen in konventionell laparoskopischer Chirurgie Zusammenhänge darstellen.[79]

Dies zeigt, dass weitere Studien in Bezug auf den Einfluss des Alters nötig sind, um ein Trainingscurriculum bestmöglich und individuell auf die unterschiedlichen Einflussfaktoren abstimmen zu können.

## 4.4 Fragebogen

Am Ende des zweiten Tages füllte jeder Proband einen Fragebogen aus. Neben Angaben zu Geschlecht, Alter, Händigkeit und Computerspielverhalten wurden die Teilnehmer zu ihren Erfahrungen mit dem Simulator und eventuellen muskuloskelettalen Beschwerden befragt und sollten den klinischen nutzen des Trainings bewerten. Wie bereits von anderer Autoren beschrieben,[7,8,118,125] schätzte auch die Mehrheit der Probanden dieser Studie das Training am dVSS als relevant zur Vorbereitung auf robotergestützte Eingriffe ein und war der Meinung, dass es fortgesetzt werden sollte. Ein großer Teil hielt es darüber hinaus für sinnvoll, das Simulationstraining fest in die chirurgische Facharztausbildung zu integrieren, da angenommen wird, dass die robotergestützte Chirurgie in Zukunft zunehmen werde.

Es hat sich gezeigt, dass die Trainingsdauer pro Versuchstag annehmbar war, da die Mehrheit der Probanden (68%) ihre Konzentration halten konnte. Sie lag bei den meisten Probanden bei max. 60 Minuten, was laut MEIER ET AL. einer Aufmerksamkeitsspanne von Novizen entspricht.[79] Dass die älteren Probanden im Vergleich zu den jüngeren Probanden ihre Konzentration weniger halten konnten, hat sich – wie man vielleicht vermuten würde – nicht gezeigt.

Die subjektiven Verbesserungen der eigenen Geschicklichkeit, des Instrumentenhandlings und des eigenen räumlichen Vorstellungsvermögens geben Hinweise auf den Nutzen des Simulatortrainings und wurden ebenfalls in Studien von GÜLDNER ET AL., TERGAS ET AL. und WALLICZEK-DWORSCHAK ET AL. festgestellt.[30,118,125]

Unter anschließenden muskuloskelettalen Beschwerden wie Schmerzen im Nacken oder in den Händen/Handgelenken litten nur wenige Teilnehmer. Diese Ergebnisse stehen im Einklang mit denen von GÜLDNER ET AL. und WALLICZEK-DWORSCHAK ET AL.[30,125] Im Gegensatz dazu berichteten die 20 Probanden (zehn Medizinstudenten und zehn Assistenzärzte der Gynäkologie) in der Studie von TERGAS ET AL. vermehrt von Schmerzen in den Händen/Handgelenken (42%; vorliegende Studie 11,6%), Nacken-/Rückenschmerzen (16%; vorliegende Studie 6,6%) sowie vorübergehenden Kopfschmerzen

(11%).[118] Bereits GÜLDNER ET AL. und WALLICZEK-DWORSCHAK ET AL. vermuteten, dass dies mit der Trainingsdauer sowie den durchgeführten Übungen zusammenhängen könnte.[30,125] In der vorliegenden Studie lagen die Trainingszeiten pro Sitzung im Mittel zwischen 33 Minuten und 50 Minuten. Die Trainingsdauer in der Studie von TERGAS ET AL. lag hingegen bei 60 Minuten. Zudem wurden in der vorliegenden Arbeit verschiedene Übungen durchgeführt, die zu unterschiedlichen Bewegungsmustern führten. Bei TERGAS ET AL. lag der Fokus auf Nahtübungen mit ähnlichen Bewegungsabläufen.[118]

Mit Blick auf die verschiedenen Altersgruppen könnte man meinen, dass der Anteil an muskuloskelettalen Beschwerden bei den Probanden ≥40 Jahren häufiger auftreten würde als bei den jüngeren. Interessanterweise ist dies jedoch nicht durchgehend der Fall. An Nackenschmerzen litt niemand in der ersten, 5% in der zweiten und 15% in der dritten Gruppe. Schmerzen in den Händen/Handgelenken hatten dagegen 20% in der ersten, 10% in der zweiten und nur 5% in der dritten Gruppe. Dieses Ergebnis steht in Einklang mit einer Studie von LEE ET AL. Sie befragten 423 Chirurgen, die regelmäßig Operationen mit einem Roboter durchführten, zu eventuell auftretenden körperlichen Symptomen. Es stellte sich heraus, dass die Symptome nicht mit dem Alter korrelierten.[67]

Eine Erklärung für die vermehrten Nackenschmerzen der dritten Gruppe könnten die häufig schlechteren Ergebnisse in *Master Workspace Range* sein. Größere Bewegungen der Mastersteuerungen führen automatisch zu einer schlechteren Körperhaltung und Überbeanspruchung von Schultern und Rücken. Laut HULLENAAR ET AL. ist es daher wichtig, zukünftigen Chirurgen eine ausreichende Unterweisung diesbezüglich zu geben.[120] Eine Erklärung für die vermehrten Schmerzen in den Händen/Handgelenken der ersten Gruppe hat die Autorin dieser Arbeit nicht.

## 4.5 Limitationen der Studie

In dieser Arbeit ist es gelungen, einen Lernerfolg am dVSS für verschiedene Altersklassen nachzuweisen. Ebenso konnte aufgezeigt werden, dass sich die Performance dieser Altersklassen – zumindest innerhalb von sechs Versuchen – unterscheidet.

Jedoch weist die verwendete Methodik einige Defizite auf. Die Altersspanne innerhalb der ersten beiden Gruppen ist mit zehn Jahren relativ groß. In der dritten Gruppe ist die Spanne mit 18 Jahren noch größer, da als Einschlusskriterium lediglich ein Alter von ≥40 Jahren festgelegt wurde. Zudem ist die Altersverteilung innerhalb der Gruppen ungleichmäßig (vgl. Abbildung 1). Die Gruppen 1 und 2 sind sich vom durchschnittlichen Alter her näher als die Gruppen 2 und 3, was Auswirkungen auf die Gruppenvergleiche

haben kann. Um dies auszuschließen, hätte man in den Gruppen eine gleichmäßige Altersverteilung festlegen müssen.

Ferner ist die Studie durch die vorgegebene Anzahl an Wiederholungen begrenzt.

Die Stichprobengröße von 60 Probanden ist im Vergleich zu bisherigen Studien über das Training am dVSS relativ groß, insbesondere in Bezug auf einen eventuellen Einfluss des Alters. Bei drei Gruppen mit jeweils 20 Probanden kann jedoch nicht ausgeschlossen werden, dass sich etwaige Ausreißer oder Fehler bei der Datenerhebung auf die Ergebnisse auswirken.

Ebenfalls muss der Ablauf der Datenerhebung kritisch betrachtet werden. So erfolgte sie zu unterschiedlichen Tageszeiten, wodurch die in den Abendstunden getesteten Probanden möglicherweise Nachteile hatten, z. B. aufgrund von Müdigkeit nach einem Arbeitstag. Die Möglichkeit, alle Probanden zu derselben Tageszeit zu testen, bestand nicht, da sich die für die Studie verwendete Chirurgenkonsole in einem unregelmäßig genutzten Operationssaal befand. Ferner standen die Probanden während der Durchführung der Übungen dauerhaft unter Beobachtung der Untersucherin. Im Sinne des Hawthorne-Effektes könnte dadurch das Verhalten der Probanden und somit die Ausführung der Übungen beeinflusst worden sein. Da die Datenerhebung in einem Operationssaal stattfand und nicht alle Probanden zugangsberechtigt waren, war es der Untersucherin jedoch aufgrund ihrer Aufsichtspflicht nicht möglich, den Raum während der Übungen zu verlassen.

Eine weitere Einschränkung besteht in dem Bewertungsschema des dVSS, welches die Ergebnisse der einzelnen Parameter in Prozentwerte umrechnet. Ab dem Erreichen der entsprechenden Prozentgrenze von 0% oder 100% wird jedes Ergebnis gleich gewertet. Dies bedeutet, dass die Probanden ab diesem Punkt zwar unterschiedliche Ergebnisse haben können, dies für die Berechnung des *Overall Score* allerdings irrelevant ist. Dementsprechend fallen die Unterschiede zwischen den Gruppen womöglich kleiner aus, als sie tatsächlich sind.

Zu guter Letzt muss darauf hingewiesen werden, dass ein Vergleich der Ergebnisse mit anderer Literatur schwierig ist, da zu diesem Thema bislang nur wenige Studien veröffentlicht sind.

# 5 Zusammenfassung

Die roboterassistierte Chirurgie ist eine komplexe Operationsmethode, die besondere Anforderungen an die Chirurgen stellt. Ihre zunehmende Ausbreitung in den verschiedensten Fachgebieten der Medizin erfordert effektive Trainingsmethoden, um roboterchirurgische Fähigkeiten außerhalb des Operationssaals erlernen zu können. Eine solche stellt der da Vinci Skills Simulator dar, welchen die Firma Intuitive Surgical in Kooperation mit Mimic Technologies entwickelte.

Diverse Studien untersuchten potenzielle Einflussfaktoren auf das Training am Simulator, um die Erarbeitung eines standardisierten Trainings zu ermöglichen. Zum Einfluss des Alters gibt es bisher jedoch nur wenige Daten. Die vorliegende Studie soll diese Wissenslücke füllen und herausfinden, ob eine Altersgruppe womöglich einer anderen im Erlernen technischer Fertigkeiten für die Roboterchirurgie überlegen ist.

In dieser prospektiven Studie wurden im Zeitraum von Dezember 2014 bis September 2016 insgesamt 60 roboterchirurgisch unerfahrene Probanden am da Vinci Skills Simulator getestet. Anhand ihres Alters wurden die Probanden in drei Gruppen zu je 20 Personen eingeteilt. Gruppe 1 bestand aus Personen im Alter von 20-29 Jahren, Gruppe 2 von 30-39 Jahren und Gruppe 3 von ≥40 Jahren. Das männliche und weibliche Geschlecht waren in den Gruppen zu gleichen Teilen vertreten. Jede Gruppe führte am da Vinci Skills Simulator dieselben vier Übungen (*Match Board 1*, *Peg Board 2*, *Ring & Rail* 2, *Energy & Dissection 3*) mit unterschiedlichen Schwerpunkten und Schwierigkeitsgraden durch. Jede der Übungen wurde an zwei verschiedenen Terminen insgesamt sechsmal wiederholt (Tag 1: Wdh. 1-3, Tag 2: Wdh. 4-6). Zwischen den beiden Terminen lag eine Woche. Am Ende des zweiten Termins füllten die Probanden zudem einen Fragebogen aus.

Nach erfolgreichem Abschluss jeder Übung wurden die Leistungen in Form verschiedener Parameter (*Time To Complete Exercise*, *Economy of Motion*, *Master Workspace Range*, *Instrument Collisions*, *Excessive Instrument Force*, *Instruments Out Of View*, *Drops, Misapplied Energy Time*, *Blood Loss Volume* und *Broken Vessels*) aufgezeigt und zu einem *Overall Score* zusammengefasst.

