

---

Aus der Klinik für Hals- Nasen -und Ohrenklinik, Phoniatrie und Pädaudiologie der Medizinischen  
Fakultät – Universitätsklinikum Marburg

Geschäftsführender Direktor: Prof. Dr. med. Boris Alexander Stuck

des Fachbereichs Medizin der Philipps-Universität Marburg

**Charakterisierung von Lernkurven am**

***Da Vinci Skills Simulator***

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung des Doktorgrades der gesamten Humanmedizin

dem Fachbereich Medizin der Philipps-Universität Marburg

Vorgelegt von

Arne Förtsch aus Schwerin

Marburg, 2018

---

Angenommen vom Fachbereich Medizin der Philipps-Universität Marburg am: 22.05.2018

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereichs

Dekan: Prof. Dr. Helmut Schäfer

Referent: Prof. Dr. med. Christian Güldner

Korreferent: Prof. Dr. med. Hegele

---

**Inhalt**

|   |             |
|---|-------------|
| <b>Abbildungsverzeichnis</b>                  | <b>VIII</b> |
| <b>Tabellenverzeichnis</b>                    | <b>XI</b>   |
| <b>Abkürzungsverzeichnis</b>                  | <b>XIV</b>  |
| <br>  |             |
| <b>1. Einleitung</b>                          | <b>-1-</b>  |
| <b>2. Material und Methoden</b>               | <b>-10-</b> |
| 2.1    Studienaufbau                          | -10-        |
| 2.2    Studienteilnehmer/Innen                | -10-        |
| 2.2.1    Teilnehmer/Innenrekrutierung         | -10-        |
| 2.2.2    Einschlusskriterien                  | -11-        |
| 2.2.3    Ausschlusskriterien                  | -11-        |
| 2.2.4    Studienabbruch                       | -11-        |
| 2.3.    Der zeitliche Rahmen                  | -11-        |
| 2.4    Der Da Vinci® Skills Simulator™        | -11-        |
| 2.5    Inhalte und Besonderheiten der Übungen | -15-        |
| 2.5.1 <i>Match Board I</i>                    | -16-        |
| 2.5.2 <i>Match Board II</i>                   | -17-        |
| 2.5.3 <i>Match Board III</i>                  | -18-        |
| 2.5.4 <i>Ring &amp; Rail I</i>                | -19-        |
| 2.5.5 <i>Ring &amp; Rail II</i>               | -20-        |
| 2.5.6 <i>Needle Targeting</i>                 | -21-        |

---

|           |   |             |
|-----------|---|-------------|
| 2.6       | Studiendurchführung   | -22-        |
| 2.7.      | Parameter und Auswertungsschema des Simulators  | -23-        |
| 2.8       | Auswertung  | -25-        |
| 2.8.1     | Statistik   | -25-        |
| 2.8.2     | Hypothesenaufstellung und Hypothesenprüfung   | -25-        |
| 2.9.      | Ausschluss des Parameters <i>Master Work Space Range</i> zur Analyse  | -26-        |
| <b>3.</b> | <b>Ergebnisse</b>   | <b>-27-</b> |
| 3.1.      | Analyse des zusammengeführten mittleren <i>Overall Score</i><br>aus den Übungen <i>Match Board I-III &amp; Ring &amp; Rail I-II</i>                               | -27-        |
| 3.1.1     | Tabellarische Darstellung des durchschnittlichen<br>mittleren <i>Overall Score</i> aus den Übungen <i>Match Board I-III</i><br>und <i>Ring &amp; Rail I-II</i>    | -27-        |
| 3.2       | Analyse des mittleren <i>Overall Score</i>  | -28-        |
| 3.2.1     | Grafische und tabellarische Darstellung des mittleren<br><i>Overall Score</i> in der Übung <i>Match Board I</i>   | -28-        |
| 3.2.2.    | Grafische und tabellarische Darstellung des mittleren<br><i>Overall Score</i> der Übung <i>Match Board II</i>   | -30-        |
| 3.2.3     | Grafische und tabellarische Darstellung des mittleren<br><i>Overall Score</i> in der Übung <i>Match Board III</i>   | -31-        |
| 3.2.4     | Grafische und tabellarische Darstellung des mittleren<br><i>Overall Score</i> in der Übung <i>Ring &amp; Rail I</i>   | -32-        |
| 3.2.5     | Grafische und tabellarische Darstellung des mittleren<br><i>Overall Score</i> in der Übung <i>Ring &amp; Rail I</i>   | -33-        |
| 3.2.6     | Tabellarische Darstellung des durchschnittlichen <i>Overall Score</i><br>der Gruppe I in den Übungen <i>Match Board I-III</i><br>bzw. <i>Ring &amp; Rail I-II</i> | -35-        |

---

|       |   |      |
|-------|---|------|
| 3.2.7 | Tabellarische Darstellung des durchschnittlichen <i>Overall Score</i> in der Gruppe II in den Übungen <i>Match Board I-II</i> bzw. <i>Ring &amp; Rail I-II</i>              | -36- |
| 3.2.8 | Grafische und tabellarische Darstellung des <i>Overall Score</i> der Übungen <i>Needle Control</i>  | -37- |
| 3.3.  | Versuch einer Einteilung der Übungen <i>Match Board I-III</i> & <i>Ring &amp; Rail I-II</i> nach Schweregrad  | -38- |
| 3.3.1 | Tabellarische Einteilung der Übungen <i>Match Board I-III</i> & <i>Ring &amp; Rail I-II</i> nach <i>Overall Score</i>   | -38- |
| 3.3.2 | Grafische und tabellarische Gegenüberstellung der Wiederholungen 6 und 12 der Gruppe I und II in den Übungen <i>Match Board I-III</i> und <i>Ring &amp; Rail I &amp; II</i> | -39- |
| 3.3.3 | Tabellarische Darstellung des <i>Overall Score</i> in hierarchischer Anordnung in Gruppe I und II nach den Wiederholungen 6 und 12  | -40- |
| 3.4   | Analyse des <i>Overall Score</i> nach Wiederholungen in den Übungen <i>Match Board I-III</i> , <i>Ring &amp; Rail I-II</i> bzw. <i>Needle Control</i>                       | -41- |
| 3.4.1 | Grafische und tabellarische des <i>Overall Score</i> in der Übung <i>Match Board I</i> und <i>Needle Control</i> nach Versuchen   | -41- |
| 3.4.2 | Grafische und tabellarische Darstellung des <i>Overall Score</i> in der Übung <i>Match Board II</i> und <i>Needle Control</i> nach Versuchen                                | -43- |
| 3.4.3 | Grafische und tabellarische Darstellung des <i>Overall Score</i> in der Übung <i>Match Board III</i> und <i>Needle Control</i> nach Versuchen                               | -44- |
| 3.4.4 | Grafische und tabellarische Darstellung des <i>Overall Score</i> in der Übung <i>Ring &amp; Rail I</i> und <i>Needle Control</i> nach Versuch                               | -45- |
| 3.4.5 | Grafische und tabellarische Darstellung des <i>Overall Score</i> in der Übung <i>Ring &amp; Rail II</i> und <i>Needle Control</i> nach Versuch                              | -46- |

---

|       |  |      |
|-------|--|------|
| 3.5   | Analyse des Parameters <i>Time to complete Exercise</i>  | -47- |
| 3.5.1 | Grafische und tabellarische Darstellung der Übung <i>Match Board I</i><br>für den Parameter mittlere <i>Time to complete Exercise</i> -                            | -47- |
| 3.5.2 | Grafische und tabellarische Darstellung der Übung <i>Match Board II</i><br>für den Parameter mittlere <i>Time to complete Exercise</i>                             | -49- |
| 3.5.3 | Grafische und tabellarische Darstellung der Übung <i>Match Board III</i><br>für den Parameter mittlere <i>Time to complete Exercise</i>                            | -50- |
| 3.5.4 | Grafische und tabellarische Darstellung der Übung <i>Ring &amp; Rail I</i><br>für den Parameter mittlere <i>Time to complete Exercise</i>                          | -51- |
| 3.5.5 | Grafische und tabellarische Darstellung der Übung <i>Ring &amp; Rail II</i><br>für den Parameter mittlere <i>Time to complete Exercise</i>                         | -52- |
| 3.5.6 | Tabellarische Darstellung des mittleren <i>Time to complete Exercise</i><br>der Übungen <i>Match Board I-III</i> und <i>Ring &amp; Rail I-II</i><br>nach Testtagen | -53- |
| 3.6.  | Analyse des Parameters <i>Economy of Motion</i>  | -53- |
| 3.6.1 | Grafische und tabellarische Darstellung der Übung <i>Match Board I</i><br>für den Parameter mittlere <i>Economy of Motion</i>                                      | -54- |
| 3.6.2 | Grafische und tabellarische Darstellung der Übung <i>Match Board II</i><br>für den Parameter mittlere <i>Economy of Motion</i>                                     | -55- |
| 3.6.3 | Grafische und tabellarische Darstellung der Übung <i>Match Board III</i><br>für den Parameter mittlere <i>Economy of Motion</i>                                    | -56- |
| 3.6.4 | Grafische und tabellarische Darstellung der Übung <i>Ring &amp; Rail I</i><br>für den Parameter mittlere <i>Economy of Motion</i>                                  | -57- |
| 3.6.5 | Grafische Darstellung der Übung <i>Ring &amp; Rail II</i> für<br>den Parameter mittlere <i>Economy of Motion</i>   | -58- |

---

|       |  |      |
|-------|--|------|
| 3.6.6 | Tabellarische Darstellung des mittleren <i>Economy of Motion</i> der Übungen <i>Match Board I-III</i> und <i>Ring &amp; Rail I-II</i> nach Testtagen   | -59- |
| 3.7   | Analyse der Parameter <i>Excessive Instrument Force</i> , <i>Instruments out of View</i> , <i>Collisions</i> und <i>Drops</i>  | -59- |
| 3.7.1 | Tabellarische Darstellung der Übung <i>Match Board I</i> mit den prozentual <u>vermiedenen</u> Parametern <i>Excessive Instrument Force</i> , <i>Instruments out of View</i> , <i>Collisions</i> und <i>Drops</i> nach Testtagen   | -60- |
| 3.7.2 | Tabellarische Darstellung der Übung <i>Match Board II</i> mit den prozentual <u>vermiedenen</u> Parametern <i>Excessive Instrument Force</i> , <i>Instruments out of View</i> , <i>Collisions</i> und <i>Drops</i> nach Testtagen  | -61- |
| 3.7.3 | Tabellarische Darstellung der Übung <i>Match Board III</i> mit den prozentual <u>vermiedenen</u> Parametern <i>Excessive Instrument Force</i> , <i>Instruments out of View</i> , <i>Collisions</i> und <i>Drops</i> nach Testtagen   | -62- |
| 3.7.4 | tabellarische Darstellung der Übung <i>Ring &amp; Rail I</i> mit den prozentual <u>vermiedenen</u> Parametern <i>Excessive Instrument Force</i> , <i>Instruments out of View</i> , <i>Collisions</i> und <i>Drops</i> nach Testtagen   | -63- |
| 4.7.5 | Tabellarische Darstellung der Übung <i>Ring &amp; Rail II</i> mit den prozentual <u>vermiedenen</u> Parametern <i>Excessive Instrument Force</i> , <i>Instruments out of View</i> , <i>Collisions</i> und <i>Drops</i> nach Testtagen  | -64- |
| 3.7.6 | Grafische Darstellung der Rate an <u>vermiedenen</u> einmaligen Ereignissen der Parameter <i>Excessive Instrument Force</i> , <i>Instruments out of View</i> , <i>Collisions</i> und <i>Drops</i> von Probanden der Gruppe I in den Übungen <i>Match Board I-II</i> und <i>Ring &amp; Rail I</i> | -65- |
| 3.7.7 | Grafische Darstellung der Rate an <u>vermiedenen</u> einmaligen Ereignissen der Parameter <i>Excessive Instrument Force</i> , <i>Instruments out of View</i> , <i>Collisions</i> und <i>Drops</i> von Probanden der Gruppe I in den Übungen <i>Match Board III</i> und <i>Ring &amp; Rail II</i> | -67- |