Das Training führte in den drei Hauptparametern (*Overall Score*, *Time To Complete Exercise*, *Economy of Motion*) in jeder Gruppe und Übung zu einem signifikanten Fähigkeitsgewinn. Im Gruppenvergleich zeigten sich die auffälligsten Unterschiede zwischen den Gruppen 1 und 3. So zeigte die erste Gruppe sowohl zu Beginn als auch zum Abschluss der Übungen häufig signifikant bessere Ergebnisse im *Overall Score* sowie

in *Economy of Motion*. In den schwierigeren Übungen war sie zudem signifikant schneller. Auch in den Versuchen, in denen sie nicht signifikant besser abschnitt als die dritte Gruppe, erzielte Gruppe 1 zumeist bessere Ergebnisse und konnte die Übungen schneller beenden. Die zweite Gruppe erzielte im Vergleich zur dritten ebenfalls häufig das bessere Ergebnis, jedoch bestanden dabei seltener signifikante Differenzen. Auch hier zeigten sich die größten Unterschiede in den schwierigeren Übungen. Obwohl sich zwischen den Gruppen 1 und 2 nur wenige signifikante Unterschiede ausmachen ließen, hatte Gruppe 1 auch hier meist das bessere Ergebnis, vor allem in den schwierigeren Übungen.

Die Gruppen 1 und 2 erreichten in allen vier Übungen einen *Overall Score* ≥80%, welcher gemäß der Empfehlung des Entwicklers als anzustrebendes Leistungsniveau gilt. Gruppe 3 erreichte dieses lediglich in den beiden leichten Übungen (*Match Board 1*, *Peg Board 2*). Jedoch wies die dritte Gruppe in drei Übungen (*Match Board 1*, *Peg Board 2*, *Energy & Dissection 3*) die größte Lernkurve von Versuch 1 zu 6 auf.

Die dargelegten Ergebnisse lassen erkennen, dass alle untersuchten Altersklassen von einem Training am da Vinci Skills Simulator profitierten. Zudem konnte nachgewiesen werden, dass die älteren Probanden im Vergleich zu den jüngeren häufig schlechtere Werte erzielten und mehr Zeit benötigten, um ähnliche Leistungen zu erbringen. Dies ist vor allem bei den schwierigeren Aufgaben erkennbar. In Anbetracht der Ergebnisse empfiehlt es sich, ein standardisiertes Training nicht auf eine feste Anzahl an Wiederholungen oder eine bestimmte Trainingszeit festzulegen. Das Erreichen und Halten eines vordefinierten Leistungsniveaus scheint in Bezug auf verschiedene Altersklassen die bessere Wahl zu sein. Auch profitieren ältere Auszubildende möglicherweise von kürzeren Trainingspausen sowie einer höheren Wiederholungszahl der einzelnen Übungen.

# 6 Abstract

Robot-assisted surgery is a complex surgical method, with special requirements on surgeons performing it. Since its introduction into medicine, it spread to a wide variety of specialties. Effective training methods are required to learn robotic surgical skills outside the operating room. Such a method is the da Vinci Skills Simulator, which was developed by 'Intuitive Surgical' in cooperation with 'Mimic Technologies'.

In order to enable the development of a standardized training, various studies investigated different factors influencing the training on the simulator. However, there is little data available on the influence of age. The present study aims to fill this lack of knowledge and to find out whether one age group is possibly better than another in learning technical skills for robotic surgery.

A total of 60 robotic novices were tested in this prospective study on the da Vinci Skills Simulator between December 2014 and September 2016. Based on their age, the subjects were divided into three groups of 20 subjects each. Group 1 was made up of subjects aged 20-29 years, Group 2 of 30-39 years, and Group 3 of ≥40 years. Males and females were equally represented in the groups. Each group performed the same four exercises (*Match Board 1*, *Peg Board 2*, *Ring & Rail 2*, *Energy & Dissection 3*) on the da Vinci Skills Simulator with different focuses and levels of difficulty. Each of these exercises was repeated a total of six times on two different dates (day 1: exercises 1-3, day 2: exercises 4-6), with a one-week interval between sessions. At the end of the second session, the subjects also completed a questionnaire.

After successful completion of each exercise, the performance was shown in form of various parameters (*Time To Complete Exercise*, *Economy of Motion*, *Master Workspace Range*, *Instrument Collisions*, *Excessive Instrument Force*, *Instruments Out Of View*, *Drops*, *Misapplied Energy Time*, *Blood Loss Volume* and *Broken Vessels*) and combined into an *Overall Score*.

The training resulted in significant skill gains in the main parameters (*Overall Score*, *Time To Complete Exercise*, *Economy of Motion*) in all exercises for all three groups. In the group comparison, the most prominent differences were found between groups 1 and 3, with the first group frequently showing significantly better results in *Overall Score* and *Economy of Motion*, both at the beginning and at the end of the exercises. Group 1 was also significantly faster in the more difficult exercises. Even in the trials in which it did not perform significantly better than the third group, group 1 usually achieved better results and was able to complete the exercises faster.

The second group also frequently achieved a better result compared to the third, but there were fewer significant differences. Again, the greatest differences were seen in the more difficult exercises. Although there were only a few significant differences between groups 1 and 2, group 1 also usually had the better result, especially in the more difficult exercises.

Groups 1 and 2 reached *Overall Scores* of ≥80%, which is the target performance level according to the developer's recommendation, in all four exercises after the sixth repetition. Group 3 only reached this in the two easy exercises (*Match Board 1*, *Peg Board 2*). However, in three exercises (*Match Board 1*, *Peg Board 2*, *Energy & Dissection 3*) the third group showed the largest learning curve from the first to the sixth attempt. The results show that all age groups investigated benefit from training on the da Vinci Skills Simulator. In addition, it could be shown that the older subjects often achieved poorer scores compared to the younger subjects and needed more time to perform similarly. This is especially noticeable in the more difficult tasks.

In view of the results, it is recommended that standardized training should not be limited to a fixed number of repetitions or a specific training time. Reaching and keeping a predefined performance level seems to be the better choice in respect of different age groups. Also, older trainees may benefit from shorter training breaks and a higher number of repetitions of the individual exercises.

# 7 Literaturverzeichnis


1. Abboudi H, Khan MS, Aboumarzouk O*, et al.* Current status of validation for robotic surgery simulators - a systematic review. BJU international 2013; 111: 194–205
2. Abdul-Muhsin H, Patel V. History of Robotic Surgery. In: Kim KC, ed. Robotics in General Surgery. New York, NY: Springer New York, 2014: 3–8
3. Aghazadeh MA, Mercado MA, Pan MM, Miles BJ, Goh AC. Performance of robotic simulated skills tasks is positively associated with clinical robotic surgical performance. BJU international 2016; 118: 475–81
4. Ahmed K, Ashrafian H, Hanna GB, Darzi A, Athanasiou T. Assessment of specialists in cardiovascular practice. Nature reviews. Cardiology 2009; 6: 659–67
5. Ahmed K, Miskovic D, Darzi A, Athanasiou T, Hanna GB. Observational tools for assessment of procedural skills: a systematic review. American journal of surgery 2011; 202: 469-480.e6
6. Alshuaibi M, Perrenot C, Hubert J, Perez M. Concurrent, face, content, and construct validity of the RobotiX Mentor simulator for robotic basic skills. The international journal of medical robotics + computer assisted surgery : MRCAS 2020; 16: e2100
7. Alzahrani T, Haddad R, Alkhayal A*, et al.* Validation of the da Vinci Surgical Skill Simulator across three surgical disciplines: A pilot study. Canadian Urological Association journal = Journal de l'Association des urologues du Canada 2013; 7: E520-9
8. Amirian MJ, Lindner SM, Trabulsi EJ, Lallas CD. Surgical suturing training with virtual reality simulation versus dry lab practice: an evaluation of performance improvement, content, and face validity. Journal of robotic surgery 2014; 8: 329–35
9. Baek S-J, Kim S-H. Robotics in general surgery: an evidence-based review. Asian journal of endoscopic surgery 2014; 7: 117–23
10. Barbash GI, Glied SA. New technology and health care costs--the case of robot-assisted surgery. The New England journal of medicine 2010; 363: 701–4
11. Ben-Or S, Nifong LW, Chitwood WR. Robotic surgical training. Cancer journal (Sudbury, Mass.) 2013; 19: 120–3
12. Boot WR, Kramer AF, Simons DJ, Fabiani M, Gratton G. The effects of video game playing on attention, memory, and executive control. Acta psychologica 2008; 129: 387–98

13. Bric J, Connolly M, Kastenmeier A, Goldblatt M, Gould JC. Proficiency training on a virtual reality robotic surgical skills curriculum. Surgical endoscopy 2014; 28: 3343–8
14. Brinkman WM, Luursema J-M, Kengen B, Schout BMA, Witjes JA, Bekkers RL. da Vinci skills simulator for assessing learning curve and criterion-based training of robotic basic skills. Urology 2013; 81: 562–6
15. Brown-Clerk B, Siu K-C, Katsavelis D, Lee I, Oleynikov D, Stergiou N. Validating advanced robot-assisted laparoscopic training task in virtual reality. Studies in health technology and informatics 2008; 132: 45–9
16. Cacciatore L, Costantini M, Tedesco F*, et al.* Robotic Medtronic Hugo™ RAS System Is Now Reality: Introduction to a New Simulation Platform for Training Residents. Sensors (Basel, Switzerland) 2023; 23
17. Calatayud D, Arora S, Aggarwal R*, et al.* Warm-up in a virtual reality environment improves performance in the operating room. Annals of surgery 2010; 251: 1181–5
18. Chen R, Rodrigues Armijo P, Krause C, Siu K-C, Oleynikov D. A comprehensive review of robotic surgery curriculum and training for residents, fellows, and postgraduate surgical education. Surgical endoscopy 2020; 34: 361–7
19. Connolly M, Seligman J, Kastenmeier A, Goldblatt M, Gould JC. Validation of a virtual reality-based robotic surgical skills curriculum. Surgical endoscopy 2014; 28: 1691–4
20. Culligan P, Gurshumov E, Lewis C, Priestley J, Komar J, Salamon C. Predictive validity of a training protocol using a robotic surgery simulator. Female pelvic medicine & reconstructive surgery 2014; 20: 48–51
21. da Vinci Surgery. The da Vinci Surgical System. https://www.davincisurgery.com/da-vinci-surgery/da-vinci-surgical-system/ (accessed 03/05/2019)
22. da Vnici Surgery Community. da Vinci Skills Simulator. https://www.davincisurgerycommunity.com/Systems_I_A/Skills_Simulator (accessed 03/19/2019)
23. Feifer A, Al-Ammari A, Kovac E, Delisle J, Carrier S, Anidjar M. Randomized controlled trial of virtual reality and hybrid simulation for robotic surgical training. BJU international 2011; 108: 1652-6; discussion 1657

24. Ficarra V, Novara G, Artibani W*, et al.* Retropubic, laparoscopic, and robot-assisted radical prostatectomy: a systematic review and cumulative analysis of comparative studies. European urology 2009; 55: 1037–63
25. Finnegan KT, Meraney AM, Staff I, Shichman SJ. da Vinci Skills Simulator construct validation study: correlation of prior robotic experience with overall score and time score simulator performance. Urology 2012; 80: 330–5
26. Foell K, Finelli A, Yasufuku K*, et al.* Robotic surgery basic skills training: Evaluation of a pilot multidisciplinary simulation-based curriculum. Canadian Urological Association journal = Journal de l'Association des urologues du Canada 2013; 7: 430–4
27. Gavazzi A, Bahsoun AN, van Haute W*, et al.* Face, content and construct validity of a virtual reality simulator for robotic surgery (SEP Robot). Annals of the Royal College of Surgeons of England 2011; 93: 152–6
28. Gawande AA, Zinner MJ, Studdert DM, Brennan TA. Analysis of errors reported by surgeons at three teaching hospitals. Surgery 2003; 133: 614–21
29. Gomez PP, Willis RE, van Sickle KR. Development of a virtual reality robotic surgical curriculum using the da Vinci Si surgical system. Surgical endoscopy 2015; 29: 2171–9
30. Güldner C, Orth A, Dworschak P*, et al.* Evaluation of different time schedules in training with the Da Vinci simulator. Surgical endoscopy 2017; 31: 4118–25
31. Gupta A, Lawendy B, Goldenberg MG, Grober E, Lee JY, Perlis N. Can video games enhance surgical skills acquisition for medical students? A systematic review. Surgery 2021; 169: 821–9
32. Guzzo TJ, Gonzalgo ML. Robotic surgical training of the urologic oncologist. Urologic oncology 2009; 27: 214–7
33. Hagen ME, Wagner OJ, Inan I, Morel P. Impact of IQ, computer-gaming skills, general dexterity, and laparoscopic experience on performance with the da Vinci surgical system. The international journal of medical robotics + computer assisted surgery : MRCAS 2009; 5: 327–31
34. Hagen ME, Stein H, Curet MJ. Introduction to the Robotic System. In: Kim CH (ed) Robotics in General Surgery. s.l.: Springer New York, 2014
35. Harbin AC, Nadhan KS, Mooney JH*, et al.* Prior video game utilization is associated with improved performance on a robotic skills simulator. Journal of robotic surgery 2017; 11: 317–24

36. Hertz AM, George EI, Vaccaro CM, Brand TC. Head-to-Head Comparison of Three Virtual-Reality Robotic Surgery Simulators. JSLS : Journal of the Society of Laparoendoscopic Surgeons 2018; 22
37. Himpens J, Leman G, Cadiere GB. Telesurgical laparoscopic cholecystectomy. Surgical endoscopy 1998; 12: 1091
38. Hockstein NG, Gourin CG, Faust RA, Terris DJ. A history of robots: from science fiction to surgical robotics. Journal of robotic surgery 2007; 1: 113–8
39. Hung AJ, Jayaratna IS, Teruya K, Desai MM, Gill IS, Goh AC. Comparative assessment of three standardized robotic surgery training methods. BJU international 2013; 112: 864–71
40. Hung AJ, Patil MB, Zehnder P*, et al.* Concurrent and predictive validation of a novel robotic surgery simulator: a prospective, randomized study. The Journal of urology 2012; 187: 630–7
41. Hung AJ, Zehnder P, Patil MB*, et al.* Face, content and construct validity of a novel robotic surgery simulator. The Journal of urology 2011; 186: 1019–24
42. Intuitive Surgical Inc. About us - company. https://www.intuitive.com/en-us/about-us/company (accessed 03/30/2023)
43. Intuitive Surgical Inc. About us - Press - FAQ. https://www.intuitive.com/en-us/about-us/press (accessed 03/01/2019)
44. Intuitive Surgical Inc. company - indications for use. https://www.intuitivesurgical.com/company/indications-for-use.php (accessed 03/02/2019)
45. Intuitive Surgical Inc. company - intended use. https://www.intuitivesurgical.com/company/intended-use.php (accessed 03/02/2019)
46. Intuitive Surgical Inc. healthcare professionals - hospitals. https://www.intuitive.com/en-us/healthcare-professionals/hospitals (accessed 06/03/2020)
47. Intuitive Surgical Inc. healthcare professionals - surgeons. https://www.intuitive.com/en-us/healthcare-professionals/surgeons (accessed 03/02/2019)
48. Intuitive Surgical Inc. Patients. https://www.intuitive.com/en/patients/patients (accessed 5.3.19)
49. Intuitive Surgical Inc. products - skills simulator - training. https://www.intuitivesurgical.com/products/skills_simulator/ (accessed 02/06/2017)

50. Intuitive Surgical Inc. Products and Services - da Vinci - Systems. https://www.intuitive.com/en-us/products-and-services/da-vinci/systems (accessed 03/05/2019)
51. Intuitive Surgical Inc. daVinci Si Surgical System: Benutzerhandbuch, 2014
52. Intuitive Surgical Inc. Company - Images. https://www.intuitivesurgical.com/company/media/images/davinci_si_images.php. (accessed abgerufen am 03/02/2017)
53. Jonsson MN, Mahmood M, Askerud T, *et al.* ProMIS™ can serve as a da Vinci® simulator--a construct validity study. Journal of endourology 2011; 25: 345–50
54. Julian D, Tanaka A, Mattingly P, Truong M, Perez M, Smith R. A comparative analysis and guide to virtual reality robotic surgical simulators. The international journal of medical robotics + computer assisted surgery : MRCAS 2018; 14
55. Jung M, Morel P, Buehler L, Buchs NC, Hagen ME. Robotic general surgery: current practice, evidence, and perspective. Langenbeck's archives of surgery 2015; 400: 283–92
56. Kahol K, Satava RM, Ferrara J, Smith ML. Effect of short-term pretrial practice on surgical proficiency in simulated environments: a randomized trial of the "preoperative warm-up" effect. Journal of the American College of Surgeons 2009; 208: 255–68
57. Kang SG, Ryu BJ, Yang KS, *et al.* An effective repetitive training schedule to achieve skill proficiency using a novel robotic virtual reality simulator. Journal of surgical education 2015; 72: 369–76
58. Kelly DC, Margules AC, Kundavaram CR, *et al.* Face, content, and construct validation of the da Vinci Skills Simulator. Urology 2012; 79: 1068–72
59. Kenney PA, Wszolek MF, Gould JJ, Libertino JA, Moinzadeh A. Face, content, and construct validity of dV-trainer, a novel virtual reality simulator for robotic surgery. Urology 2009; 73: 1288–92
60. Kesavadas T, Stegemann A, Sathyaseelan G, *et al.* Validation of Robotic Surgery Simulator (RoSS). Studies in health technology and informatics 2011; 163: 274–6
61. Kiely DJ, Gotlieb WH, Lau S, *et al.* Virtual reality robotic surgery simulation curriculum to teach robotic suturing: a randomized controlled trial. Journal of robotic surgery 2015; 9: 179–86
62. Kim YT, Kim SW, Jung YW. Robotic surgery in gynecologic field. Yonsei medical journal 2008; 49: 886–90

63. Kolontarev KB, Govorov AV, Rasner PI*, et al.* Simulation-based robot-assisted surgical training. Urologiia (Moscow, Russia : 1999) 2015: 122–9
64. Kowalewski K-F, Schmidt MW, Proctor T*, et al.* Skills in minimally invasive and open surgery show limited transferability to robotic surgery: results from a prospective study. Surgical endoscopy 2018; 32: 1656–67
65. Kwoh YS, Hou J, Jonckheere EA, Hayati S. A robot with improved absolute positioning accuracy for CT guided stereotactic brain surgery. IEEE transactions on biomedical engineering 1988; 35: 153–60
66. Leal Ghezzi T, Campos Corleta O. 30 Years of Robotic Surgery. World journal of surgery 2016; 40: 2550–7
67. Lee GI, Lee MR, Green I, Allaf M, Marohn MR. Surgeons' physical discomfort and symptoms during robotic surgery: a comprehensive ergonomic survey study. Surgical endoscopy 2017; 31: 1697–706
68. Lee JY, Mucksavage P, Kerbl DC, Huynh VB, Etafy M, McDougall EM. Validation study of a virtual reality robotic simulator--role as an assessment tool? The Journal of urology 2012; 187: 998–1002
69. Lee W-J, Chan C-P, Wang B-Y. Recent advances in laparoscopic surgery. Asian journal of endoscopic surgery 2013; 6: 1–8
70. Lendvay TS, Casale P, Sweet R, Peters C. VR robotic surgery: randomized blinded study of the dV-Trainer robotic simulator. Studies in health technology and informatics 2008; 132: 242–4
71. Lerner MA, Ayalew M, Peine WJ, Sundaram CP. Does training on a virtual reality robotic simulator improve performance on the da Vinci surgical system? Journal of endourology 2010; 24: 467–72
72. Leschky O. World's first surgical robot in B.C. The Medical Post; 1985, Vol. 21, No. 23
73. Liss MA, Abdelshehid C, Quach S*, et al.* Validation, correlation, and comparison of the da Vinci trainer(™) and the daVinci surgical skills simulator(™) using the Mimic(™) software for urologic robotic surgical education. Journal of endourology 2012; 26: 1629–34
74. Liu M, Curet M. A review of training research and virtual reality simulators for the da Vinci surgical system. Teaching and learning in medicine 2015; 27: 12–26

75. Lyons C, Goldfarb D, Jones SL*, et al.* Which skills really matter? proving face, content, and construct validity for a commercial robotic simulator. Surgical endoscopy 2013; 27: 2020–30
76. MacCraith E, Forde JC, Davis NF. Robotic simulation training for urological trainees: a comprehensive review on cost, merits and challenges. Journal of robotic surgery 2019
77. McDonough PS, Tausch TJ, Peterson AC, Brand TC. Initial validation of the ProMIS surgical simulator as an objective measure of robotic task performance. Journal of robotic surgery 2011; 5: 195–9
78. McDougall EM. Validation of surgical simulators. Journal of endourology 2007; 21: 244–7
79. Meier M, Horton K, John H. Da Vinci© Skills Simulator™: is an early selection of talented console surgeons possible? Journal of robotic surgery 2016; 10: 289–96
80. Mimic Technologies Inc. MScore. https://mimicsimulation.com/mscore/ (accessed 02/15/2019)
81. Mimic Technologies Inc. Simulator for Intuitive Surgical. https://mimicsimulation.com/inside-dv-trainerpartnership/ (accessed 03/15/2019)
82. Mimic Technologies Inc. Skills Simulator daVinci Si Surgical System: Product Information, 2013
83. Mimic Technologies Inc. Things to Consider When Looking for a Robotic Surgery Simulator. https://mimicsimulation.com/things-to-consider-when-looking-for-a-robotic-surgical-simulator/ (accessed 03/25/2019)
84. Moglia A, Ferrari V, Melfi F*, et al.* Performances on simulator and da Vinci robot on subjects with and without surgical background. Minimally invasive therapy & allied technologies : MITAT : official journal of the Society for Minimally Invasive Therapy 2018; 27: 309–14
85. 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. Surgical endoscopy 2014; 28: 1830–7
86. Moglia A, Ferrari V, Morelli L, Ferrari M, Mosca F, Cuschieri A. A Systematic Review of Virtual Reality Simulators for Robot-assisted Surgery. European urology 2016; 69: 1065–80
87. Moglia A, Perrone V, Ferrari V*, et al.* Influence of videogames and musical instruments on performances at a simulator for robotic surgery. Minimally invasive thera-

py & allied technologies : MITAT : official journal of the Society for Minimally Invasive Therapy 2017; 26: 129–34