---

|       |   |      |
|-------|---|------|
| 3.8   | Auswertung der Parameter der Übung <i>Needle Control</i>  | -68- |
| 3.8.1 | Grafische und tabellarische Darstellung des Parameters<br><i>Time to complete Exercise</i> der Übung <i>Needle Control</i> im<br>Gruppenvergleich   | -68- |
| 3.8.2 | Grafisch und tabellarische Darstellung des Parameters<br><i>Economy of Motion</i> der Übung <i>Needle Control</i> im<br>Gruppenvergleich  | -69- |
| 3.8.3 | Grafische Darstellung der Parameter des Parameters <i>Missed Targets</i><br>der Übung <i>Needle Control</i> im Gruppenvergleich   | -70- |
| 3.8.4 | Tabellarische Darstellung der Parameter <i>Excessive Instrument Force</i> ,<br><i>Instruments out of View</i> , <i>Collisions</i> und <i>Drops</i> der Übung<br><i>Needle Control</i> im Gruppenvergleich                       | -71- |
| 3.9.  | Darstellung der Leistungen der Probanden in Gruppe I und II<br>ab dem 1. Testtag  | -71- |
| 3.9.1 | Tabellarische Darstellung des <i>Overall Score</i> und des $\Delta$ <i>Overall Score</i><br>in Unterteilung durch ein <i>Overall Score</i> Intervall der Gruppe I und II<br>nach Testtagen in der Übung <i>Match Board I</i>    | -72- |
| 3.9.2 | Tabellarische Darstellung des <i>Overall Score</i> und des $\Delta$ <i>Overall Score</i><br>in Unterteilung durch ein <i>Overall Score</i> Intervall der Gruppe I und II<br>nach Testtagen in der Übung <i>Match Board II</i>   | -73- |
| 3.9.3 | Vergleich des <i>Overall Score</i> und des $\Delta$ <i>Overall Score</i> in Unterteilung<br>durch ein <i>Overall Score</i> Intervall der Gruppe I und II nach Testtagen<br>in der Übung <i>Match Board III</i>                  | -74- |
| 3.9.4 | Tabellarischer Vergleich des <i>Overall Score</i> und des $\Delta$ <i>Overall Score</i><br>in Unterteilung durch ein <i>Overall Score</i> Intervall der Gruppe I und II<br>nach Testtagen in der Übung <i>Ring &amp; Rail I</i> | -75- |



---

|  |  |              |
|--|--|--------------|
| 3.9.5  | Tabellarischer Vergleich des <i>Overall Score</i> und des $\Delta$ <i>Overall Score</i> in Unterteilung durch ein <i>Overall Score</i> Intervall der Gruppe I und II nach Testtagen in der Übung <i>Ring &amp; Rail II</i> | -76-         |
| 3.9.6  | Grafische Darstellung des mittleren <i>Overall Score</i> nach Leistungsniveau der Probanden in Gruppe I der Übungen mit <i>sehr leichtem, leichtem und mittleren</i> Anforderungsbereich                                   | -77-         |
| 3.9.7  | Grafische Darstellung des mittleren <i>Overall Score</i> nach Leistungsniveau der Probanden der Gruppe I der Übungen mit <i>schwierigem</i> Anforderungsbereich  | -78-         |
| <b>4. Diskussion</b>                             |  | <b>-79-</b>  |
| <b>5. Zusammenfassung</b>                        |  | <b>-97-</b>  |
| <b>6. Abstract</b>                               |  | <b>-99-</b>  |
| <b>Literaturverzeichnis</b>                      |  | <b>i</b>     |
| <b>Tabellarischer Lebenslauf</b>                 |  | <b>xvi</b>   |
| <b>Verzeichnis der akademischen Lehrer/Innen</b> |  | <b>xviii</b> |
| <b>Danksagung</b>                                |  | <b>xix</b>   |
| <b>Eidesstattliche Erklärung</b>                 |  | <b>xx</b>    |

---

## Abbildungsverzeichnis

|  |      |
|--|------|
| Abbildung 1: Bedienungsposition der Steuerungskonsole.....   | -12- |
| Abbildung 2: Surgeon Console mit Fußpedalen, Controller und Okular .....   | -12- |
| Abbildung 3: Needle Driver / Forceps .....   | -13- |
| Abbildung 4: Blickrichtung durch das Okular und Bedienung der Controller .....   | -14- |
| Abbildung 5: Bedienung der Controller via Finger-Tip-Control .....   | -14- |
| Abbildung 6: Match Board I .....   | -16- |
| Abbildung 7: Match Board II .....  | -17- |
| Abbildung 8: Match Board III .....   | -18- |
| Abbildung 9: Ring & Rail I .....   | -19- |
| Abbildung 10: Ring & Rail II .....   | -20- |
| Abbildung 11: Needle Targeting .....   | -21- |
| Abbildung 12: Vergleich des mittleren Overall Score in den Gruppen I und II nach Testtagen .....   | -28- |
| Abbildung 13: Vergleich des mittleren Overall Score in den Gruppen I und II nach Testtagen .....   | -30- |
| Abbildung 14: Vergleich des mittleren Overall Score in den Gruppen I und II nach Testtagen .....   | -31- |
| Abbildung 15: Vergleich des mittleren Overall Score in den Gruppen I und II nach Testtagen .....   | -32- |
| Abbildung 16: Vergleich des mittleren Overall Score in den Gruppen I und II nach Testtagen .....   | -33- |
| Abbildung 17: Darstellung des Overall Score der Übung Needle Control in Gruppe I und II .....  | -37- |
| Abbildung 18: Vergleich des Overall Score des 6. Versuchs der Gruppe I und II, sowie des 12. Versuches<br>der Gruppe I in den Übungen Match Board I, II, III, Ring & Rail I und II ..... | -39- |
| Abbildung 19: Vergleich des Overall Score der Übung Match Board I und Needle Control nach Versuchen<br>in den Gruppen I und II .....   | -41- |
| Abbildung 20: Vergleich des Overall Score der Übung Match Board II und Needle Control nach Versuchen in den<br>Gruppen I und II .....  | -43- |
| Abbildung 21; Vergleich des Overall Score der Übung Match Board III und Needle Control nach Versuchen in den<br>Gruppen I und II .....   | -44- |

---

|  |      |
|--|------|
| Abbildung 22: Vergleich des Overall Score der Übung Ring & Rail I und Needle Control nach Versuchen<br>in den Gruppen I und II .....   | -45- |
| Abbildung 23: Vergleich des Overall Score der Übung Ring & Rail II und Needle Control nach Versuchen<br>in den Gruppen I und II .....  | -46- |
| Abbildung 24: Vergleich der mittleren Time to complete Exercise der Übung Match Board I nach Testtagen in Gruppe I<br>und II.....  | -47- |
| Abbildung 25: Vergleich der mittleren Time to complete Exercise der Übung Match Board II nach Testtagen in Gruppe<br>I und II.....   | -49- |
| Abbildung 26: Vergleich der mittleren Time to complete Exercise der Übung Match Board III nach Testtagen in Gruppe<br>I und II .....   | -50- |
| Abbildung 27: Vergleich der mittleren Time to complete Exercise der Übung Ring & Rail I nach Testtagen in Gruppe I<br>und II .....   | -51- |
| Abbildung 28: Vergleich der mittleren Time to complete Exercise der Übung Ring & Rail II nach Testtagen in Gruppe I<br>und II .....  | -52- |
| Abbildung 29: Vergleich der mittleren Economy of Motion der Übung Match Board I nach Testtagen in Gruppe I und<br>II.....  | -54- |
| Abbildung 30: Vergleich der mittleren Economy of Motion der Übung Match Board II nach Testtagen in Gruppe I und<br>II.....   | -55- |
| Abbildung 31: Vergleich der mittleren Economy of Motion der Übung Match Board III nach Testtagen in Gruppe I und<br>II.....  | -56- |
| Abbildung 32: Vergleich der mittleren Economy of Motion der Übung Ring & Rail I nach Testtagen in Gruppe I und<br>II.....  | -57- |
| Abbildung 33: Vergleich der mittleren Economy of Motion der Übung Ring & Rail II nach Testtagen in Gruppe I und<br>II.....   | -58- |
| Abbildung 34: Rate an vermiedenen einmaligen Ereignissen von Probanden bezüglich Excessive Instrument Force,<br>Instruments out of View, Collisions und Drops in Match Board I-II und Ring & Rail I .....  | -65- |
| Abbildung 35: Rate an vermiedenen einmaligen Ereignissen von Probanden bezüglich Excessive Instrument Force, I<br>nstruments out of View, Collisions und Drops in Match Board III und Ring & Rail II ..... | -67- |
| Abbildung 36: Vergleich der Time to complete Exercise in Gruppe I und II .....   | -68- |
| Abbildung 37: Vergleich der Economy of Motion im Gruppenvergleich .....  | -69- |

---

|   |      |
|---|------|
| Abbildung 38: Darstellung des Parameters missed targets nach Wiederholungen im Gruppenvergleich .....                       | -70- |
| Abbildung 39: Vergleich des mittleren Overall Score in den Übungen Match Board I-II bzw. Ring & Rail I nach Testtagen ..... | -77- |
| Abbildung 40: Vergleich des mittleren Overall Score in den Übungen Match Board III bzw. Ring & Rail II nach Testtagen ..... | -78- |

---

## Tabellenverzeichnis

|  |      |
|--|------|
| Tabelle 1: Vergleich der Gruppen I und II nach Test und Tag .....  | -22- |
| Tabelle 2: Darstellung der Übungen gegen Wiederholungen mit Parameter und Overall Score Erfassung .....  | -22- |
| Tabelle 3: Auflistung der Parameter mit Erklärungen in Deutsch und Englisch .....  | -23- |
| Tabelle 4: Auflistung der Parameter nach prozentualen Anteil am Overall Score .....  | -24- |
| Tabelle 5: Vergleich des durchschnittlichen mittleren Overall Score, der Differenz und der prozentualen Differenz nach Testtagen Gruppen.....  | -27- |
| Tabelle 6: Vergleich des mittleren Overall Score, der Standardabweichung, der Differenz des mittleren Overall Score zum Vortag und des p-Werts in den Gruppen I und II nach Testtagen .....  | -29- |
| Tabelle 7: Vergleich des mittleren Overall Score, der Standardabweichung, der Differenz des mittleren Overall Score zum Vortag und des p-Werts in den Gruppen I und II nach Testtagen .....  | -30- |
| Tabelle 8: Vergleich des mittleren Overall Score, der Standardabweichung, der Differenz des mittleren Overall Score zum Vortag und des p-Werts in den Gruppen I und II nach Testtagen .....  | -31- |
| Tabelle 9: Vergleich des mittleren Overall Score, der Standardabweichung, der Differenz des mittleren Overall Score zum Vortag und des p-Werts in den Gruppen I und II nach Testtagen .....  | -32- |
| Tabelle 10: Vergleich des mittleren Overall Score, der Standardabweichung, der Differenz des mittleren Overall Score zum Vortag und des p-Werts in den Gruppen I und II nach Testtagen ..... | -33- |
| Tabelle 11: Auflistung des Overall Score nach Übungen Match Board I-II bzw. Ring & Rail I-II in der Gruppe I nach Versuchen .....  | -35- |
| Tabelle 12: Auflistung des Overall Score nach Übungen Match Board I-II bzw. Ring & Rail I-II in der Gruppe II nach Versuchen .....   | -36- |
| Tabelle 13: Vergleich des Overall Score mit Standardabweichung p-Wert der Übung Needle Control in Gruppe I und II .....  | -37- |
| Tabelle 14: Darstellung der Übungen nach Schweregrad .....   | -38- |
| Tabelle 15: Vergleich des Overall Scores des 6. Versuchs der Gruppe I und II, sowie des 12. Versuches der Gruppe I in den Übungen Match Board I, II, III, Ring & Rail I und II .....         | -39- |
| Tabelle 16: Vergleich und hierarchische Darstellung des Overall Score der 6. Und 12. Wiederholungen in Gruppe I  | -40- |
| Tabelle 17: Vergleich und Annäherungswert des Overall Score an den Versuchen der Übung Needle Control und der absoluten Differenz in den Gruppen I und II .....                              | -42- |