88. Mukherjee M, Siu K-C, Suh IH, Klutman A, Oleynikov D, Stergiou N. A virtual reality training program for improvement of robotic surgical skills. Studies in health technology and informatics 2009; 142: 210–4
89. Nguyen NT, Hinojosa MW, Fayad C*, et al.* Laparoscopic surgery is associated with a lower incidence of venous thromboembolism compared with open surgery. Annals of surgery 2007; 246: 1021–7
90. Ou Y, McGlone ER, Camm CF, Khan OA. Does playing video games improve laparoscopic skills? International journal of surgery (London, England) 2013; 11: 365–9
91. Patel A, Patel M, Lytle N*, et al.* Can we become better robot surgeons through simulator practice? Surgical endoscopy 2014; 28: 847–53
92. Perrenot C, Perez M, Tran N*, et al.* The virtual reality simulator dV-Trainer(®) is a valid assessment tool for robotic surgical skills. Surgical endoscopy 2012; 26: 2587–93
93. Rajanbabu A, Drudi L, Lau S, Press JZ, Gotlieb WH. Virtual reality surgical simulators- a prerequisite for robotic surgery. Indian journal of surgical oncology 2014; 5: 125–7
94. Ramos P, Montez J, Tripp A, Ng CK, Gill IS, Hung AJ. Face, content, construct and concurrent validity of dry laboratory exercises for robotic training using a global assessment tool. BJU international 2014; 113: 836–42
95. Rosser JC, Rosser LE, Savalgi RS. Objective evaluation of a laparoscopic surgical skill program for residents and senior surgeons. Archives of surgery (Chicago, Ill. : 1960) 1998; 133: 657–61
96. Rueda-Delgado LM, Heise KF, Daffertshofer A, Mantini D, Swinnen SP. Age-related differences in neural spectral power during motor learning. Neurobiology of aging 2019; 77: 44–57
97. Salkini MW, Hamilton AJ. The effect of age on acquiring laparoscopic skills. Journal of endourology 2010; 24: 377–9
98. Sammut M, Sammut M, Andrejevic P. The benefits of being a video gamer in laparoscopic surgery. International journal of surgery (London, England) 2017; 45: 42–6
99. Satava RM. Surgical robotics: the early chronicles: a personal historical perspective. Surgical laparoscopy, endoscopy & percutaneous techniques 2002; 12: 6–16

100. Satava RM, Stefanidis D, Levy JS, *et al.* Proving the Effectiveness of the Fundamentals of Robotic Surgery (FRS) Skills Curriculum: A Single-blinded, Multi-specialty, Multi-institutional Randomized Control Trial. Annals of surgery 2020; 272: 384–92

101. Sawaki L, Yaseen Z, Kopylev L, Cohen LG. Age-dependent changes in the ability to encode a novel elementary motor memory. Annals of neurology 2003; 53: 521–4

102. Schreuder HWR, Wolswijk R, Zweemer RP, Schijven MP, Verheijen RHM. Training and learning robotic surgery, time for a more structured approach: a systematic review. BJOG : an international journal of obstetrics and gynaecology 2012; 119: 137–49

103. Schwaibold H, Wiesend F, Bach C. The age of robotic surgery - Is laparoscopy dead? Arab journal of urology 2018; 16: 262–9

104. Seixas-Mikelus SA, Kesavadas T, Srimathveeravalli G, Chandrasekhar R, Wilding GE, Guru KA. Face validation of a novel robotic surgical simulator. Urology 2010; 76: 357–60

105. Seixas-Mikelus SA, Stegemann AP, Kesavadas T, *et al.* Content validation of a novel robotic surgical simulator. BJU international 2011; 107: 1130–5

106. Sethi AS, Peine WJ, Mohammadi Y, Sundaram CP. Validation of a novel virtual reality robotic simulator. Journal of endourology 2009; 23: 503–8

107. Shane MD, Pettitt BJ, Morgenthal CB, Smith CD. Should surgical novices trade their retractors for joysticks? Videogame experience decreases the time needed to acquire surgical skills. Surgical endoscopy 2008; 22: 1294–7

108. Shapiro R, Vogel JD, Kiran RP. Risk of postoperative venous thromboembolism after laparoscopic and open colorectal surgery: an additional benefit of the minimally invasive approach? Diseases of the colon and rectum 2011; 54: 1496–502

109. Shee K, Ghali FM, Hyams ES. Practice Makes Perfect: Correlations Between Prior Experience in High-level Athletics and Robotic Surgical Performance Do Not Persist After Task Repetition. Journal of surgical education 2017; 74: 630–7

110. Sheth SS, Fader AN, Tergas AI, Kushnir CL, Green IC. Virtual reality robotic surgical simulation: an analysis of gynecology trainees. Journal of surgical education 2014; 71: 125–32

111. Simmonds C. What's in a Score? (and What is the Data Telling You). https://mimicsimulation.com/whats-in-a-score-and-what-is-the-data-telling-you/ (accessed 02/15/2019)
112. Smith R, Truong M, Perez M. Comparative analysis of the functionality of simulators of the da Vinci surgical robot. Surgical endoscopy 2015; 29: 972–83
113. Solesio-Jofre E, Serbruyns L, Woolley DG, Mantini D, Beets IAM, Swinnen SP. Aging effects on the resting state motor network and interlimb coordination. Human brain mapping 2014; 35: 3945–61
114. Suh IH, Siu K-C, Mukherjee M, Monk E, Oleynikov D, Stergiou N. Consistency of performance of robot-assisted surgical tasks in virtual reality. Studies in health technology and informatics 2009; 142: 369–73
115. SurgicalWatch. da Vinci Robot Lawsuit. http://surgicalwatch.com/davinci-robot/lawsuit/ (accessed 03/18/2019)
116. Tanaka A, Graddy C, Simpson K, Perez M, Truong M, Smith R. Robotic surgery simulation validity and usability comparative analysis. Surgical endoscopy 2016; 30: 3720–9
117. Tanner L. Robot hot among surgeons but FDA taking a fresh look. The Sydney Morning Herald 2013
118. Tergas AI, Sheth SB, Green IC, Giuntoli RL, Winder AD, Fader AN. A pilot study of surgical training using a virtual robotic surgery simulator. JSLS : Journal of the Society of Laparoendoscopic Surgeons 2013; 17: 219–26
119. Turchetti G, Palla I, Pierotti F, Cuschieri A. Economic evaluation of da Vinci-assisted robotic surgery: a systematic review. Surgical endoscopy 2012; 26: 598–606
120. Van't Hullenaar CDP, Mertens AC, Ruurda JP, Broeders IAMJ. Validation of ergonomic instructions in robot-assisted surgery simulator training. Surgical endoscopy 2018; 32: 2533–40
121. Verhaeghen P, Salthouse TA. Meta-analyses of age-cognition relations in adulthood: estimates of linear and nonlinear age effects and structural models. Psychological bulletin 1997; 122: 231–49
122. Verneau M, van der Kamp J, Savelsbergh GJP, Looze MP de. Age and time effects on implicit and explicit learning. Experimental aging research 2014; 40: 477–511

123. Walliczek U, Förtsch 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

124. Walliczek-Dworschak U, Mandapathil M, Förtsch A*, et al.* Structured training on the da Vinci Skills Simulator leads to improvement in technical performance of robotic novices. Clinical otolaryngology : official journal of ENT-UK ; official journal of Netherlands Society for Oto-Rhino-Laryngology & Cervico-Facial Surgery 2017; 42: 71–80

125. 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. Surgical endoscopy 2017; 31: 2397–405

126. Weinberg L, Rao S, Escobar PF. Robotic surgery in gynecology: an updated systematic review. Obstetrics and gynecology international 2011; 2011: 852061

127. Wexner SD, Bergamaschi R, Lacy A*, et al.* The current status of robotic pelvic surgery: results of a multinational interdisciplinary consensus conference. Surgical endoscopy 2009; 23: 438–43

128. Whittaker G, Aydin A, Raison N*, et al.* Validation of the RobotiX Mentor Robotic Surgery Simulator. Journal of endourology 2016; 30: 338–46

129. Wiener S, Haddock P, Shichman S, Dorin R. Construction of a Urologic Robotic Surgery Training Curriculum: How Many Simulator Sessions Are Required for Residents to Achieve Proficiency? Journal of endourology 2015; 29: 1289–93

130. Yates DR, Vaessen C, Roupret M. From Leonardo to da Vinci: the history of robot-assisted surgery in urology. BJU international 2011; 108: 1708-13; discussion 1714

131. Zhang N, Sumer BD. Transoral robotic surgery: simulation-based standardized training. JAMA otolaryngology-- head & neck surgery 2013; 139: 1111–7

# 8 Anhang A: Ergänzende Tabellen

**Anhang 1: Tabellarische Darstellung der Prozentgrenzen der einzelnen Parameter der Übungen *MB1, PB2, RR2* und *ED3***

| Parameter | Score Value | *MB 1* | *PB 2* | *RR 2* | *ED 3* |
|---|---|---|---|---|---|
| ***Time to Complete Exercise* [s]** | 0% | 180 | 240 | 500 | 240 |
| | 100% | 70 | 65 | 120 | 120 |
| ***Economy Of Motion* [cm]** | 0% | 400 | 400 | 800 | 500 |
| | 100% | 200 | 225 | 300 | 150 |
| ***Instrument Collisions* [n]** | 0% | 5 | 5 | 5 | 5 |
| | 100% | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ***Excessive Instrument Force [s]*** | 0% | 10 | 10 | 10 | 5 |
| | 100% | 2 | 2 | 2 | 0 |
| ***Instruments Out of View* [cm]** | 0% | 5 | 5 | 5 | 5 |
| | 100% | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ***Master Workspace Range* [cm]** | 0% | 15 | 15 | 15 | 15 |
| | 100% | 10 | 10 | 10 | 10 |
| ***Drops* [n]** | 0% | 5 | 5 | 5 | - |
| | 100% | 0 | 0 | 0 | - |
| ***Misapplied Energy Time* [s]** | 0% | - | - | - | 20 |
| | 100% | - | - | - | 5 |
| ***Blood Loss Volume* [ml]** | 0% | - | - | - | 50 |
| | 100% | - | - | - | 0 |
| ***Brocken Vessels* [n]** | 0% | - | - | - | 1 |
| | 100% | - | - | - | 0 |

**Anhang 2: Vergleich der benötigten Gesamtzeit der einzelnen Übungen pro Tag innerhalb der Gruppen**

| Übung | Gruppe | Tag | Gesamtzeit [min] | SD [min] | p-Wert |
|---|---|---|---|---|---|
| ***Match Board 1*** | 1 | 1 | 13,20 | 2,42 | **0,000** |
| | | 2 | 8,85 | 0,99 | |
| | 2 | 1 | 13,95 | 3,68 | **0,000** |
| | | 2 | 9,55 | 3,02 | |
| | 3 | 1 | 14,35 | 3,94 | **0,000** |
| | | 2 | 11,00 | 1,41 | |
| ***Peg Board 2*** | 1 | 1 | 8,60 | 1,90 | **0,000** |
| | | 2 | 5,65 | 0,67 | |
| | 2 | 1 | 9,00 | 2,51 | **0,000** |
| | | 2 | 6,05 | 1,82 | |
| | 3 | 1 | 8,85 | 2,03 | **0,000** |
| | | 2 | 6,70 | 1,72 | |
| ***Ring & Rail 2*** | 1 | 1 | 19,10 | 4,01 | **0,000** |
| | | 2 | 12,75 | 2,43 | |
| | 2 | 1 | 20,45 | 5,21 | **0,000** |
| | | 2 | 14,05 | 4,36 | |
| | 3 | 1 | 19,35 | 5,50 | **0,000** |
| | | 2 | 15,80 | 3,87 | |
| ***Energy & Dissection 3*** | 1 | 1 | 8,30 | 1,38 | **0,000** |
| | | 2 | 6,05 | 1,61 | |
| | 2 | 1 | 8,60 | 2,28 | **0,000** |
| | | 2 | 6,15 | 2,03 | |
| | 3 | 1 | 8,55 | 1,47 | **0,000** |
| | | 2 | 6,65 | 1,76 | |