---

|  |     |
|--|-----|
| Tabelle 18: Vergleich und Annäherungswert des Overall Score und der absoluten Differenz in den Gruppe I und II ..  | 43- |
| Tabelle 19: Vergleich und Annäherungswert des Overall Score und der absoluten Differenz in den Gruppe I und II ..  | 44- |
| Tabelle 20: Vergleich und Annäherungswert des Overall Score und der absoluten Differenz in den Gruppe I und II ..  | 45- |
| Tabelle 21: Vergleich und Annäherungswert des Overall Score und der absoluten Differenz in den Gruppe I und II ..  | 46- |
| Tabelle 22: Vergleich der mittleren Time to complete Exercise, der Standardabweichung, Differenz zum Vortag<br>und des p-Wertes der Übung Match Board I in den Gruppen I und II nach Testtag.....  | 48- |
| Tabelle 23: Vergleich der mittleren Time to complete Exercise, der Standardabweichung, Differenz zum Vortag<br>und des p-Wertes der Übung Match Board I in den Gruppen I und II nach Testtag.....  | 49- |
| Tabelle 24: Vergleich der mittleren Time to complete Exercise, der Standardabweichung, Differenz zum Vortag<br>und des p-Wertes der Übung Match Board I in den Gruppen I und II nach Testtag ..... | 50- |
| Tabelle 25: Vergleich der mittleren Time to complete Exercise, der Standardabweichung, Differenz zum Vortag<br>und des p-Wertes der Übung Match Board I in den Gruppen I und II nach Testtag ..... | 51- |
| Tabelle 26: Vergleich der mittleren Time to complete Exercise, der Standardabweichung, Differenz zum Vortag<br>und des p-Wertes der Übung Match Board I in den Gruppen I und II nach Testtag ..... | 52- |
| Tabelle 27: Vergleich des Durchschnitts der mittleren Time to complete Exercise nach Testtage und Gruppen .....  | 53- |
| Tabelle 28: Vergleich der mittleren Economy of Motion mit Standardabweichung und p-Wert der Übung<br>Match Board I nach Testtagen in den Gruppen I und II .....                                    | 54- |
| Tabelle 29: Vergleich der mittleren Economy of Motion mit Standardabweichung und p-Wert der Übung<br>Match Board I nach Testtagen in den Gruppen I und II .....                                    | 55- |
| Tabelle 30: Vergleich der mittleren Economy of Motion mit Standardabweichung und p-Wert der Übung<br>Match Board I nach Testtagen in den Gruppen I und II .....                                    | 56- |
| Tabelle 31: Vergleich der mittleren Economy of Motion mit Standardabweichung und p-Wert der Übung<br>Match Board I nach Testtagen in den Gruppen I und II.....                                     | 57- |
| Tabelle 32: Vergleich der mittleren Economy of Motion mit Standardabweichung und p-Wert der Übung<br>Match Board I nach Testtagen in den Gruppen I und II .....                                    | 58- |
| Tabelle 33: Vergleich des Durchschnitts der mittleren Economy of Motion nach Testtagen und Gruppen .....   | 59- |
| Tabelle 34: Vergleich der vermiedenen Excessive Instrument Force, Instruments out of View, Collisions und  |     |

---

|  |      |
|--|------|
| Drops und Anzahl an Probanden nah Testtagen in den Gruppen I und II .....  | -60- |
| Tabelle 35: Vergleich der vermiedenen Excessive Instrument Force, Instruments out of View, Collisions und                    |      |
| Drops und Anzahl an Probanden nah Testtagen in den Gruppen I und II .....  | -61- |
| Tabelle 36: Vergleich der vermiedenen Excessive Instrument Force, Instruments out of View, Collisions und                    |      |
| Drops und Anzahl an Probanden nah Testtagen in den Gruppen I und II .....  | -62- |
| Tabelle 37: Vergleich der vermiedenen Excessive Instrument Force, Instruments out of View, Collisions und                    |      |
| Drops und Anzahl an Probanden nah Testtagen in den Gruppen I und II .....  | -63- |
| Tabelle 38: Vergleich der vermiedenen Excessive Instrument Force, Instruments out of View, Collisions und                    |      |
| Drops und Anzahl an Probanden nah Testtagen in den Gruppen I und II.....   | -64- |
| Tabelle 39: Vergleich der Time to complete Exercise, der Standardabweichung und des p-Wertes in Gruppe I und II.-            | -69- |
| Tabelle 40: Vergleich der Economy of Motion der Standardabweichung un des p-Wertes in Gruppe I und II .....                  | -69- |
| Tabelle 41: Vergleich der missed Targets, der Standardabweichung und des p-Wertes in Gruppe I und II .....                   | -70- |
| Tabelle 42: Vergleich der Parameter Excessive Instrument Force, Instruments out of View, Collisions, Drops und               |      |
| Missed Targets der Übung Needle Control in den Gruppen I und II .....  | -71- |
| Tabelle 43: tabellarischer Vergleich des Overall Score und des $\Delta$ Overall Scores in der Unterteilung durch ein Overall |      |
| Score Intervall der Gruppe I und II nach Testtagen .....   | -72- |
| Tabelle 44: tabellarischer Vergleich des Overall Score und des $\Delta$ Overall Scores in der Unterteilung durch ein Overall |      |
| Score Intervall der Gruppe I und II nach Testtagen .....   | -73- |
| Tabelle 45: tabellarischer Vergleich des Overall Score und des $\Delta$ Overall Scores in der Unterteilung durch ein Overall |      |
| Score Intervall der Gruppe I und II nach Testtagen .....   | -74- |
| Tabelle 46: tabellarischer Vergleich des Overall Score und des $\Delta$ Overall Scores in der Unterteilung durch ein Overall |      |
| Score Intervall der Gruppe I und II nach Testtagen .....   | -75- |
| Tabelle 47: tabellarischer Vergleich des Overall Score und des $\Delta$ Overall Scores in der Unterteilung durch ein Overall |      |
| Score Intervall der Gruppe I und II nach Testtagen .....   | -76- |

---

## Abkürzungsverzeichnis

|                     |  |
|---------------------|--|
| $\Delta$            | Differenz zum vorherigen Testtag                           |
| ◦                   | signifikant  |
| ®                   | eingetragenes Warenzeichen                                 |
| Abb.                | Abbildung  |
| AESOP               | <i>Automated Endoscopic System for Optimal Positioning</i> |
| cm                  | Zentimeter   |
| <i>dVSkS</i> ®      | daVinci Skills Simulator®                                  |
| <i>DVSS</i> ®       | <i>Da Vinci Surgical System</i> ®                          |
| <i>dV Trainer</i> ® | da Vinci Trainer®  |
| FDA                 | <i>Food and Drug Administration</i>                        |
| GEARS               | <i>Global Evaluative Assessment of Robotic Skills</i>      |
| engl.               | Englisch   |
| Et. Al.             | Et alii/aliae/alia   |
| gh.                 | geht hervor  |
| Lat.                | Lateinisch   |
| mittlere/r          | arithmetisches Mittel aus drei                             |
| Ø                   | Durchschnitt   |
| og.                 | oben genannt   |
| p                   | p-Wert   |
| <i>RoSS</i>         | <i>Robotic Surgery Simulator</i>                           |
| s.                  | siehe  |



---

|             |  |
|-------------|--|
| sek.        | Sekunden   |
| SPSS        | SAS Statistics, Cary, NC, USA                    |
| sog.        | sogenannte/r                                     |
| syn.        | Synonym  |
| Tab.        | Tabelle  |
| <i>TORS</i> | <i>transoral robotic-assisted surgery</i>        |
| <i>TURP</i> | <i>transurethrale Resektion der<br/>Prostata</i> |
| Wdh.        | Wiederholung/en                                  |

---

## 1. Einleitung

Die Herausforderungen in der Medizin bestehen derzeit im Zusammenführen neuartiger Techniken in Diagnostik und Behandlung. Diese unterliegen einer stetigen Weiterentwicklung, welche in Form indikationsgerechter Therapieschemata im klinischen Alltag aktualisiert umgesetzt werden sollten. Eine professionelle und aufgeklärte Handhabung durch Erlernen spezifischer Fähigkeiten solcher Techniken seitens des Behandelnden erfordert wissenschaftlich evidenzbasierte Erkenntnisse und weiterführende Schlussfolgerungen. Die Entwicklung einer *Robotic*-gestützten Chirurgie gilt hierbei als eine der vielversprechendsten.

Erste Entwicklungen von sog. Telemanipulatoren, Roboter, die über eine große Reichweite hinweg gesteuert werden können, wurden von der *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) für Weltraumerkundungen ab 1985 erarbeitet.<sup>1</sup> Die ursprüngliche Idee im medizinischen Kontext eine chirurgische Versorgung verwundeter Soldaten ohne tatsächliche Anwesenheit eines Operators zu gewährleisten, sollte durch den Ausbau des *da Vinci Surgical Master-Slave Systems* vom *US Department of Defense* vorangetrieben werden.<sup>2</sup> Das *Da Vinci Surgical System (DVSS®)* wurde nach Leonardo da Vinci benannt. Auf den Maler, Anatom und Ingenieur geht der erste in der Geschichte bekannte Roboter „Leonardo’s Robot“ zurück, welcher wahrscheinlich um das Jahr 1495 herum erbaut wurde.<sup>3</sup> Seit der Wiederentdeckung dieser Erfindung in den 1950iger Jahren und der Einführung der minimal invasiven Chirurgie in die Humanmedizin fanden die stetig vorangetriebenen Weiterentwicklungen erstmals einen Höhepunkt im Jahr 1985 mit dem Einsatz des PUMA 560; einem *Robotic Arm* für neurochirurgische Biopsieentnahmen.<sup>4</sup> 1987 führte Philippe Mouret die erste laparoskopische Cholezystektomie durch. 3 Jahre später verifizierte die *US Food and Drug Administration* (FDA) das *Automated Endoscopic System for Optimal Positioning (AESOP)*.<sup>5</sup> Einem *Robotic Arm* der in laparoskopischen Operationen eine präzise und beständige Kameraführung erlaubt. Die erste *Robotic* assistierte laparoskopische Cholezystektomie wurde von Jacques Himpen und Guy Cardier 1997 in Brüssel durchgeführt.<sup>6</sup> 4 Jahre später gelangen Marescaux und Gagner eine *Robotic* assistierte laparoskopische Cholezystektomie zwischen New York City und Straßburg, Frankreich, mit einer Latenz von 155msec.<sup>7 8</sup> Im Jahr 1999 wurde das *DVSS®* von der Firma *Intuitive Surgical* (Sunnyvale, California) angemeldet

und im Jahr 2000 von der *FDA* legitimiert. Bis heute ist es das mit über drei Millionen Prozeduren am meisten angewandte *Robotic*-assistierte System.<sup>9 10 11</sup> Der Hersteller *Intuitive Surgical* gibt über 3660 solcher sich im Einsatz befindende Systeme an, davon 2.431 in den USA, 616 in Europa, 441 in Asien und 172 auf dem restlichen Globus (Stand März 2016).<sup>12</sup> *Intuitive Surgical* bietet über seine Online-Plattform eine Ortsfindung derjenigen Krankenhaus weltweit an, in denen der *DVSS*<sup>®</sup> zum Einsatz kommt.<sup>13</sup>

Das grundlegende Prinzip des *DVSS*<sup>®</sup> ist ein Zusammenspiel aus vier Komponenten. Der Operateur sitzt an einer Konsole und bedient das über eine Kabelverbindung angeschlossene *Patient-Side Cart*. Dieses ist während der Operation am Patienten positioniert und mit 3 bis 4 interaktiven Roboterarmen, sowie einem flexiblen Endoskop mit Lichtquelle ausgestattet. Die Roboterarme bewegen sich um einen eingestellten und sich im Sichtfeld der Kamera befindlichen Drehpunkt herum. Bestückt sind die Roboterarme mit jeweils einem *Endowrist* Instrument, welches 7 Freiheitsgrade und damit mehr als eine menschliche Handbewegung aufweist. Wahlweise können die Funktionen: Koagulation, Schneiden, Nähen, Sezieren, Präparieren oder Ein- und Aufspannen umgerüstet werden. Der Chirurg operiert nun durch Blick in das Okular der Konsole und der Führung von zwei Mikromanipulatoren per Hand und Fußschalter die Roboterarme am Patienten. Hierbei sieht er ein aktuelles Bild des Körperinneren des Patienten, welches durch das hochauflösende 3-dimensionale Endoskop abgebildet wird; zu keiner Zeit ist das Bild während einer Operation am *DVSS*<sup>®</sup> virtuell oder der Chirurg mehr als wenige Meter entfernt vom Patienten. Die integrierte Software des *DVSS*<sup>®</sup> übersetzt die Handbewegung des Chirurgen in Echtzeit auf die *Endowrist* Instrumente. Durch eine zusätzliche Sicherheitssoftware befindet sich die Steuerung der Instrumente zu jederzeit und zu 100% beim Chirurgen.<sup>14</sup> Die manuelle und gleichzeitig motorisierte Steuerung geht jedoch mit einem Mangel an Tastsinn für den Chirurgen einher, die durch Visualisierung, Präzision, Fingerspitzengefühl und Kontrolle kompensiert werden muss. Die Feinmechanik, die der Chirurg durch den *DVSS*<sup>®</sup> hervorbringen kann, spiegelt sich grundlegend in Form von geringeren Blutverlusten, einem reduzierten Gewebeschaden, sowie einer Reduktion postoperativer Schmerzen und kürzerer Genesungsdauer wider.<sup>15</sup>