**Anhang 3: Benötigte Gesamtzeit (min) der einzelnen Übungen pro Tag im Gruppenvergleich**

| Übung | Gruppe | Tag 1 (Wdh. 1-3) | | | Tag 2 (Wdh. 4-6) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Mittelwert [min] | SD | p-Wert | Mittelwert [min] | SD | p-Wert |
| ***Match Board 1*** | 1 | 13,20 | 2,42 | 0,452 | 8,85 | 0,99 | 0,334 |
| | 2 | 13,95 | 3,68 | | 9,55 | 3,02 | |
| | 1 | 13,20 | 2,42 | 0,273 | 8,85 | 0,99 | **0,000** |
| | 3 | 14,35 | 3,94 | | 11,00 | 1,41 | |
| | 2 | 13,95 | 3,68 | 0,742 | 9,55 | 3,02 | 0,062 |
| | 3 | 14,35 | 3,94 | | 11,00 | 1,41 | |
| ***Peg Board 2*** | 1 | 8,60 | 1,90 | 0,574 | 5,65 | 0,67 | 0,366 |
| | 2 | 9,00 | 2,51 | | 6,05 | 1,82 | |
| | 1 | 8,60 | 1,90 | 0,690 | 5,65 | 0,67 | **0,018** |
| | 3 | 8,85 | 2,03 | | 6,70 | 1,72 | |
| | 2 | 9,00 | 2,51 | 0,837 | 6,05 | 1,82 | 0,253 |
| | 3 | 8,85 | 2,03 | | 6,70 | 1,72 | |
| ***Ring & Rail 2*** | 1 | 19,10 | 4,01 | 0,364 | 12,75 | 2,43 | 0,253 |
| | 2 | 20,45 | 5,21 | | 14,05 | 4,36 | |
| | 1 | 19,10 | 4,01 | 0,870 | 12,75 | 2,43 | **0,005** |
| | 3 | 19,35 | 5,50 | | 15,80 | 3,87 | |
| | 2 | 20,45 | 5,21 | 0,520 | 14,05 | 4,36 | 0,188 |
| | 3 | 19,35 | 5,50 | | 15,80 | 3,87 | |
| ***Energy & Dissection 3*** | 1 | 8,30 | 1,38 | 0,618 | 6,05 | 1,61 | 0,864 |
| | 2 | 8,60 | 2,28 | | 6,15 | 2,03 | |
| | 1 | 8,30 | 1,38 | 0,582 | 6,05 | 1,61 | 0,266 |
| | 3 | 8,55 | 1,47 | | 6,65 | 1,76 | |
| | 2 | 8,60 | 2,28 | 0,935 | 6,15 | 2,03 | 0,410 |
| | 3 | 8,55 | 1,47 | | 6,65 | 1,76 | |

**Anhang 4: Darstellung der mittleren *Instrument Collisions* der Versuche 1 und 6 im Gruppenvergleich bei den Übungen *MB1, PB2, RR2* und *ED3***

| Übung | Gruppe | Versuch 1 | | | Versuch 6 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Mittelwert [n] | SD | p-Wert | Mittelwert [n] | SD | p-Wert |
| ***Match Board 1*** | 1 | 1,30 (74%) | 1,81 | 0,260 | 0,30 (94%) | 0,66 | 0,567 |
| | 2 | 0,75 (85%) | 1,16 | | 0,20 (96%) | 0,41 | |
| | 1 | 1,30 (74%) | 1,81 | 0,283 | 0,30 (94%) | 0,66 | 0,378 |
| | 3 | 2,35 (53%) | 3,91 | | 0,15 (97%) | 0,37 | |
| | 2 | 0,75 (85%) | 1,16 | 0,093 | 0,20 (96%) | 0,41 | 0,687 |
| | 3 | 2,35 (53%) | 3,91 | | 0,15 (97%) | 0,37 | |
| ***Peg Board 2*** | 1 | 0,35 (93%) | 0,59 | 0,774 | 0,25 (95%) | 0,72 | 0,836 |
| | 2 | 0,40 (92%) | 0,50 | | 0,30 (94%) | 0,80 | |
| | 1 | 0,35 (93%) | 0,59 | 0,093 | 0,25 (95%) | 0,72 | 0,282 |
| | 3 | 1,40 (72%) | 2,66 | | 0,55 (89%) | 1,00 | |
| | 2 | 0,40 (92%) | 0,50 | 0,107 | 0,30 (94%) | 0,80 | 0,388 |
| | 3 | 1,40 (72%) | 2,66 | | 0,55 (89%) | 1,00 | |
| ***Ring & Rail 2*** | 1 | 3,15 (37%) | 2,54 | 0,956 | 0,95 (81%) | 1,10 | 0,206 |
| | 2 | 3,20 (36%) | 3,11 | | 1,70 (66%) | 2,34 | |
| | 1 | 3,15 (37%) | 2,54 | 0,957 | 0,95 (81%) | 1,10 | **0,007** |
| | 3 | 3,10 (38%) | 3,28 | | 2,60 (48%) | 2,30 | |
| | 2 | 3,20 (36%) | 3,11 | 0,922 | 1,70 (66%) | 2,34 | 0,228 |
| | 3 | 3,10 (38%) | 3,28 | | 2,60 (48%) | 2,30 | |
| ***Energy & Dissection 3*** | 1 | 0,60 (88%) | 1,23 | 0,324 | 0,25 (95%) | 0,55 | 0,350 |
| | 2 | 1,00 (80%) | 1,30 | | 0,10 (98%) | 0,45 | |
| | 1 | 0,60 (88%) | 1,23 | 0,224 | 0,25 (95%) | 0,55 | 1,000 |
| | 3 | 1,15 (77%) | 1,57 | | 0,25 (95%) | 0,44 | |
| | 2 | 1,00 (80%) | 1,30 | 0,743 | 0,10 (98%) | 0,45 | 0,294 |
| | 3 | 1,15 (77%) | 1,57 | | 0,25 (95%) | 0,44 | |

**Anhang 5: Darstellung der mittleren *Excessive Instrument Force* der Versuche 1 und 6 im Gruppenvergleich bei den Übungen *MB1, PB2, RR2* und *ED3***

| Übung | Gruppe | Versuch 1 | | | Versuch 6 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Mittelwert [s] | SD | p-Wert | Mittelwert [s] | SD | p-Wert |
| ***Match Board 1*** | 1 | 0,10 (100%) | 0,45 | 0,783 | 0,00 (100%) | 0,00 | - |
| | 2 | 0,15 (100%) | 0,67 | | 0,00 (100%) | 0,00 | |
| | 1 | 0,10 (100%) | 0,45 | 0,256 | 0,00 (100%) | 0,00 | - |
| | 3 | 0,50 (100%) | 1,47 | | 0,00 (100%) | 0,00 | |
| | 2 | 0,15 (100%) | 0,67 | 0,339 | 0,00 (100%) | 0,00 | - |
| | 3 | 0,50 (100%) | 1,47 | | 0,00 (100%) | 0,00 | |
| ***Peg Board 2*** | 1 | 0,25 (100%) | 0,91 | 0,522 | 0,00 (100%) | 0,00 | - |
| | 2 | 0,50 (100%) | 1,47 | | 0,00 (100%) | 0,00 | |
| | 1 | 0,25 (100%) | 0,91 | 0,211 | 0,00 (100%) | 0,00 | - |
| | 3 | 1,10 (100%) | 2,81 | | 0,00 (100%) | 0,00 | |
| | 2 | 0,50 (100%) | 1,47 | 0,402 | 0,00 (100%) | 0,00 | - |
| | 3 | 1,10 (100%) | 2,81 | | 0,00 (100%) | 0,00 | |
| ***Ring & Rail 2*** | 1 | 7,80 (28%) | 14,20 | 0,340 | 3,65 (79%) | 8,88 | 0,523 |
| | 2 | 13,60 (0%) | 22,77 | | 2,25 (97%) | 3,96 | |
| | 1 | 7,80 (28%) | 14,20 | 0,205 | 3,65 (79%) | 8,88 | 0,148 |
| | 3 | 13,50 (0%) | 13,76 | | 7,75 (28%) | 8,68 | |
| | 2 | 13,60 (0%) | 22,77 | 0,987 | 2,25 (97%) | 3,96 | **0,016** |
| | 3 | 13,50 (0%) | 13,76 | | 7,75 (28%) | 8,68 | |
| ***Energy & Dissection 3*** | 1 | 0,00 (100%) | 0,00 | 0,330 | 0,00 (100%) | 0,00 | - |
| | 2 | 0,05 (99%) | 0,22 | | 0,00 (100%) | 0,00 | |
| | 1 | 0,00 (100%) | 0,00 | 0,323 | 0,00 (100%) | 0,00 | - |
| | 3 | 3,70 (26%) | 16,31 | | 0,00 (100%) | 0,00 | |
| | 2 | 0,05 (99%) | 0,22 | 0,330 | 0,00 (100%) | 0,00 | - |
| | 3 | 3,70 (26%) | 16,31 | | 0,00 (100%) | 0,00 | |

**Anhang 6: Darstellung der mittleren *Instruments Out Of View* der Versuche 1 und 6 im Gruppenvergleich bei den Übungen *MB1, PB2, RR2* und *ED3***

| Übung | Gruppe | Versuch 1 | | | Versuch 6 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Mittelwert [cm] | SD | p-Wert | Mittelwert [cm] | SD | p-Wert |
| ***Match Board 1*** | 1 | 0,15 (97%) | 0,67 | 0,818 | 0,00 (100%) | 0,00 | - |
| | 2 | 0,20 (96%) | 0,70 | | 0,00 (100%) | 0,00 | |
| | 1 | 0,15 (97%) | 0,67 | 0,459 | 0,00 (100%) | 0,00 | - |
| | 3 | 0,35 (93%) | 0,99 | | 0,00 (100%) | 0,00 | |
| | 2 | 0,20 (96%) | 0,70 | 0,582 | 0,00 (100%) | 0,00 | - |
| | 3 | 0,35 (93%) | 0,99 | | 0,00 (100%) | 0,00 | |
| ***Peg Board 2*** | 1 | 0,00 (100%) | 0,00 | - | 0,00 (100%) | 0,00 | - |
| | 2 | 0,00 (100%) | 0,00 | | 0,00 (100%) | 0,00 | |
| | 1 | 0,00 (100%) | 0,00 | - | 0,00 (100%) | 0,00 | - |
| | 3 | 0,00 (100%) | 0,00 | | 0,00 (100%) | 0,00 | |
| | 2 | 0,00 (100%) | 0,00 | - | 0,00 (100%) | 0,00 | - |
| | 3 | 0,00 (100%) | 0,00 | | 0,00 (100%) | 0,00 | |
| ***Ring & Rail 2*** | 1 | 0,70 (86%) | 1,26 | 0,386 | 0,45 (91%) | 1,19 | 0,395 |
| | 2 | 2,00 (60%) | 6,51 | | 0,20 (96%) | 0,52 | |
| | 1 | 0,70 (86%) | 1,26 | **0,025** | 0,45 (91%) | 1,19 | 0,068 |
| | 3 | 2,65 (47%) | 3,42 | | 1,65 (67%) | 2,56 | |
| | 2 | 2,00 (60%) | 6,51 | 0,695 | 0,20 (96%) | 0,52 | **0,022** |
| | 3 | 2,65 (47%) | 3,42 | | 1,65 (67%) | 2,56 | |
| ***Energy & Dissection 3*** | 1 | 0,00 (100%) | 0,00 | - | 0,00 (100%) | 0,00 | - |
| | 2 | 0,00 (100%) | 0,00 | | 0,00 (100%) | 0,00 | |
| | 1 | 0,00 (100%) | 0,00 | 0,330 | 0,00 (100%) | 0,00 | - |
| | 3 | 0,55 (89%) | 2,46 | | 0,00 (100%) | 0,00 | |
| | 2 | 0,00 (100%) | 0,00 | 0,330 | 0,00 (100%) | 0,00 | - |
| | 3 | 0,55 (89%) | 2,46 | | 0,00 (100%) | 0,00 | |