Ursprünglich vor allem im Fachbereich der Urologie für Prostatektomien verwendet, wurde der Einsatz des *DVSS*<sup>®</sup> auf zusätzliche Wirkungsbereiche ausgebaut; unter ande-

rem auf den Einsatz bei Blasen- und Nierentumoren, Hysterektomien und Myomenukleationen in der Gynäkologie, kolorektalen Eingriffen, Cholezystektomien, Leistenoperationen in der Allgemein- und Viszeralchirurgie, Lobektomien und Operationen von mediastinalen und lobuläre Raumforderungen in der Thoraxchirurgie.<sup>16</sup> Durch die sogenannte *transoral robotic surgery (TORS)* konnte das *Da Vinci System Si* auch im Hals-Nasen-Ohren Fachbereich Anwendungen finden.<sup>17</sup> Die aktuellste Entwicklung, das System *Firefly*<sup>®</sup>, ermöglicht mittels Infrarot gestützter Visualisierung von flüssigkeitsgefüllten Lumina die Darstellungen von z.B. extra-hepatischen Gallenwegen.<sup>18</sup> In der Summe zeigen sich altersunabhängig positive Effekte durch eine Behandlung mit dem *DVSS*<sup>®</sup> in Form geringerer Blutverluste, kürzerer Liegezeiten der Patienten im Krankenhaus und der damit schnelleren Wiederaufnahme alltäglicher Aktivitäten.<sup>19 20 21 22 23 24 25 26 27 28</sup> Durch die geringen Blutverluste resultieren belegbar geringere Mengen an benötigten Transfusionen.<sup>29 30 31 32</sup> Des Weiteren erschließen sich in der minimal-invasiven Chirurgie äußerlich kleinere Schnittwunden, schnellere Wundheilung und Genesungsverläufe.<sup>33 34</sup> Unkompliziertere Verläufe mit geringeren Raten an postoperativen Infektionsraten und Revisionsoperationen wurden von verschiedenen Autoren/Innen berichtet.<sup>35 36</sup> Andere Studien belegen einen geringeren Bedarf an postoperativen Schmerzmitteln.<sup>37 38</sup>

Im Vergleich präsentiert sich das *DVSS*<sup>®</sup> im Vergleich zu anderen etablierten Methoden bezüglich perioperativen und postoperativen Komplikationsraten äquivalent zu laparoskopischen und offenen Verfahren.<sup>39 40 41 42 43</sup> Dies zeigt sich auch am onkologischen Outcome hinsichtlich *Short Term* (< 12 Monaten) und *Long Term* Beobachtungszeiträumen.<sup>44 45 46 47 48 49 50 51 52 53</sup>

Ergebnisse aus dem urologischen Fachbereich zeigen kürzere Operations- und Narkosezeiten und ebenso reduzierte Liegedauer auf intensivmedizinischen Stationen bei radikalen Prostektomien - hiervon ausgenommen sind übergewichtige Patienten.<sup>54 55 56 57</sup> Als prognostisch günstig wird der Einsatz des *DVSS*<sup>®</sup> hinsichtlich der Mortalitätsrate bei Blasenkarzinomen, Zystektomien, sowie der Rezidivrate bei Rektumkarzinomen beschrieben.<sup>58 59 60</sup> Ein nervenschonendes Operieren mit dem *DVSS*<sup>®</sup> begünstigt nachweislich niedrigere Impotenz- und Inkontinenzraten in der urologischen und kolorektalen Chirurgie.<sup>61 62 63</sup> Widerlegt wird dies nur bei voroperierten Patienten mit einer transurethralen Resektion der Prostata (*TURP*).<sup>64</sup> Konstatiert werden kann, dass das *DVSS*<sup>®</sup> bei operativer Entfernung von Endometriumkarzinomen einer Laparoskopie und -tomie überlegen ist. Übergewichtige und morbidie Patienten profitieren bezüglich dieser Fragestellung

nicht vom Einsatz eines *DVSS*<sup>®</sup> bei längeren Operationszeiten und Krankenhausaufenthalten.<sup>65 66 67</sup>

Die ersten präklinischen Tests in der *Robotic*-Chirurgie in der Kopf und Hals Chirurgie wurden 1994 von Kavanagh durchgeführt.<sup>68</sup> In der HNO Chirurgie werden mit dem *Da Vinci transoral robotic surger (TORS)* befriedigende onkologische Heilungsergebnisse mit geringeren Komplikationsraten erreicht.<sup>69 70</sup> Einsatzgebiete des *TORS* finden sich auch unter anderem in der Behandlung von oropharyngealen Plattenepithel Karzinomen, Schilddrüsen-Operationen und in der Behandlung des obstruktiven Schlafapnoe-Syndroms.<sup>71 72 73 74</sup> Einzelne Fälle beschreiben die Behandlung mit dem *TORS* bei nasopharyngealen Karzinomrezidiven.<sup>75 76</sup> Als technisch praktikabel beweist eine Studie zudem den Einsatz des *DVSS*<sup>®</sup> von Tonsillektomien bei Kinder sowie der Nasennebenhöhlenchirurgie.<sup>77 78</sup>

Ein grundlegender Aspekt ist die Sicherheit des *DVSS*<sup>®</sup> in der Praxis. Intraoperative Konversionsraten zu anderen chirurgischen Verfahren (laparoskopisch bzw. offen) zeigen bei radikalen Prostatektomien eine Spanne von 1,2% bis 3% und in der Kolonchirurgie von 7,8% bis 9,0% auf.<sup>79 80 81 82</sup> Eine zeitsparende und effiziente Konversion beruht nachweislich auf klaren Aufgabenverteilungen der Mitarbeiter im Notfall, einem intensiviert zielführendem Delegieren seitens der Verantwortlichen, die Kenntnis einer Raumorganisation und dem Wiederholen von Notfallübungen.<sup>83</sup> Die Funktionalität des *DVSS*<sup>®</sup> wird in einer Studie aus dem Jahr 2010 als solide und zuverlässig beschrieben.<sup>84</sup> Auch ist die Evaluation von multiplen prä-, peri- und postoperativen Faktoren zur Verringerung der postoperativen Nebenwirkungen einer *Robotic*-assistierten Intervention mittels z.B. sog. *enhanced recovery programmes* zu erwähnen.<sup>85</sup>

Um die oben genannte (og.) therapeutische Überlegenheit des *DVSS*<sup>®</sup> umsetzen zu können, sollte der Blick auf die Ausbildung der Chirurgen und die Kosten gelegt werden.<sup>86</sup>

<sup>87</sup> Im Unterschied zu Operationen im offenen oder laparoskopischen Umfeld sind am *DVSS*<sup>®</sup> eine Sensibilisierung der Chirurgen auf die spezielle Kameraführung nötig, die der 3-dimensionalen Darstellung des Op-Feldes und der Bedienung der *EndoWrist* Instrumente im Raum Effizienz zollt. Ein generell erhöhter Kostenaufwand bei Anwendungen des *DVSS*<sup>®</sup> entsteht nachweislich indirekt durch längere Operations- und Narkosezeiten.<sup>88</sup> Analysen zeigen dennoch, dass die hohen Anschaffungs- und Betriebskosten eines *DVSS*<sup>®</sup> durch die schnellere Genesung der Patienten und dem damit kostensparenden Krankenhausprozedere einen finanziellen Ausgleich erzielen können.<sup>89 90 91 92 93 94 95 96</sup>

<sup>97 98</sup>. Dennoch ergibt sich hieraus, dass für eine optimale Nutzung des *DVSS*<sup>®</sup> auch ausgebildetes Personal benötigt wird, um einen zeitsparenden Ablauf an Voreinstellungen und Justierungen bezüglich des *Patient Side Cart* zu ermöglichen.

Seit der Etablierung des *DVSS*<sup>®</sup> stellt sich die Frage nach einem effektiven Training.<sup>99</sup> Das Bearbeiten von anspruchsvollen Aufgaben fällt z.B. Amateuren am *DVSS*<sup>®</sup> leichter als das Durchführungen solcher an einem laparoskopischen System.<sup>100</sup> Belege zeigen, dass z.B. die Ausbildung am *DVSS*<sup>®</sup> bei Cholezystektomien unter niedrigem Risiko lehrreich ist.<sup>101</sup> Verschiedene Studien verifizieren, dass nach einer bestimmten Anzahl beispielsweise nach 28 bearbeiteten Falldarstellungen mit dem *DVSS*<sup>®</sup> ein geringerer Blutverlust, niedrigere Komplikationsraten bei operativen Hysterektomie von Zervixkarzinomen auftreten und nach 17 Falldarstellungen reduzierte Operationszeiträume bei Kolonkarzinomen nachgewiesen werden können.<sup>102 103</sup>

Die Effektivität eines Trainings am *DVSS*<sup>®</sup> richtet sich nach den jeweiligen Übungsgeräten, mit ihren Hardware- und Softwareausstattungen. Hinzu kommen bereits vorhandene Erfahrungen im Laparoskopieren von Seiten der Probanden. Zusätzlich sei aber auch zur Aufstellung eines Trainingskonzepts am *DVSS*<sup>®</sup> auf grundsätzliche Fragen, wie die Sicherheit, weitere Schulungen und Kostenaufwand verwiesen.<sup>104</sup> Aufgrund der Tatsache vieler verschiedener Trainingskonzepte ist ein einheitliches Studiendesign zur Evaluation von präklinischen und klinischen Ausbildungsabläufen erstrebenswert, welche ebenso durch Einbeziehung von *Cross - Modality Validity* bzw. *Global Evaluative Assessment of Robotic Skills* (GEARS) von Ergebnissen mit anderen Systemen auf Rückschlüsse ergänzt werden sollten.<sup>105 106</sup>

Als gleichwertig geeignet für Curricula zur Verbesserungen von Fähigkeiten am *DVSS*<sup>®</sup> angesehen werden der *dV-Trainer* (Mimik Technologies Inc., Seattle, WA, USA) am Schweine live-Mode, der *Da Vinci Surgical System Single-Site*<sup>™</sup> an einem leblosen Modell und der *daVinci Skills Simulator (dVSkS*<sup>®</sup>).<sup>107 108 109</sup> 3-D Simulatoren mit evidenzfundierter nachhaltiger Nutzbarkeit sind der *dVSkS*<sup>®</sup> (Intuitive Surgical Inc., Sunnyvale, CA, USA), der *dV-Trainer* (Mimik Technologies Inc., Seattle, WA, USA) und der *Robotic Surgery Simulator (RoSS)* (*Simulated Surgical Skills*, LLC, Williamsville, NY, USA).<sup>110 111</sup>

Trainingseinheiten an leblosen Modellen mit dem *Da Vinci Surgical System Single-Site* (™) Instrumentarium werden von erfahrenen *Robotic* Chirurgen, die in drei von vier Fällen den *Robotic* unerfahrenen Chirurgen überlegen sind, als ergebnisverbesserndes Trainingsmodell bewertet.<sup>112</sup> Allerdings kann im direkten Vergleich eines *dVSkS*® Trainings gegenüber Arbeiten mit dem *Da Vinci Surgical System* am Schweine-live-Modell oder live-Übungen keine Verbesserungen stratifiziert werden.<sup>113 114</sup> Probanden, die mit dem *DVSS*® an einem leblosen Model spezifische Aufgaben und Orientierungsübungen erfüllten, wiesen am Trainingsende höhere chirurgische Fähigkeiten auf.<sup>115</sup>

Die theoretische Übertragung der Lernerfahrung von Simulatoren auf eine Bedienung des *DVSS*® im operativen Einsatz sollte eloquent möglich sein. Das Üben an einem virtuellen Simulator zieht nicht grundsätzlich eine fähigere Bedienung am *DVSS*® nach sich.<sup>116</sup> Übungsszenarien am *dV-Trainer* können eine vorteilhafte Bedienung des *DVSS*® in einer Operation belegen.<sup>117</sup> Wiederum verbessern sich vergleichend bei einer Ausbildung am *dV-Trainer* und dem *DVSS*® über drei Wochen gleichermaßen die Führung von Bewegungen, die Nähfertigkeiten und die Reduzierung von Arbeitszeit in beiden Gruppen. Durch das Trainieren am *DVSS*® wird nachweislich ein Lernplateau schneller erreicht.<sup>118</sup>

Neben diesen og. Szenarien können darüber hinaus Korrelationen zu laparoskopischen Übungen dargelegt werden, die mit einem höheren Outcome am *dVSkS*® einhergehen.<sup>119</sup> Untermauern kann dies auch eine Studie, in der in einer Trainingsbox zum einen laparoskopisch und zum anderen mit dem *dVSkS*® gearbeitet wird. *Hassan et al* beschreiben, dass zwar die Lernkurven in beiden Kohorten gleich gut ausgebildet und die Arbeitsgeschwindigkeit vorteilhaft sind, der Kraftaufwand und die Kollisionsraten jedoch nachteilig höher in der Simulator-Gruppe ausfallen.<sup>120</sup>