**Anhang 7: Darstellung des mittleren *Master Workspace Range* der Versuche 1 und 6 im Gruppenvergleich bei den Übungen *MB1, PB2, RR2* und *ED3***

| Übung | Gruppe | Versuch 1 | | | Versuch 6 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Mittelwert [cm] | SD | p-Wert | Mittelwert [cm] | SD | p-Wert |
| ***Match Board 1*** | 1 | 10,35 (93%) | 2,28 | 0,624 | 9,90 (100%) | 2,02 | 0,627 |
| | 2 | 10,00 (100%) | 2,20 | | 10,25 (95%) | 2,47 | |
| | 1 | 10,35 (93%) | 2,28 | **0,007** | 9,90 (100%) | 2,02 | 0,297 |
| | 3 | 12,05 (59%) | 1,43 | | 10,60 (88%) | 2,16 | |
| | 2 | 10,00 (100%) | 2,20 | **0,001** | 10,25 (95%) | 2,47 | 0,636 |
| | 3 | 12,05 (59%) | 1,43 | | 10,60 (88%) | 2,16 | |
| ***Peg Board 2*** | 1 | 10,00 (100%) | 2,36 | 0,647 | 10,60 (88%) | 2,35 | 0,824 |
| | 2 | 10,30 (94%) | 1,69 | | 10,45 (91%) | 1,85 | |
| | 1 | 10,00 (100%) | 2,36 | **0,006** | 10,60 (88%) | 2,35 | 1,000 |
| | 3 | 11,85 (63%) | 1,53 | | 10,60 (88%) | 2,66 | |
| | 2 | 10,30 (94%) | 1,69 | **0,004** | 10,45 (91%) | 1,85 | 0,837 |
| | 3 | 11,85 (63%) | 1,53 | | 10,60 (88%) | 2,66 | |
| ***Ring & Rail 2*** | 1 | 9,40 (100%) | 1,73 | 0,658 | 8,65 (100%) | 1,57 | **0,027** |
| | 2 | 9,65 (100%) | 1,81 | | 9,85 (100%) | 1,73 | |
| | 1 | 9,40 (100%) | 1,73 | **0,023** | 8,65 (100%) | 1,57 | **0,000** |
| | 3 | 10,65 (87%) | 1,60 | | 11,15 (77%) | 2,32 | |
| | 2 | 9,65 (100%) | 1,81 | 0,072 | 9,85 (100%) | 1,73 | 0,052 |
| | 3 | 10,65 (87%) | 1,60 | | 11,15 (77%) | 2,32 | |
| ***Energy & Dissection 3*** | 1 | 8,00 (100%) | 1,86 | 0,054 | 8,70 (100%) | 2,08 | 0,351 |
| | 2 | 9,30 (100%) | 2,25 | | 8,15 (100%) | 1,57 | |
| | 1 | 8,00 (100%) | 1,86 | 0,126 | 8,70 (100%) | 2,08 | 0,250 |
| | 3 | 9,05 (100%) | 2,35 | | 7,90 (100%) | 2,25 | |
| | 2 | 9,30 (100%) | 2,25 | 0,733 | 8,15 (100%) | 1,57 | 0,685 |
| | 3 | 9,05 (100%) | 2,35 | | 7,90 (100%) | 2,25 | |

**Anhang 8: Darstellung der mittleren *Drops* der Versuche 1 und 6 im Gruppenvergleich bei den Übungen *MB1, PB2, RR2* und *ED3***

| Übung | Gruppe | Versuch 1 | | | Versuch 6 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Mittelwert [n] | SD | p-Wert | Mittelwert [n] | SD | p-Wert |
| ***Match Board 1*** | 1 | 0,25 (95%) | 0,55 | 1,000 | 0,00 (100%) | 0,00 | 0,330 |
| | 2 | 0,25 (95%) | 0,55 | | 0,05 (99%) | 0,22 | |
| | 1 | 0,25 (95%) | 0,55 | 0,503 | 0,00 (100%) | 0,00 | 0,330 |
| | 3 | 0,15 (97%) | 0,37 | | 0,05 (99%) | 0,22 | |
| | 2 | 0,25 (95%) | 0,55 | 0,503 | 0,05 (99%) | 0,22 | 1,000 |
| | 3 | 0,15 (97%) | 0,37 | | 0,05 (99%) | 0,22 | |
| ***Peg Board 2*** | 1 | 0,60 (88%) | 0,75 | 0,568 | 0,15 (97%) | 0,37 | 0,268 |
| | 2 | 0,45 (91%) | 0,89 | | 0,30 (94%) | 0,47 | |
| | 1 | 0,60 (88%) | 0,75 | 0,841 | 0,15 (97%) | 0,37 | 0,728 |
| | 3 | 0,65 (87%) | 0,81 | | 0,20 (96%) | 0,52 | |
| | 2 | 0,45 (91%) | 0,89 | 0,462 | 0,30 (94%) | 0,47 | 0,529 |
| | 3 | 0,65 (87%) | 0,81 | | 0,20 (96%) | 0,52 | |
| ***Ring & Rail 2*** | 1 | 0,15 (97%) | 0,37 | 0,687 | 0,00 (100%) | 0,00 | 0,135 |
| | 2 | 0,20 (96%) | 0,41 | | 0,25 (95%) | 0,72 | |
| | 1 | 0,15 (97%) | 0,37 | 0,305 | 0,00 (100%) | 0,00 | 0,163 |
| | 3 | 0,05 (99%) | 0,22 | | 0,10 (98%) | 0,31 | |
| | 2 | 0,20 (96%) | 0,41 | 0,162 | 0,25 (95%) | 0,72 | 0,395 |
| | 3 | 0,05 (99%) | 0,22 | | 0,10 (98%) | 0,31 | |

**Anhang 9: Darstellung der mittleren *Misapplied Energy Time*, *Blood Loss Volume* und *Broken Vessels* der Versuche 1 und 6 im Gruppenvergleich bei der Übung *ED3***

| Parameter | Gruppe | Versuch 1 | | | | Versuch 6 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Mittelwert | | SD | p-Wert | Mittelwert | | SD | p-Wert |
| mittlere *Misapplied Energy Time* [s] | 1 | 9,10 | (73%) | 4,09 | 0,810 | 8,25 | (78%) | 2,20 | 0,677 |
| | 2 | 9,40 | (71%) | 3,72 | | 8,60 | (76%) | 3,02 | |
| | 1 | 9,10 | (73%) | 4,09 | 0,052 | 8,25 | (78%) | 2,20 | **0,015** |
| | 3 | 11,35 | (58%) | 2,91 | | 11,90 | (54%) | 5,85 | |
| | 2 | 9,40 | (71%) | 3,72 | 0,072 | 8,60 | (76%) | 3,02 | **0,033** |
| | 3 | 11,35 | (58%) | 2,91 | | 11,90 | (54%) | 5,85 | |
| mittlere *Blood Loss Volume* [ml] | 1 | 39,65 | (21%) | 46,45 | 0,160 | 21,60 | (57%) | 22,83 | 0,125 |
| | 2 | 78,50 | (0%) | 110,68 | | 11,85 | (76%) | 15,85 | |
| | 1 | 39,65 | (21%) | 46,45 | 0,208 | 21,60 | (57%) | 22,83 | 0,432 |
| | 3 | 64,80 | (0%) | 74,62 | | 29,00 | (42%) | 34,08 | |
| | 2 | 78,50 | (0%) | 110,68 | 0,649 | 11,85 | (76%) | 15,85 | 0,055 |
| | 3 | 64,80 | (0%) | 74,62 | | 29,00 | (42%) | 34,08 | |
| mittlere *Broken Vessels* [n] | 1 | 0,00 | (100%) | 0,00 | 0,330 | 0,00 | (100%) | 0,00 | - |
| | 2 | 0,05 | (95%) | 0,22 | | 0,00 | (100%) | 0,00 | |
| | 1 | 0,00 | (100%) | 0,00 | 0,330 | 0,00 | (100%) | 0,00 | - |
| | 3 | 0,05 | (95%) | 0,22 | | 0,00 | (100%) | 0,00 | |
| | 2 | 0,05 | (95%) | 0,22 | 1,000 | 0,00 | (100%) | 0,00 | - |
| | 3 | 0,05 | (95%) | 0,22 | | 0,00 | (100%) | 0,00 | |

**Anhang 10: Vergleichende Darstellung des mittleren *Overall Score* [%] der Gruppen 1 und 2 in den Versuchen 1 bis 6 bei den Übungen *MB1, PB2, RR2* und *ED3***

| Übung | | Wdh. 1 | Wdh. 2 | Wdh. 3 | Wdh. 4 | Wdh. 5 | Wdh. 6 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Match Board 1* | Gruppe 1 | 67,75 | 70,70 | 75,45 | 76,50 | 79,80 | 82,20 |
| | Gruppe 2 | 67,60 | 70,35 | 74,65 | 77,25 | 77,05 | 80,55 |
| | **p-Wert** | **0,956** | **0,890** | **0,695** | **0,739** | **0,354** | **0,473** |
| *Peg Board 2* | Gruppe 1 | 78,85 | 83,55 | 88,25 | 89,80 | 92,95 | 93,85 |
| | Gruppe 2 | 79,15 | 79,80 | 83,05 | 89,60 | 90,15 | 89,45 |
| | **p-Wert** | **0,921** | **0,293** | **0,077** | **0,934** | **0,126** | **0,061** |
| *Ring & Rail 2* | Gruppe 1 | 61,95 | 70,25 | 72,55 | 83,20 | 84,35 | 86,10 |
| | Gruppe 2 | 61,35 | 67,80 | 69,90 | 80,65 | 83,70 | 80,80 |
| | **p-Wert** | **0,913** | **0,656** | **0,656** | **0,498** | **0,864** | **0,188** |
| *Energy & Dissection 3* | Gruppe 1 | 79,75 | 84,20 | 86,05 | 89,35 | 91,05 | 90,20 |
| | Gruppe 2 | 75,70 | 83,65 | 89,35 | 85,70 | 89,20 | 92,35 |
| | **p-Wert** | **0,225** | **0,875** | **0,182** | **0,237** | **0,434** | **0,214** |

**Anhang 11: Vergleichende Darstellung des mittleren *Overall Score* [%] der Gruppen 1 und 3 in den Versuchen 1 bis 6 bei den Übungen *MB1, PB2, RR2* und *ED3***

| Übung | | Wdh. 1 | Wdh. 2 | Wdh. 3 | Wdh. 4 | Wdh. 5 | Wdh. 6 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Match Board 1* | Gruppe 1 | 67,75 | 70,70 | 75,45 | 76,50 | 79,80 | 82,20 |
| | Gruppe 3 | 60,45 | 65,95 | 70,30 | 69,60 | 72,70 | 75,10 |
| | **p-Wert** | **0,017** | **0,086** | **0,068** | **0,001** | **0,001** | **0,001** |
| *Peg Board 2* | Gruppe 1 | 78,85 | 83,55 | 88,25 | 89,80 | 92,95 | 93,85 |
| | Gruppe 3 | 70,10 | 80,50 | 78,80 | 82,75 | 88,45 | 89,10 |
| | **p-Wert** | **0,035** | **0,300** | **0,002** | **0,026** | **0,016** | **0,002** |
| *Ring & Rail 2* | Gruppe 1 | 61,95 | 70,25 | 72,55 | 83,20 | 84,35 | 86,10 |
| | Gruppe 3 | 53,60 | 59,55 | 61,15 | 67,75 | 70,30 | 63,65 |
| | **p-Wert** | **0,136** | **0,047** | **0,051** | **0,000** | **0,001** | **0,000** |
| *Energy & Dissection 3* | Gruppe 1 | 79,75 | 84,20 | 86,05 | 89,35 | 91,05 | 90,20 |
| | Gruppe 3 | 71,05 | 84,00 | 81,05 | 81,75 | 87,05 | 86,80 |
| | **p-Wert** | **0,039** | **0,956** | **0,208** | **0,028** | **0,124** | **0,173** |

**Anhang 12: Vergleichende Darstellung des mittleren *Overall Score* [%] der Gruppen 2 und 3 in den Versuchen 1 bis 6 bei den Übungen *MB1, PB2, RR2* und *ED3***

| Übung | | Wdh. 1 | Wdh. 2 | Wdh. 3 | Wdh. 4 | Wdh. 5 | Wdh. 6 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Match Board 1* | Gruppe 2 | 67,60 | 70,35 | 74,65 | 77,25 | 77,05 | 80,55 |
| | Gruppe 3 | 60,45 | 65,95 | 70,30 | 69,60 | 72,70 | 75,10 |
| | **p-Wert** | **0,006** | **0,156** | **0,097** | **0,001** | **0,144** | **0,026** |
| *Peg Board 2* | Gruppe 2 | 79,15 | 79,80 | 83,05 | 89,60 | 90,15 | 89,45 |
| | Gruppe 3 | 70,10 | 80,50 | 78,80 | 82,75 | 88,45 | 89,10 |
| | **p-Wert** | **0,020** | **0,862** | **0,237** | **0,036** | **0,454** | **0,887** |
| *Ring & Rail 2* | Gruppe 2 | 61,35 | 67,80 | 69,90 | 80,65 | 83,70 | 80,80 |
| | Gruppe 3 | 53,60 | 59,55 | 61,15 | 67,75 | 70,30 | 63,65 |
| | **p-Wert** | **0,226** | **0,184** | **0,158** | **0,003** | **0,004** | **0,002** |
| *Energy & Dissection 3* | Gruppe 2 | 75,70 | 83,65 | 89,35 | 85,70 | 89,20 | 92,35 |
| | Gruppe 3 | 71,05 | 84,00 | 81,05 | 81,75 | 87,05 | 86,80 |
| | **p-Wert** | **0,249** | **0,916** | **0,042** | **0,296** | **0,442** | **0,024** |

**Anhang 13: Vergleichende Darstellung der mittleren *Time To Complete Exercise* [s]der Gruppen 1 und 2 in den Versuchen 1 bis 6 bei den Übungen *MB1, PB2, RR2* und *ED3***

| Übung | | Wdh. 1 | Wdh. 2 | Wdh. 3 | Wdh. 4 | Wdh. 5 | Wdh. 6 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Match Board 1* | Gruppe 1 | 304,70 | 257,40 | 233,25 | 195,75 | 173,35 | 162,15 |
| | Gruppe 2 | 326,80 | 261,60 | 244,85 | 203,35 | 195,95 | 176,55 |
| | **p-Wert** | **0,457** | **0,834** | **0,569** | **0,652** | **0,167** | **0,302** |
| *Peg Board 2* | Gruppe 1 | 208,40 | 159,40 | 143,85 | 119,00 | 109,45 | 105,90 |
| | Gruppe 2 | 198,95 | 177,35 | 162,35 | 127,15 | 114,85 | 119,25 |
| | **p-Wert** | **0,562** | **0,264** | **0,201** | **0,426** | **0,573** | **0,173** |
| *Ring & Rail 2* | Gruppe 1 | 455,35 | 362,45 | 329,50 | 268,25 | 258,65 | 237,45 |
| | Gruppe 2 | 490,60 | 379,95 | 354,40 | 316,00 | 266,10 | 264,65 |
| | **p-Wert** | **0,457** | **0,544** | **0,431** | **0,107** | **0,753** | **0,257** |
| *Energy & Dissection 3* | Gruppe 1 | 207,25 | 150,60 | 140,70 | 133,65 | 118,45 | 114,35 |
| | Gruppe 2 | 222,00 | 158,35 | 139,25 | 145,35 | 115,80 | 111,15 |
| | **p-Wert** | **0,393** | **0,527** | **0,891** | **0,413** | **0,830** | **0,761** |

**Anhang 14: Vergleichende Darstellung der *mittleren Time To Complete Exercise* [s] der Gruppen 1 und 3 in den Versuchen 1 bis 6 bei den Übungen *MB1, PB2, RR2* und *ED3***

| Übung | | Wdh. 1 | Wdh. 2 | Wdh. 3 | Wdh. 4 | Wdh. 5 | Wdh. 6 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Match Board 1* | Gruppe 1 | 304,70 | 257,40 | 233,25 | 195,75 | 173,35 | 162,15 |
| | Gruppe 3 | 362,55 | 273,50 | 229,70 | 238,55 | 206,85 | 207,65 |
| | **p-Wert** | **0,126** | **0,364** | **0,858** | **0,001** | **0,000** | **0,000** |
| *Peg Board 2* | Gruppe 1 | 208,40 | 159,40 | 143,85 | 119,00 | 109,45 | 105,90 |
| | Gruppe 3 | 219,20 | 157,60 | 152,70 | 154,30 | 130,30 | 118,90 |
| | **p-Wert** | **0,572** | **0,891** | **0,485** | **0,002** | **0,054** | **0,066** |
| *Ring & Rail 2* | Gruppe 1 | 455,35 | 362,45 | 329,50 | 268,25 | 258,65 | 237,45 |
| | Gruppe 3 | 442,20 | 365,75 | 359,15 | 319,05 | 309,05 | 318,95 |
| | **p-Wert** | **0,760** | **0,925** | **0,356** | **0,010** | **0,034** | **0,004** |
| *Energy & Dissection 3* | Gruppe 1 | 207,25 | 150,60 | 140,70 | 133,65 | 118,45 | 114,35 |
| | Gruppe 3 | 220,70 | 151,90 | 144,20 | 152,70 | 129,00 | 121,80 |
| | **p-Wert** | **0,384** | **0,901** | **0,693** | **0,200** | **0,338** | **0,454** |

**Anhang 15: Vergleichende Darstellung der mittleren *Time To Complete Exercise* [s] der Gruppen 2 und 3 in den Versuchen 1 bis 6 bei den Übungen *MB1, PB2, RR2* und *ED3***

| Übung | | Wdh. 1 | Wdh. 2 | Wdh. 3 | Wdh. 4 | Wdh. 5 | Wdh. 6 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Match Board 1* | Gruppe 2 | 326,80 | 261,60 | 244,85 | 203,35 | 195,95 | 176,55 |
| | Gruppe 3 | 362,55 | 273,50 | 229,70 | 238,55 | 206,85 | 207,65 |
| | **p-Wert** | **0,398** | **0,595** | **0,439** | **0,047** | **0,504** | **0,053** |
| *Peg Board 2* | Gruppe 2 | 198,95 | 177,35 | 162,35 | 127,15 | 114,85 | 119,25 |
| | Gruppe 3 | 219,20 | 157,60 | 152,70 | 154,30 | 130,30 | 118,90 |
| | **p-Wert** | **0,274** | **0,232** | **0,518** | **0,043** | **0,231** | **0,973** |
| *Ring & Rail 2* | Gruppe 2 | 490,60 | 379,95 | 354,40 | 316,00 | 266,10 | 264,65 |
| | Gruppe 3 | 442,20 | 365,75 | 359,15 | 319,05 | 309,05 | 318,95 |
| | **p-Wert** | **0,361** | **0,684** | **0,898** | **0,921** | **0,118** | **0,085** |
| *Energy & Dissection 3* | Gruppe 2 | 222,00 | 158,35 | 139,25 | 145,35 | 115,80 | 111,15 |
| | Gruppe 3 | 220,70 | 151,90 | 144,20 | 152,70 | 129,00 | 121,80 |
| | **p-Wert** | **0,945** | **0,605** | **0,664** | **0,659** | **0,272** | **0,270** |

**Anhang 16: Vergleichende Darstellung der mittleren *Economy of Motion* [cm] der Gruppen 1 und 2 in den Versuchen 1 bis 6 bei den Übungen *MB1, PB2, RR2* und *ED3***

| Übung | | Wdh. 1 | Wdh. 2 | Wdh. 3 | Wdh. 4 | Wdh. 5 | Wdh. 6 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Match Board 1* | Gruppe 1 | 335,30 | 310,30 | 282,45 | 266,15 | 243,25 | 235,90 |
| | Gruppe 2 | 354,70 | 316,35 | 296,40 | 277,55 | 278,70 | 262,55 |
| | **p-Wert** | **0,466** | **0,781** | **0,439** | **0,491** | **0,072** | **0,125** |
| *Peg Board 2* | Gruppe 1 | 272,25 | 251,55 | 237,90 | 211,30 | 209,10 | 206,10 |
| | Gruppe 2 | 277,90 | 275,80 | 268,45 | 234,30 | 228,80 | 244,35 |
| | **p-Wert** | **0,739** | **0,134** | **0,040** | **0,043** | **0,092** | **0,019** |
| *Ring & Rail 2* | Gruppe 1 | 495,10 | 468,50 | 451,35 | 369,65 | 360,70 | 339,35 |
| | Gruppe 2 | 557,50 | 504,05 | 469,75 | 452,85 | 394,25 | 413,50 |
| | **p-Wert** | **0,280** | **0,521** | **0,735** | **0,033** | **0,332** | **0,096** |
| *Energy & Dissection 3* | Gruppe 1 | 144,85 | 123,50 | 122,65 | 116,10 | 110,00 | 108,05 |
| | Gruppe 2 | 177,85 | 141,30 | 136,85 | 144,20 | 127,05 | 118,85 |
| | **p-Wert** | **0,046** | **0,168** | **0,286** | **0,061** | **0,079** | **0,222** |