Der Stellenwert eines direkt anleitenden Mentors, der in den Ablauf einer Simulationsübung über zwei parallel geschaltete *dVSkS*® Systeme intervenieren kann, am *Dual-Console Da Vinci SI Surgical System*, zeigte keine neuen Vorteile bezüglich des Erlernens chirurgischer Fähigkeiten, der Operationszeit oder dem Patienten-Outcome.<sup>121 122</sup> Als vorteilhaft stellte sich jedoch laut *Jarc et al* die Anwendung eines *Ghost-Protocols* heraus. Dieses dient zum Aufrufen von Wiederholungen, in denen die Bewegungsabläufe der Probanden/Innen aus vorherigen Simulationen gespeichert sind. Als Lernvorlage in Form einer optischen Schablone läuft eine dieser Wiederholungen über der aktuellen Simulation ab, sodass sich der/die Proband/in daran orientieren kann.<sup>123</sup>

Der Frage nach Praktikabilität und Sicherheit eines Simulationstrainings zur Ausbildung von unerfahrenen Chirurgen nachgehend, beantworten *Attallia et al* in einer Studie, in der die Übungen mit begleitenden Curricula, Nachbereitungen und Evaluationen durch erfahrene *Da Vinci* Chirurgen ergänzt wurden. Nach vier Wochen sind 64% der in der Studie an Tiermodellen trainierten Chirurgen in der Lage gewesen am *DVSS*<sup>®</sup> operative Einsätze bei radikalen Prostatektomien und gastrointestinalen Eingriffen durchführen zu können. Bei einer Konversationsrate von 1,3% zu einem offenem Verfahren kann zusätzlich ein hoher Sicherheitsaspekt untermauert werden.<sup>124</sup> Die Möglichkeit der Ausbildung von *Da Vinci* Chirurgen durch das Absolvieren von *Objective Structured Clinical Examinations* wird auch durch andere Autoren bestätigt.<sup>125</sup> Diskutiert werden kann laut *Volpe et al* auch der Stand an Vorerfahrungen anhand eines bereits existierenden strukturierten *Robotic*-assistierten Training Curriculums im urologischen Fachbereich auf europäischer Ebene. Beinhaltet das Trainingsmodell ein 12-wöchiges prozedurales Erlernen von radikalen Prostektomien mittels *dVSkS*<sup>®</sup> unter Supervisionen, e-Learning Kursen und ein einwöchiges strukturiertes Simulationstraining, so dass abschließend Roboter assistierte radikale Prostektomien mit fundierter Sicherheit von den Ausgebildeten selbstständig durchgeführt werden können.<sup>126</sup>

Der Lernerfolg scheint demnach nicht essentiell von der Art des Systems abhängig zu sein, welches zum Trainieren genutzt wird, sondern durch das Definieren und Erreichen von gleichen Übungszielen, welche Ausdruck finden in beschriebenen Lernkurven. Das Trainieren am *dVSkS*<sup>®</sup> erhält in Studien aufgrund der autonomen Nutzbarkeit und seiner softwareintegrierten bedienungsfreundlichen Feedbackereigenschaften positives Feedback. Des Weiteren konnte eine Reduzierung der Bearbeitungszeit und der Bewegungsökonomie aufgezeigt werden.<sup>127 128</sup> Die folgende Dissertation beschäftigt sich mit dem Thema der Aneignung von Fähigkeiten im Umgang mit dem *dVSkS*<sup>®</sup>. Explizit sollen mit Hilfe der Erstellung und des Vergleichens von Lernkurven durch das Bearbeiten von Simulationen am *dVSkS*<sup>®</sup> Rückschlüsse auf ein optimales Training gezogen werden. In erster Linie sollte ein strukturiertes Training am *dVSkS*<sup>®</sup> Kompetenz und nicht Zeit basiert, sowie eine schrittweise objektive Beurteilung des Prozederes erfolgen.<sup>129</sup> Herauskrystallisieren müsste sich bei einem effektiven Training am *dVSkS*<sup>®</sup> eine Reduktion an Nachteilen (Kollisionen, Kraftaufwand) und der Hervorhebung von Vorteilen (Präzision, schnelle Arbeitszeit) des *DVSS*<sup>®</sup>.



Bereits aufgezeigt wird, dass sich grundsätzlich Amateure und Experten in der Bedienung der Controller in Bewegungen, Beschleunigungen, Geschwindigkeit und Zielerfassung voneinander unterscheiden.<sup>130</sup> Laut *Lilu et al* sollte ein Simulationstraining nach Möglichkeit die Auswertung von Kernparametern enthalten, wie der Kameraführung, Tiefenwahrnehmung, zweihändiges Steuern, dem Benutzen eines dritten Instrumentenarmes, das manuelle Entkoppeln zur Kontrolle der Handbewegungen sowie das Aktivieren von Stromquellen.<sup>131</sup>

Der *dVSkS*<sup>®</sup> arbeitet lediglich mit der originalen *Si Surgeon Console* des *DVSS*<sup>®</sup> und einer geprüften Software (*Mimik*<sup>®</sup> Technologies, Seattle, WA). In dieser Hinsicht beweist der *dVSkS*<sup>®</sup> einen Vorteil gegenüber anderen Simulatoren, außerdem wird die gleiche Steuerungsdynamik für die *EndoWrist* Instrumente verwendet wie im operativen Umfeld. Die Ausstattung der Software beinhaltet mehr als 30 Trainingsübungen, die grundlegende Fertigkeiten wie Kamera- und Kupplungsabläufe, aber auch Übungen, die das Anwenden von Strom oder der Nadelführung üben sollen. Optimiert soll hierdurch die Handhabung der Chirurgen, auch hinsichtlich Übungsdauer, Sicherheitsgefühl und Sicherheit.<sup>132 133</sup>

Für die in dieser Studie untersuchten Übungen (*Match Board I, Match Board II, Match Board III, Ring & Rail I, Ring & Rail II* und *Needle Control*) wurden die Parameter *Time to complete Exercise* (in Sekunden (sek.)), *Economy of Motion* (in Zentimetern (cm)), *Excessive Instrument Force* (in sek), *Instruments out of View* (in cm), *Collisions* (nach Anzahl), *Drops* (nach Anzahl), *Master Work Space Range* (in cm) und *Missed Targets* (nach Anzahl) ausgewählt. Die Parameter ergeben in Summe und prozentual anteilig den *Overall Score* (0%-100%). Angemerkt wird bei *Lyons et al*, dass vor allem die Parameter *Time to complete Exercise* und die *Economy of Motion* gut geeignet sind, um die Lernerfahrung der Probanden neben dem *Overall Score* bewerten zu können.<sup>134</sup>

Diese Arbeit soll aufschlüsseln wie sich die Ergebnisse bezüglich der Parameter und des *Overall Score* an den Testtagen und über die Wiederholungen entwickeln. Unter dem Gesichtspunkt der spezifischen Übungsanforderungen soll eine Einteilung in Schwierigkeitsgrade erfolgen. Des Weiteren wird eine Gegenüberstellung der beiden untersuchten Gruppen vorgenommen. Ein Augenmerk soll ebenso auf die unterschiedliche Anzahl an Testtagen, sowie deren Auswirkungen auf die Parameter und den *Overall Score* erfolgen. Die Probanden der Gruppe I werden im speziellen in drei Gruppen eingeteilt und ihr

## **Einleitung**

---

*Overall Score* als Leistungsspiegel im Verlauf analysiert. Als Zielkriterium wird das Vermeiden von schweren Fehlern (z.B. Kollisionen und Kraftaufwand von und an Instrumenten) und ein schnelleres Erreichen des Lernplateaus, sowie ein *Overall Score* > 80% für einen Trainingserfolg definiert sein.

## 2. Material und Methoden

### 2.1. Studienaufbau

Die Studie wurde als prospektives Design konzipiert. Die Bearbeitung der Studie fand anhand von zwei gleichgroßen Kohorten (à n=20 Probanden) statt, welche sich einerseits in Anzahl der Trainingseinheiten und der Testtage sowie deren zeitlichen Abstand unterschieden. Im Rahmen der Studie wurden den Studienteilnehmer an terminierten Testtagen verschiedene Simulationsübungen an der Konsoleneinheit des *dVSkS*<sup>®</sup> präsentiert. Es war aufgrund des Pilotstadiums nach mündlicher Absprache kein spezifisches Ethikvotum nötig. Nach Erreichen des Übungszieles wurden die Übungen automatisch durch die Software der Simulation beendet. Die *Mimics*<sup>®</sup> *Software* (Intuitive Surgical Inc., Sunnyvale, CA, USA) erstellte einen Overall Score, der sich aus sieben verschiedenen Parametern berechnete und das Leistungsniveau der jeweiligen Wiederholungen darstellte. Die Parameter und der Gesamtscore dienten als tägliche Bewertung der individuellen Lernleistung der Probanden nach Beendigung dreier Wiederholungen einer Simulationsübung.

### 2.2 Studienteilnehmer

#### 2.2.1 Studienteilnehmerrekrutierung

Die Teilnehmer/Innenrekrutierung erfolgte durch Aushänge mit Erläuterungen zu der geplanten Studie in Gebäuden der medizinischen Fakultät des Universitätsklinikum Marburg. Mit einer Kontaktaufnahme zum Doktoranten erfolgte nach mündlicher Aufklärung und schriftlicher Einverständniserklärung die Teilnahme an der Studie. Eine randomisierte Zuteilung in eine der beiden Kohorten erfolgte per Losverfahren (durch Würfeln (gerade Zahlen = Gruppe I, ungerade Zahlen = Gruppe II)). Es schloss sich eine strukturierte Aufklärung und Erläuterung zur Steuerung, den Vorsichts- und Hygienemaßnahmen und die Einführung in die operative Bedeutung des *Da Vinci*<sup>®</sup>- Operationssystems an.

### 2.2.2 Einschlusskriterien

- Männer und Frauen im Alter zwischen 22 und 31 Jahren
- Die Teilnehmer/Innen musste an den festgelegten Testtagen mit +/- einem Wochentag Abweichung teilnehmen können

### 2.2.3 Ausschlusskriterien

- Probanden, mit Erfahrung am *dVSkS*<sup>®®</sup> und *DVSS*<sup>®</sup>
- Probanden, die nicht an dem terminlichen oder zeitlichen Umfang vor oder nach Beginn des ersten Testdurchlaufs in Anspruch nehmen konnten

### 2.2.4 Studienabbruch

Als Abbruchkriterium für einen Ausschluss an der Studie wurde ein versäumtes Erscheinen am Testtag, sowie ein nicht vollständig durchgeführter Testtag gewertet. Ebenso waren die Ausschlusskriterien während der Teilnahme an der Studie als Abbruchkriterium definiert. Dies trat in einem Fall während der Studiendurchführung auf.

### 2.3. Der zeitliche Rahmen

Der Zeitraum der Datenerhebung umfasste Januar bis Dezember 2013. Die Dauer eines Testtages betrug zwischen 45 und 100 Minuten. Die Teilnehmer/Innen nahmen werktags zwischen 14:30 und 21:00 im Operationssaal - Saal 15 des Universitätsklinikums Marburg an der Studie teil.

### 2.4 Der Da Vinci<sup>®</sup> Skills Simulator<sup>™</sup>

Der *dVSkS*<sup>®</sup> des *Da Vinci*<sup>®</sup> Operationssystem kann eigenständig an der Steuerkonsole (*Surgeon Console*) ohne Aktivierung des Patientenwagens (Patient-Side-Cart) gestartet und benutzt werden. Die Steuerung der Eingabekonsole findet durch die Bedienung der

beiden Controller (Mikromanipulatoren) und der Fußpedale statt. Die für die Studie genutzten Simulationen entstanden in einer Kooperationsinitiative des *Intuitive Surgical*<sup>®</sup> und der *Mimics*<sup>®</sup> Technologies und wurden an einem *Da Vinci*<sup>®</sup> Si HD<sup>1</sup> durchgeführt.



2

Abbildung 1: Bediungsposition der Steuerungskonsole

Das höhen- und winkelverstellbare Okular der *Da Vinci*<sup>®</sup> Steuerungskonsole ermöglichte eine dreidimensionale Sicht in den virtuellen Raum der jeweiligen Simulationsübung.