**Anhang 17: Vergleichende Darstellung der mittleren *Economy of Motion* [cm] der Gruppen 1 und 3 in den Versuchen 1 bis 6 bei den Übungen *MB1, PB2, RR2* und *ED3***

| Übung | | Wdh. 1 | Wdh. 2 | Wdh. 3 | Wdh. 4 | Wdh. 5 | Wdh. 6 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ***Match Board 1*** | Gruppe 1 | 335,30 | 310,30 | 282,45 | 266,15 | 243,25 | 235,90 |
| | Gruppe 3 | 435,85 | 353,10 | 323,25 | 332,35 | 301,00 | 301,30 |
| | **p-Wert** | **0,005** | **0,023** | **0,071** | **0,000** | **0,000** | **0,000** |
| ***Peg Board 2*** | Gruppe 1 | 272,25 | 251,55 | 237,90 | 211,30 | 209,10 | 206,10 |
| | Gruppe 3 | 324,65 | 290,85 | 298,00 | 268,65 | 255,10 | 245,20 |
| | **p-Wert** | **0,018** | **0,022** | **0,000** | **0,000** | **0,000** | **0,000** |
| ***Ring & Rail 2*** | Gruppe 1 | 495,10 | 468,50 | 451,35 | 369,65 | 360,70 | 339,35 |
| | Gruppe 3 | 569,35 | 537,45 | 551,15 | 472,35 | 487,90 | 480,75 |
| | **p-Wert** | **0,177** | **0,172** | **0,083** | **0,001** | **0,000** | **0,000** |
| ***Energy & Dissection 3*** | Gruppe 1 | 144,85 | 123,50 | 122,65 | 116,10 | 110,00 | 108,05 |
| | Gruppe 3 | 193,25 | 147,05 | 141,35 | 146,60 | 128,85 | 126,30 |
| | **p-Wert** | **0,001** | **0,025** | **0,087** | **0,017** | **0,051** | **0,038** |

**Anhang 18: Vergleichende Darstellung der mittleren *Economy of Motion* [cm] der Gruppen 2 und 3 in den Versuchen 1 bis 6 bei den Übungen *MB1, PB2, RR2* und *ED3***

| Übung | | Wdh. 1 | Wdh. 2 | Wdh. 3 | Wdh. 4 | Wdh. 5 | Wdh. 6 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ***Match Board 1*** | Gruppe 2 | 354,70 | 316,35 | 296,40 | 277,55 | 278,70 | 262,55 |
| | Gruppe 3 | 435,85 | 353,10 | 323,25 | 332,35 | 301,00 | 301,30 |
| | **p-Wert** | **0,025** | **0,104** | **0,252** | **0,010** | **0,256** | **0,046** |
| ***Peg Board 2*** | Gruppe 2 | 277,90 | 275,80 | 268,45 | 234,30 | 228,80 | 244,35 |
| | Gruppe 3 | 324,65 | 290,85 | 298,00 | 268,65 | 255,10 | 245,20 |
| | **p-Wert** | **0,021** | **0,448** | **0,101** | **0,008** | **0,040** | **0,957** |
| ***Ring & Rail 2*** | Gruppe 2 | 557,50 | 504,05 | 469,75 | 452,85 | 394,25 | 413,50 |
| | Gruppe 3 | 569,35 | 537,45 | 551,15 | 472,35 | 487,90 | 480,75 |
| | **p-Wert** | **0,854** | **0,585** | **0,177** | **0,617** | **0,020** | **0,175** |
| ***Energy & Dissection 3*** | Gruppe 2 | 177,85 | 141,30 | 136,85 | 144,20 | 127,05 | 118,85 |
| | Gruppe 3 | 193,25 | 147,05 | 141,35 | 146,60 | 128,85 | 126,30 |
| | **p-Wert** | **0,421** | **0,680** | **0,760** | **0,884** | **0,868** | **0,434** |

**Anhang 19: Vergleich der Parameter mittlerer *Overall Score*, *Time To Complete Exercise* und *Economy of Motion* zwischen den Probanden, die häufig PC-Spiele spielen und jenen, die dies nicht tun.**

| Parameter | Übung | PC | Versuch 1 | | | Versuch 6 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Mittelwert | SD | p-Wert | Mittelwert | SD | p-Wert |
| ***Overall Score* [%]** | *MB1* | Nein | 63,30 | 7,70 | 0,300 | 77,06 | 7,05 | 0,055 |
| | | Ja | 66,56 | 11,07 | | 81,31 | 7,18 | |
| | *PB2* | Nein | 72,76 | 12,24 | 0,120 | 89,51 | 7,98 | 0,155 |
| | | Ja | 78,63 | 12,03 | | 92,69 | 5,20 | |
| | *RR2* | Nein | 54,39 | 17,40 | **0,006** | 74,18 | 17,62 | 0,222 |
| | | Ja | 68,31 | 11,57 | | 80,75 | 17,04 | |
| | *ED3* | Nein | 73,94 | 12,95 | 0,420 | 90,03 | 7,37 | 0,903 |
| | | Ja | 77,00 | 10,95 | | 90,31 | 7,94 | |
| ***Time To Complete Exercise* [s]** | *MB1* | Nein | 337,91 | 131,04 | 0,464 | 192,06 | 44,69 | 0,240 |
| | | Ja | 311,69 | 77,05 | | 175,19 | 50,24 | |
| | *PB2* | Nein | 219,15 | 64,23 | 0,056 | 119,85 | 30,53 | 0,246 |
| | | Ja | 192,31 | 31,56 | | 109,38 | 26,47 | |
| | *RR2* | Nein | 480,61 | 165,17 | 0,057 | 286,70 | 95,79 | 0,326 |
| | | Ja | 408,56 | 92,25 | | 258,38 | 89,01 | |
| | *ED3* | Nein | 220,18 | 56,24 | 0,325 | 119,12 | 30,21 | 0,257 |
| | | Ja | 203,56 | 51,60 | | 107,56 | 38,44 | |
| ***Economy of Motion* [cm]** | *MB1* | Nein | 400,85 | 108,11 | 0,068 | 281,12 | 58,13 | 0,202 |
| | | Ja | 340,94 | 99,25 | | 257,69 | 62,10 | |
| | *PB2* | Nein | 307,70 | 72,92 | 0,159 | 237,64 | 55,75 | 0,446 |
| | | Ja | 278,75 | 49,43 | | 226,19 | 29,54 | |
| | *RR2* | Nein | 582,93 | 198,82 | **0,003** | 431,39 | 151,12 | 0,333 |
| | | Ja | 461,15 | 64,73 | | 388,19 | 130,89 | |
| | *ED3* | Nein | 188,64 | 57,05 | 0,052 | 119,30 | 29,48 | 0606 |
| | | Ja | 155,75 | 47,17 | | 114,63 | 29,90 | |

**Anhang 20: Darstellung des mittleren *Overall Score* aller Gruppen des ersten Tages (Wdh. 1-3) im Vergleich der Übungen**

| | Übung | mittlerer *Overall Score* [%] | SD [%] | p-Wert |
|---|---|---|---|---|
| **Alle Gruppen + Versuche** | *MB1* | 69,24 | 9,23 | **0,000** |
| | *PB2* | 80,23 | 11,46 | |
| | *MB1* | 69,24 | 9,23 | **0,000** |
| | *RR2* | 64,87 | 17,46 | |
| | *MB1* | 69,24 | 9,23 | **0,000** |
| | *ED3* | 81,64 | 12,22 | |
| | *PB2* | 80,23 | 11,46 | **0,000** |
| | *RR2* | 64,87 | 17,46 | |
| | *PB2* | 80,23 | 11,46 | 0,171 |
| | *ED3* | 81,64 | 12,22 | |
| | *RR2* | 64,87 | 17,46 | **0,000** |
| | *ED3* | 81,64 | 12,22 | |

# 9 Anhang B: Sonstiges

## 9.1 Verzeichnis der Akademischen Lehrenden

Meine akademischen Lehrenden waren:

Im vorklinischen Studienabschnitt:

Adamkiewicz, Baranovski, Becker, Bertoune, Bette, Brehm, Busch, Cetin, Cordes, Daut, Egelseer, Feuser, Grundmann, Heverhagen, Jerrentrup, Kinscherf, Klose, Koolman, Lill, Moll, Mueller, Mutters, Müller, Neumüller, Oberthür, Oliver, Preisig-Müller, Quint, Rost, Sahmland, Schäfer, Seitz, Schratt, Schütz, Stahl, Steiniger, Stiewe, Thieme, Weihe, Westermann, Wilhelm, Wrocklage

Im klinischen Studienabschnitt:

Arenz, Arndt, Bartsch, Bauer, Baum, Becker, Berger, Bien, Brödje, Burchert, Carl, Czubayko, Dannlowski, Donner-Banzhoff, Efe, Eickmann, Engenhart-Cabillic, Falkenber, Fendrich, Fritz, Fuchs-Winkelmann, Galambos, Garn, Gebhard, Götze, Gress, Grosse, Haberhausen, Helwig-Rolig, Hertl, Herz, Hofer, Hofmann, Höffken, Hoyer, Huber, Hundt, Jansen, Kann, Kappus, Kerwat, Kill, Kircher, Knipper, König, Krones, Kruse, Kuhnt, Kussin, Leube, Lohoff, Maisner, Mahnken, Maier, Maisch, Moll, Möller, Mueller, Mutters, Neubauer, Nimsky, Nockher, Oberkircher, Oertel, Opitz, Ossendorf, Otero Vazquez, Pagenstecher, Peterlein, Plant, Reese, Renz, Richter, Riera-Knorrenschild, Riße, Ritter, Ritz, Roelcke, Ruchholtz, Schäfer, Schieffer, Schneider, Schönbauer, Schüttler, Seifart, Sekundo, Sevnic, Shams-Eldin, Sommer, Sprenger, Steitz-Naumann, Stibane, Stief, Strik, Subtil, Thum, Thursar, Timmesfeld, Toussaint, Vogelmeier, Vogt, Vorwerk, Wagner, Wahl, Weber, Weisser, Werner, Wittig, Wollmer, Wulf, Zentgraf

## 9.2 Danksagung

Zunächst möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr. med. Boris A. Stuck für die Möglichkeit bedanken, diese Dissertation an der Klinik für Hals-Nasen-Ohrenheilkunde des Universitätsklinikums Marburg abschließen zu können.

Besonders danke ich Frau PD Dr. med. Ute Walliczek-Dworschak und Herrn. Prof. Dr. med. Christian Güldner für die umfassende Betreuung. Vielen Dank für die Unterstützung bei technischen, methodischen und inhaltlichen Fragen sowie für die konstruktive Kritik bei der Erstellung dieser Dissertation; nicht zuletzt danke ich Herrn Prof. Dr. med. Christian Güldner für die Hilfestellung bei der Datenauswertung sowie Frau PD Dr. med. Ute Walliczek-Dworschak für die umfangreichen Korrekturarbeiten und Verbesserungsvorschläge.

Desweiteren bedanke ich mich bei allen Probanden für Ihre Mitarbeit, die durch ihr Engagement diese Studie erst ermöglichten.

Ein besonderer Dank gilt meinen Eltern Klaus und Dorothea, die mir mein Studium ermöglicht und mich in jeder Lebenslage unterstützt haben.

Schlussendlich möchte ich mich von ganzem Herzen bei meinem Ehemann Alexander für seine Geduld, Ausdauer und zahlreichen Hilfestellungen und Korrekturen bedanken. Ohne seine unermüdliche Unterstützung hätte ich diese Dissertation vermutlich nie fertiggestellt.