3

Abbildung 2: Surgeon Console mit Fußpedalen, Controller und Okular

---

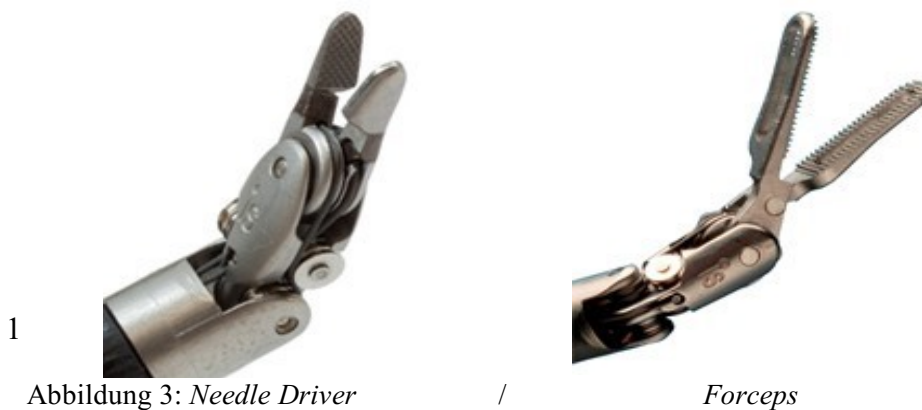
<sup>1</sup> Tracking ID: SIM113322365, in der Version Built: 8.1.111.1

<sup>2</sup> Quelle: <https://sparksandfavorpc.com/robotic-surgery/da-vinci-features-and-safety/> Stand: 01.08.2017

<sup>3</sup> Quelle: [https://www.intuitivesurgical.com/company/media/images/davinci\\_si\\_images.php](https://www.intuitivesurgical.com/company/media/images/davinci_si_images.php) Stand: 01.08.2017

## Material und Methoden

Die Simulationen legten den Fokus auf die realitätsnahe und maßstabsgetreue Bewegungsumsetzung, die der einer realen Instrumentenbewegung entspricht, insbesondere der Anwendung der sieben Freiheitsgrade bzw. der normierten Beweglichkeit bis zu 540° und des *Finger-Tip-Controls*. Mit Benutzung der Fußtaste durch den linken Fuß konnte die Positionierung des Kamerabildes verändert werden, welches um die eigene Achse gedreht, horizontal, vertikal und in der frontal Ebene beweglich war. Die zwei Mikromanipulatoren ließen sich mit der rechten und linken Hand bedienen. Diese übertrugen ihre Bewegungen in Echtzeit auf die simulierten Operationsinstrumente.



Die Probanden konnten die Operationsinstrumente via *Finger-Tip-Control* mit dem Mittelfinger und dem Daumen öffnen und schließen, sowie mit dem Zeigefinger die Mikromanipulatoren in ihrer Position verändern, wobei die simulierten Operationsinstrumente inflexibel blieben.

---

<sup>1</sup> Quelle: <http://www.vattikutitechnologies.com/Endo-Wrist-Instruments.html> / Stand: 01.08.2017



1

Abbildung 4: Blickrichtung durch das Okular und Bedienung der Controller

In den simulierten Übungen steuerten die Teilnehmer/Innen überwiegend zweihändig jeweils einen Nadelhalter, *Needle Driver*. In der Übung III, *Match Board III*, wurde zusätzlich eine Zange, *Forceps*, verwendet.



2

Abbildung 5: Bedienung der Controller via Finger-Tip-Control

<sup>1</sup> Quelle: <https://www.slideshare.net/AdityaKejriwal2/anesthesia-for-robotic-surgery/> Stand: 01.08.2017

<sup>2</sup> © Förtsch, Arne

---

**2.5 Inhalte und Besonderheiten der Übungen**

Durch Blick in das Okular auf die Bildschirmoberfläche bietet sich über die *log in* Funktion eine personalisierte Auswertung per Nutzernamen. Dies ermöglicht einerseits eine individuelle Darstellung und Auswertung der Ergebnisse und Anzahl an Wiederholungen der absolvierten Übungen und andererseits einen Überblick über die noch nicht erledigten Übungen. Durch Führen des Mauszeigers mittels Controller (Mikromanipulator) können im Menü die Übungen, die in Ordner- und Unterordner hinterlegt sind, per Mausklick ausgewählt werden. Die für die Studie verwendeten Simulationsübungen wurden aus dem Programm *Endowrist Manipulation*<sup>®</sup> ausgewählt. Der Menü Pfad lautete z.B.: *Menu / Endowrist Manipulation 2 / Match Board I*. Im Folgenden erscheint ein Übersichtsfenster mit der Aufgabenstellung, Bildern zur Übung, sowie ein Einführungsvideo. Durch Betätigen des Start Buttons beginnt die Übung nach kurzem Ladebildschirm. Die Übung wird nach Erfüllen der Aufgabenstellung automatisch beendet. Beginnend mit der Simulationsübung *Match Board 1* bestand die Aufgabenstellung für die Probanden darin, wie auch in den folgenden Übungen *Match Board II* und *III*, die sich im Schwierigkeitsgrad erhöhen, sechs Buchstaben und drei aus Holz gefertigte Zahlen jeweils an die dafür markierte Stelle in einer Holzschachtel zu positionieren. Den Probanden wurde die korrekte Positionierung durch eine Grünfärbung der abgelegten Symbole signalisiert. Die Übungen konnte vom Simulationsprogramm als erfolgreich abgeschlossen gewertet, wenn sich alle Holzsymbole an der richtigen Stelle befanden. Die Übungen *Ring & Rail I* und *II* erforderten die Führung eines oder mehrerer Ringe über einen Draht bzw. einen Drahtparkour. Auch hier wurde ein Ablegen der Ringe an die richtige/n Stelle/n mit einem grünen Farbumschlag bzw. nach Ablegen aller Ringe als beendet gewertet.

Die Auswertungsoberfläche zeigt den erreichten Overall Score in % und die Overall Score History, sowie unter der Überschrift: *Results Over Metrics* die Ergebnisse der ermittelten Parameter durch farbliche Untermauerung (rot, gelb und grün). Der Benutzer kann in diesem Menü durch Bewegen der Maus über die dargestellten Schaltflächen Informationen über den erreichten Status des Parameters erhalten. Unter dem Menüpunkt *Exercise Report* sind zusätzlich Informationen und Vorschläge zur Verbesserung bereitgelegt, ebenso ist das Aufrufen einer Zusammenfassung der Wiederholungen unter *Exercise History* und *Metric History* möglich. Per Mausklick kommt der Benutzer wieder zurück in das vorherige Menü.



2.5.1 *Match Board I*

In *Match Board I* geht es die Symbole präzise in eine dafür vorgesehene Schablone zu legen.



Abbildung 6: *Match Board I*

2.5.2 *Match Board II*

In *Match Board II* waren jeweils drei Positionsbeschriftungen durch eine vertikale Klappe verdeckt. Den Probanden wurde nach Öffnen der Klappen Positionsbeschriftung aufgezeigt. Die Klappen mussten mit dem zweiten Arbeitsinstrument offenstehend gehalten werden.



Abbildung 7: *Match Board II*

2.5.3 *Match Board III*

In *Match Board III* war die Holzschachtel um zusätzlich eine dritte um 90° darunterliegende Klappe ergänzt. Diese konnte durch Benutzung eines dritten Arbeitsinstrumentes seitlich herausgezogen und durch Betätigung einer Fußtaste ausgewählt und fixiert werden.

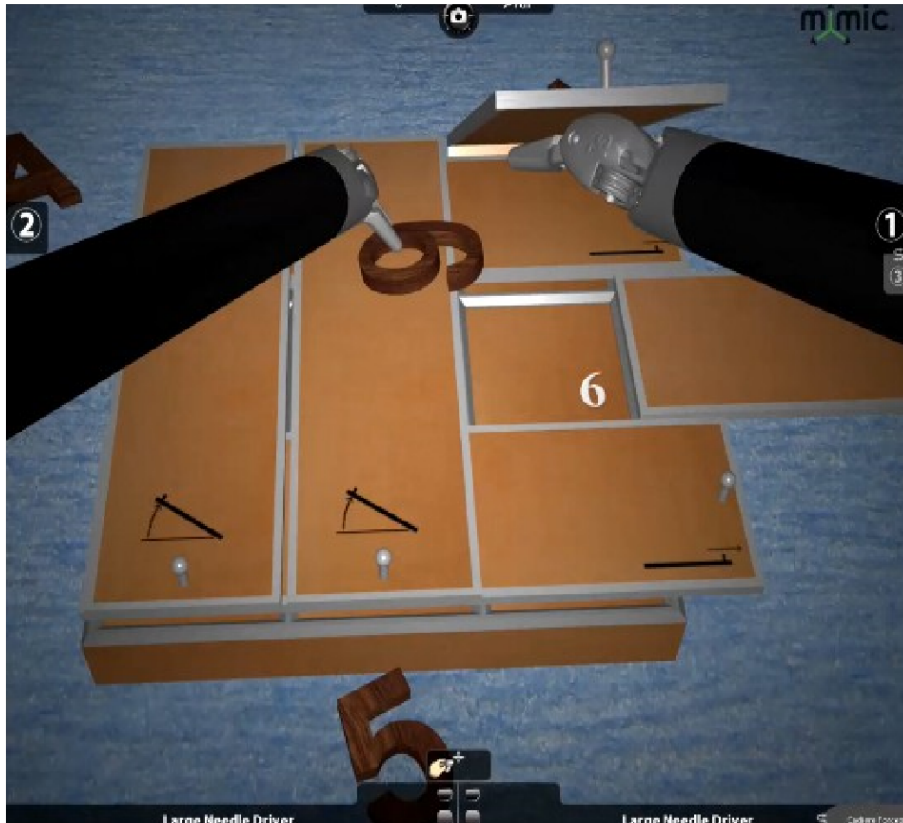


Abbildung 8: *Match Board III*

2.5.4 Ring & Rail I

In *Ring & Rail I* beschäftigen sich die Probanden mit der Bewegung eines Ringes über einen Draht zum entsprechenden Zielbereich. Der Ring durfte dabei sowohl den Draht berühren, als auch an ihm eingehängt werden.

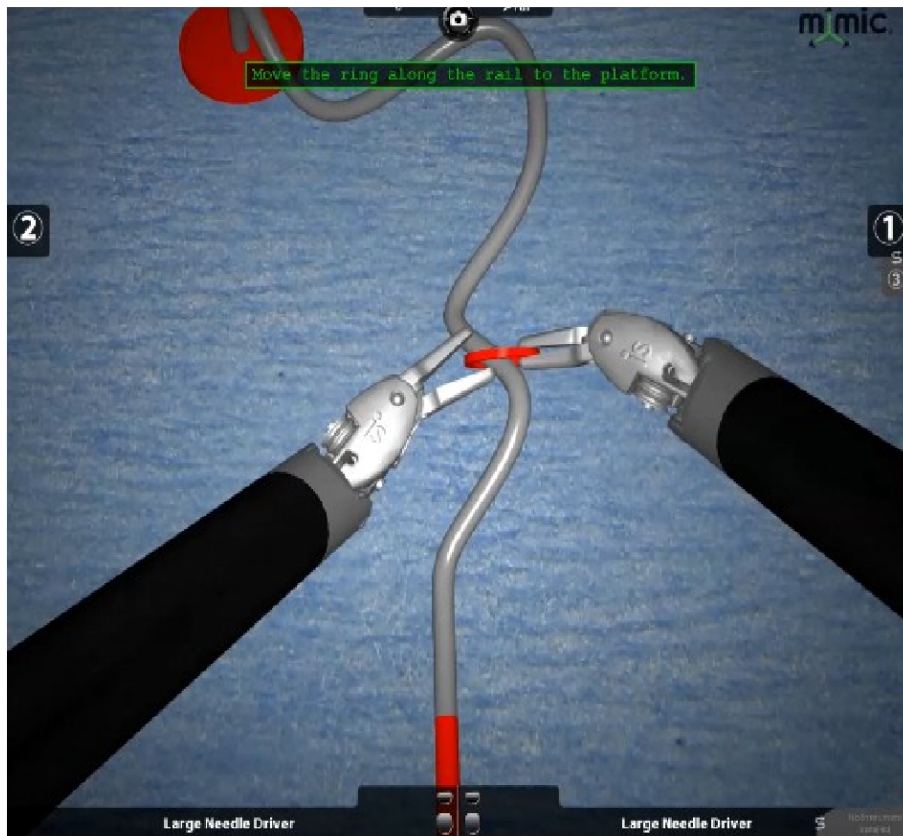


Abbildung 9: Ring & Rail I

2.5.5 *Ring & Rail II*

*Ring & Rail II* bot ein ähnliches Szenario, allerdings waren zum Lösen der Aufgabenstellung der zielführende Transport von drei farbigen Ringen auf den zugeteilten Drähten nötig.

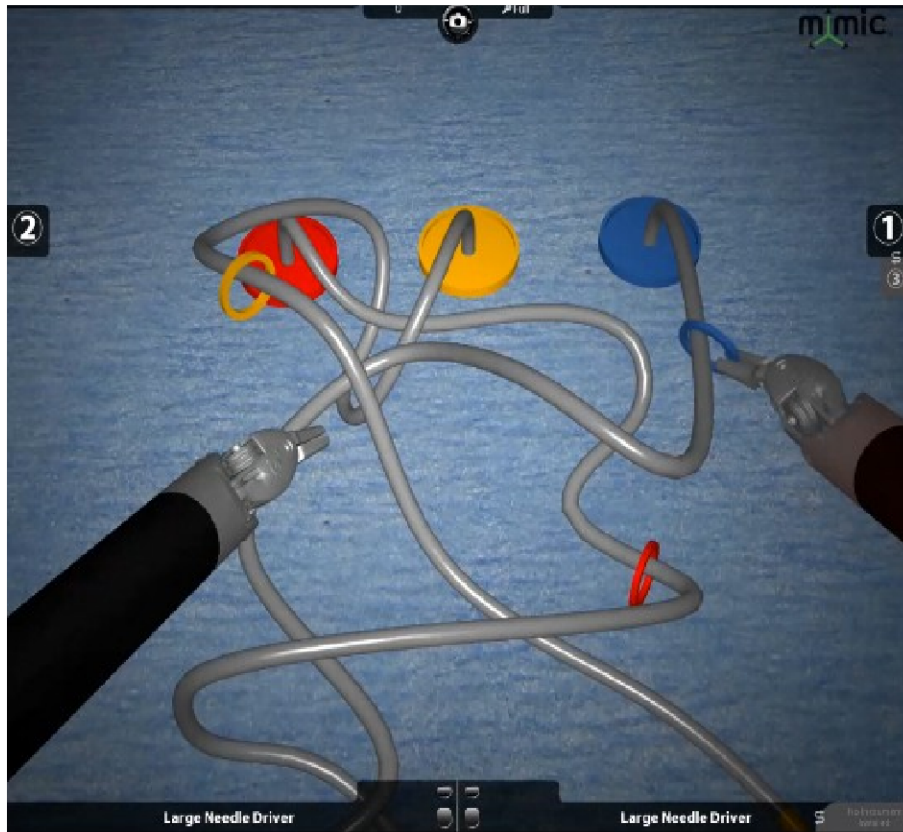


Abbildung 10: *Ring & Rail II*

2.5.6 *Needle Targeting*

Die Aufgabe in der Abschlussübung *Needle Targeting* bestand in der korrekten gleichzeitigen Positionierung von farblich markierten Nadeln in zwei farblich identischen Zielscheiben unterschiedlicher Größen, wobei zunächst die größere mittig und bei fortlaufender Bewegung die kleinere getroffen werden musste.

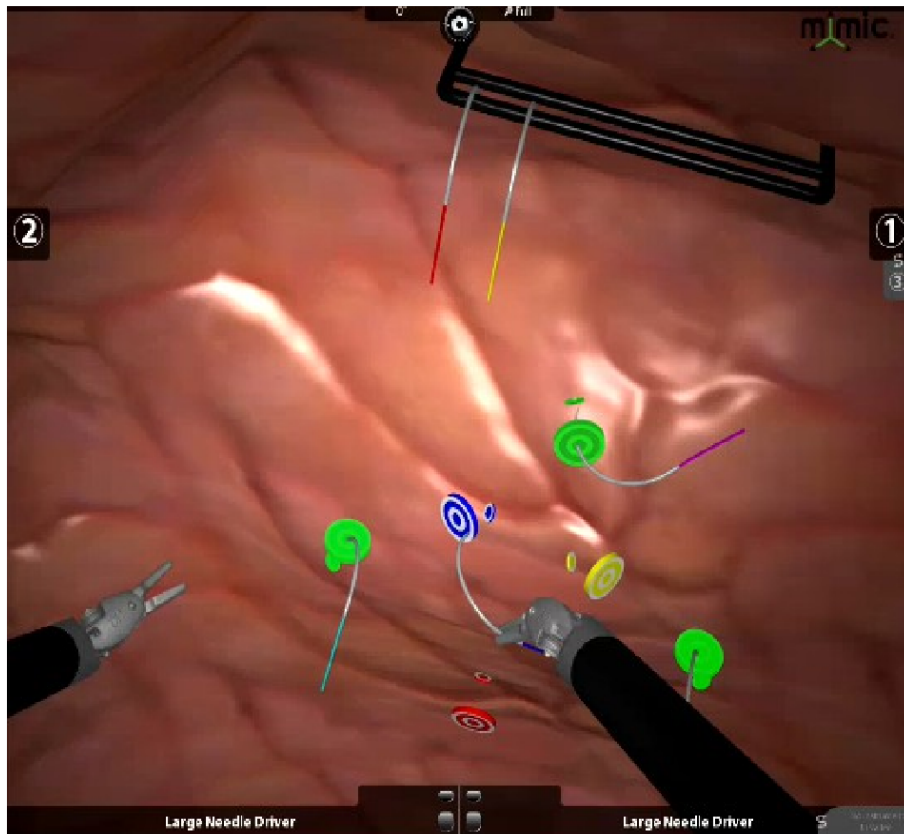


Abbildung 11: *Needle Targeting*

2.6 Studiendurchführung

Die Teilnehmer/Innen wurden den Gruppen I und II randomisiert durch Losverfahren zugeteilt. Beide Gruppen unterschieden sich im zeitlichen Umfang in der Studie. Gruppe I absolvierte an vier Testtagen und Gruppe II an zwei Testtagen jeweils alle fünf Übungen. Ebenso bestand ein Unterschied in den Zeiträumen zwischen den Testtagen. In Gruppe I und II erfolgte der Studienablauf nach dem folgenden zeitlichen Schema (s. Tab. 1):

| Gruppe | Tag 1                         | Tag 8                         | Tag 15                        | Tag 22  |
|--------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|---|
| I      | 1. Test<br>(Wiederholung 1-3) | 2. Test<br>(Wiederholung 4-6) | 3. Test<br>(Wiederholung 7-9) | 4. Test<br>(Wiederholung 10-12)<br>+ Abschlussübung |
| II     | 1. Test<br>(Wiederholung 1-3) | -                             | -                             | 2. Test<br>(Wiederholung 4-6)<br>+ Abschlussübung   |

Tabelle 1: Vergleich der Gruppen I und II nach Test und Tag

Der Inhalt der Testreihe bestand in der dreimaligen Durchführung der fünf Übungen in der Reihenfolge: *Match Board I*, *Match Board II*, *Match Board III*, *Ring & Rail I* und *Ring & Rail II*. Die drei Wiederholungen pro Übung wurden hintereinander absolviert (s. Tab. 2).

| Übungen        | Übung I<br>( <i>Match Board I</i> ) | Übung II<br>( <i>Match Board II</i> ) | Übung III<br>( <i>Match Board III</i> ) | Übung IV<br>( <i>Ring &amp; Rail I</i> ) | Übung V<br>( <i>Ring &amp; Rail II</i> ) |
|----------------|-------------------------------------|---------------------------------------|---|--|--|
| Wiederholungen | <b>Parameter + Overall Score</b>    |                                       |   |  |  |
| 1.             |                                     |                                       |   |  |  |
| 2.             |                                     |                                       |   |  |  |
| 3.             |                                     |                                       |   |  |  |

Tabelle 2: Darstellung der Übungen gegen Wiederholungen mit Parameter und Overall Score Erfassung

In den Übungen I, II, III, IV und V in chronologischer Reihenfolge durchgeführt, ^in der ersten, zweiten und dritten Wiederholung die gleichen Parameter bzw. der Overall Score dargestellt und dokumentiert. Am Tag 22, entsprechend dem vierten Test der Gruppe I und dem zweiten Test der Gruppe II, wurde nach Beendigung des regulären Tests eine

zusätzliche Übung (=Abschlussübung) (*Needle Targeting*) durchgeführt. Diese Übung wurde einmalig absolviert und mithilfe einer Videoeinführung vorgestellt und erklärt.

2.7. Parameter und Auswertungsschema des Simulators

Nach Erreichen des Übungszieles waren verschiedene Parameter als Auswertung der individuell erbrachten Leistung des Probanden der entsprechenden Übung aufgeführt (Tab. 3). Der *Overall Score* wird durch farbliche Symbole: rotes Kreuz (<50%), gelbes Dreieck ( $\geq 50\%$  bis < 80%) und grünes Häkchen ( $\geq 80\%$ ) entsprechend dem erreichten Niveau aufgelistet.

| Score / Parameter                              | Englisch  | Deutsch  |
|--|---|--|
| <b>1. Overall (in %)</b>                       | Gained result of the completed exercise   | Erreichtes prozentuales Ergebnis der Übung   |
| <b>2. Time to complete Exercise (in sek.)</b>  | Total time the user spent on exercise   | Zum Lösen der Übung benötigte Zeitdauer  |
| <b>3. Economy of Motion (in cm)</b>            | Total distance moved by all virtual instruments in the Simulation   | Bewegungsstrecke aller virtuellen Instrumente in der Simulation  |
| <b>4. Instrument Collisions (in n)</b>         | Total number of virtual instrument-on-instrument collisions   | Anzahl der untereinander stattgefundenen Kollisionen der virtuellen Instrumente  |
| <b>5. Excessive Instrument Force (in sek.)</b> | Total time an excessive instrument force is applied above a prescribed threshold force. Forces from instruments can arise from collisions with each other and from action such as tissue retraction, driving a needle or pulling on suture etc. | Zeitraum, in dem Grenzwert überschreitende Kräfte auf die virtuellen Instrumente wirken. Kräfte können durch gegenseitige Kollisionen, Geweberetraktionen, Zugkräfte beim Führen einer Nadel oder beim Knoten etc. entstehen |
| <b>6. Instruments Out of view (in cm)</b>      | Total distance moved by instruments outside the user's field of view.   | Distanz der bewegten virtuellen Instrumente außerhalb des Sichtfeldes des Teilnehmer/Innen   |
| <b>7. Master Work Space Range (in cm)</b>      | Radius of users real working volume on master grips   | Radius des realen des vom Teilnehmer genutzten Arbeitsbereichs mit den Controllern   |
| <b>8. Drops (in n)</b>                         | Number of times any object is dropped in an inappropriate region of the scene   | Anzahl, der fallengelassenen Gegenstände in einem unzureichenden Bereich   |
| <b>9. Missed Targets* (in n)</b>               | Number of <i>missed Targets</i>   | Anzahl, der verfehlten Zielscheiben  |

\*Vorkommen in der Übung *Needle Targeting*

Tabelle 3: Auflistung der Parameter mit Erklärungen in Deutsch und Englisch



## Material und Methoden

Die Parameter (2.-8.) werden von der *Mimics*<sup>®</sup> Software als Variablen anteilig prozentual in den *Overall Score* (1.) verrechnet. Für jeden Parameter lagen festgelegte *Basiswerte* vor, welche sich in einen 100% *Score Value*, 0% *Score Value* und in eine prozentuale Gewichtung (% *Weight*) aufteilten. Als 100% *Score Value* wurde je nach Übung der minimale bzw. maximale Grenzwert beschrieben, der eine 100%ige Erfüllung der Parameter Leistung beschrieb. Der 0% *Score Value* konnte als der jeweilige diametrale minimale bzw. maximale Grenzwert angesehen werden. Der jeweilige *Score* der einzelnen Parameter ging prozentual in den *Overall Score* ein. Für diese Studie wurden die Parameter *Excessive Instrument Force* und *Collisions* als grobe Fehlerquellen aufgrund möglicher direkter schädlicher Folgen am Patienten oder des Gerätes definiert (s. Tab. 4).

| Parameter                               | Gewichtung in % |
|---|-----------------|
| <i>Economy of Motion (cm)</i>           | 16,13 (12,89*)  |
| <i>Time to complete Exercise (sec)</i>  | 16,13 (12,89*)  |
| <i>Excessive Instrument Force (sec)</i> | 16,13 (12,89*)  |
| <i>Collisions (n)</i>                   | 16,13 (12,89*)  |
| <i>Instruments out of View (cm)</i>     | 16,13 (12,89*)  |
| <i>Master Work Space Range (cm)</i>     | 3,23 (2,78*)    |
| <i>Drops (n)</i>                        | 16,13 (12,89*)  |
| <i>(Missed Targets (n)) *</i>           | (12,89*)        |

\*Vorkommen in der Übung *Needle Targeting*

Tabelle 4: Auflistung der Parameter nach prozentualem Anteil am Overall Score

Prozentual anteilig wurden alle Parameter mit einer Prozentangabe von 16,13% bzw. 12,89%, bis auf Ausnahme auf den *Master Work Space Range* mit 3,23%, bzw., 2,78%, in den *Overall Score* einberechnet (s. Tabelle 4). Eine Beispielrechnung ergibt sich demnach wie folgt: Der Parameter *Time to complete Exercise* in Übung I, *Match Board I*, zeigte einen 100% *Score Value* bei 70 Sekunden und einen 0% *Score Value* bei 180 Sekunden. Beim Abschluss der Übung und entsprechendem *Time to complete Exercise* von 85,7 Sekunden betrug der Score 86% für die *Time to complete Exercise*. Anzumerken sei, dass in diesem Fall beispielsweise eine weitere zeitliche Unterschreitung des 100% *Score Values*, entsprechend den 70 Sekunden, keine Erhöhung des *Overall Score* zeigen würde. Dies hätte im Umkehrschluss eine Überschreitung des 0% *Score Values*, entsprechend 180 Sekunden, keine Erniedrigung des *Overall Score* zur Folge. Der beispielhafte *Overall*

*Score* von 86,00% des Parameters *Time to complete Exercise* ging anteilig mit 18,76% ( $16,13/86,00 \cdot 100$ ) in den *Overall Score* ein. Die übungs- und parameterspezifisch festgelegten Intervalle waren limitierend auf den *Overall Score* anzusehen.

### 2.8 Auswertung

Die Datenauswertung erfolgte daher Untersucher unabhängig.

#### 2.8.1 Statistik

Die statistische Auswertung erfolgte mit Hilfe des Programmes SPSS 22.0 (SAS Statistics, Cary, NC, USA). Die Übertragung der Daten erfolgte nach Abschluss einer Wiederholung. Die Dateneingabe der Parameter und des *Overall Score* wurden über den parallel geschalteten Monitor dargestellt und in eine Datentabelle manuell übernommen. Die Auswertung der Daten erfolgte erst nach der vollständigen Datenerhebung bzw. Beendigung der Testdurchläufe aller Probanden. Eine detaillierte statistische Datenauswertung wurde durch den Zweistichproben-T-Test für abhängige Variablen durchgeführt bei der Annahme gleicher Varianzen der Grundgesamtheit. Dieser wurde auf das arithmetische Mittel des *Overall Score* oder auf die einzelnen Parameter eines Wiederholungstages, entsprechend der Summe dreier Wiederholungen angewendet.

#### 2.8.2 Hypothesenaufstellung und Hypothesenprüfung

Für die verwendeten T-Tests wurde im vorab eine Irrtumswahrscheinlichkeit von 5% festgelegt. Es wurden zwei Nullhypothesen (H<sub>0</sub>) folgendermaßen definiert:

1. Beide Kohorten unterscheiden sich in den erhobenen Daten an einem und demselben Testtag voneinander nicht.
2. Die erhobenen Daten der jeweiligen Kohorten unterscheiden sich im Verlauf der Testtage nicht.

Entsprechend konnten zwei Gegenhypothesen (H<sub>1</sub>) formuliert werden:

1. Beide Kohorten unterscheiden sich in den erhobenen Daten an einem und demselben Testtag.

2. Die erhobenen Daten der jeweiligen Kohorten unterscheiden sich im Verlauf der Testtage.

Bei einem p-Wert des T-Tests größer als 0,05 ( $p > 0,05$ ) wurde die Nullhypothese angenommen und von einer zufällig unterschiedlichen Verteilung des arithmetischen Mittels ausgegangen. Ergab allerdings der T-Test einen p-Wert kleiner oder gleich 0,05 ( $p \leq 0,05$ ), konnte die Nullhypothese verworfen und anstelle die Gegenhypothese angenommen werden.

### 2.9. Ausschluss des Parameters *Master Work Space Range* zur Analyse

Der Parameter *Master Work Space Range* beschreibt den Radius des realen vom Teilnehmer/Innen genutzten Arbeitsbereichs mit den Controllern. Dabei war eine einmalig zu hohe Distanz als Maximum vermerkt und konnte nicht mehr während einer Übung reduziert werden. Zum einen konnte beobachtet werden, dass zum Führen der Kamera hohe Distanzen entstehen können, die den Parameter hoch ausfallen lassen. Zum anderen war die Gewichtung des Parameters mit 3,23% am *Overall Score* sehr niedrig, so dass dieser nicht in die Auswertung miteinfluss.

### 3. Ergebnisse

#### 3.1. Analyse des zusammengeführten mittleren Overall Score aus den Übungen

##### *Match Board I-III & Ring & Rail I-II*

Eine Übersicht des mittleren *Overall Score* der Testtagen 1 bis 4 in den Gruppen wird durch Bildung des arithmetischen Mittels des mittleren *Overall Score* der Übungen *Match Board I-III* bzw. *Ring & Rail I-II* aufgezeigt.

#### 3.1.1 Tabellarische Darstellung des durchschnittlichen mittleren *Overall Score* aus den Übungen *Match Board I-III* und *Ring & Rail I-II* nach Testtagen

| Testtag | Gruppe | durchschnittlicher mittlerer <i>Overall Score</i> in % | Differenz in % | prozentuale Differenz in % |
|---------|--------|--|----------------|----------------------------|
| 1       | I      | 66,12  | -              | -                          |
|         | II     | 65,41  | -              | -                          |
| 2       | I      | 80,10  | <u>13,98</u>   | <b>17,45</b>               |
|         | II     | 74,73  | <u>8,72</u>    | <b>12,47</b>               |
| 3       | I      | 86,03  | <u>5,93</u>    | <b>6,89</b>                |
| 4       | I      | 89,38  | <u>3,35</u>    | <b>3,75</b>                |

Tabelle 5: Vergleich des durchschnittlichen mittleren Overall Score, der Differenz und der prozentualen Differenz nach Testtagen und Gruppen

In Gruppe I stieg der Anstieg des mittleren *Overall Score* am 2. Testtag im Mittel in allen Übungen um 17,45% (Tabelle 13) gegenüber einem Anstieg um 12,47% des durchschnittlichen mittleren *Overall Score* in Gruppe II. In Gruppe I zeigten die Probanden am 3. Testtag einen prozentualen Zuwachs um 6,89% und um 3,75% am 4.. Dies entspricht einem prozentualen Anstieg um 10,38% vom 2. auf den 4. Testtag. Insgesamt erreichte die Gruppe I nach 21 Tagen und drei weiteren Testtagen einen Anstieg des durchschnittlichen mittleren *Overall Score* um 26,02% (s. Tab. 5).

### 3.2 Analyse des mittleren *Overall Score*

Welchen *Overall Score* die Gruppe I (n=20) und Gruppe II (n=20) in den Übungen *Match Board I-III* bzw. *Ring & Rail I-II* im Durchlauf erreichten, wird im Folgenden aufgezeigt. Der *Overall Score* wird als arithmetisches Mittel aller drei Wiederholungen einer Übung an einem Testtag berechnet und unter dem Begriff mittlerer *Overall Score* benannt und grafisch im Gruppenvergleich illustriert. Die Ergebnisse der Gruppe I werden grafisch in blau, die der Gruppe II grafisch in Rot dargestellt. Umrahmt in einer tabellarischen Darstellung wird zusätzlich die Standardabweichung visualisiert. Die Signifikanz der Unterschiede des mittleren *Overall Score* zwischen Gruppe I und II werden in Form der p-Werte aufgelistet. In den Beschreibungen wird auf die prozentualen Entwicklungen eingegangen.

#### 3.2.1 Grafische und tabellarische Darstellung des mittleren *Overall Score* in der Übung *Match Board I*

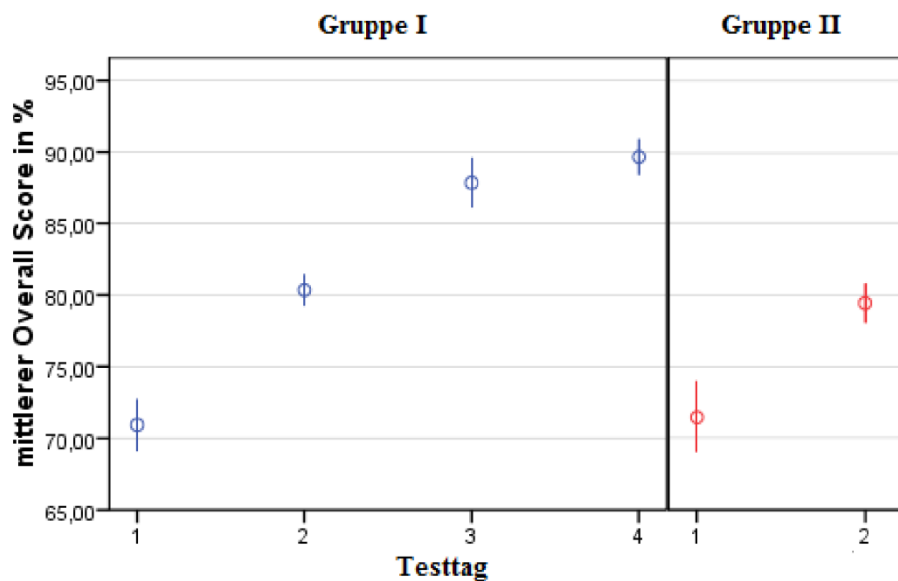


Abbildung 12: Vergleich des mittleren *Overall Score* in den Gruppen I und II nach Testtagen

## Ergebnisse

| Testtag | Gruppe | <i>mittlerer Overall Score</i> in % | Standardabweichung in % | Differenz zum Vortag in % | p-Wert   |
|---------|--------|-------------------------------------|-------------------------|---------------------------|----------|
| 1       | I      | 70,32                               | 10,20                   | -                         | p=0,506  |
|         | II     | 71,53                               | 9,78                    | -                         |          |
| 2       | I      | 82,15                               | 6,59                    | 11,83                     | p=0,041  |
|         | II     | 79,45                               | 7,69                    | 7,92                      |          |
| 3       | I      | 87,85                               | 6,63                    | 5,70                      | *p=0,000 |
| 4       | I      | 89,65                               | 4,86                    | 1,80                      | *p=0,000 |

\*Signifikanzniveau des dritten bzw. vierten Testtages der Gruppe I bezüglich des zweiten Testtages der Gruppe II  
Tabelle 6: Vergleich des mittleren *Overall Score*, der Standardabweichung, der Differenz des mittleren *Overall Score* zum Vortag und des p-Werts in den Gruppe I und II nach Testtagen

Die Abbildung 12 zeigt eine ansteigende Kurve des mittleren *Overall Score* mit abflachender Tendenz ab dem 3. Testtag in Gruppe I. Im Vergleich ergibt sich ein stärkerer Zuwachs um 14,4% in Gruppe I gegenüber 9,97% in Gruppe II. Am 3. Testtag stellte sich ein gedämpfter Anstieg des mittleren *Overall Score* um 6,49% und weiter abnehmend am 4. um 2,01% dar. Der gesamte Anstieg liegt in Gruppe I prozentual bei 21,56%. Im direkten Vergleich kann am 1. Testtag kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppe I und II bezüglich des mittleren *Overall Score* festgestellt werden. Am 2. Testtag ist der Unterschied signifikant ausgeprägt, ebenso am 3. und 4. Testtag (s. Abb. 12 / Tab. 6).

### 3.2.2 Grafische und tabellarische Darstellung des mittleren *Overall Score* der Übung *Match Board II*

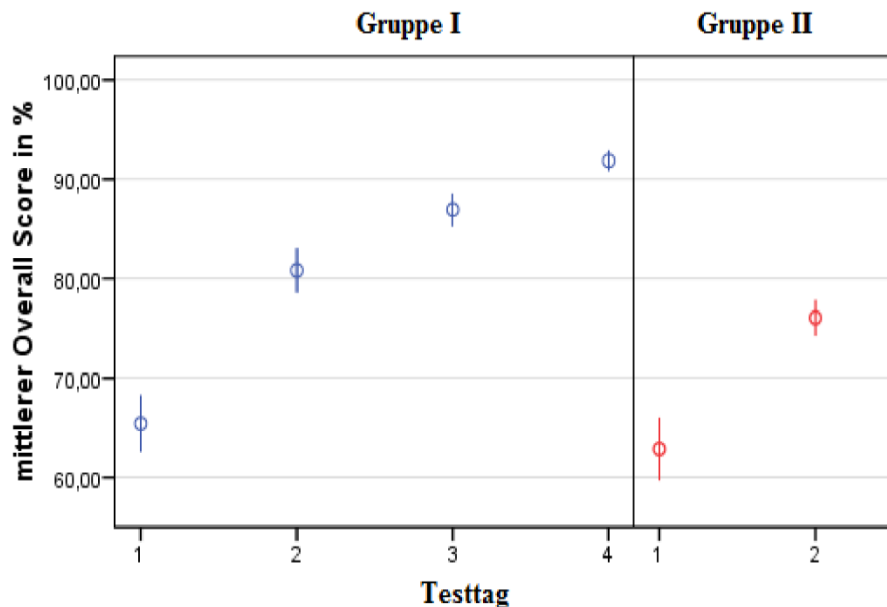


Abbildung 13: Vergleich des mittleren *Overall Score* in den Gruppen I und II nach Testtagen

| Testtag | Gruppe | <i>mittlerer Overall Score in %</i> | <i>Standardabweichung in %</i> | <i>Differenz zum Vortag in %</i> | <i>p-Wert</i> |
|---------|--------|-------------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|---------------|
| 1       | I      | 65,42                               | 10,93                          | -                                | p=0,229       |
|         | II     | 62,87                               | 12,14                          | -                                |               |
| 2       | I      | 80,83                               | 8,58                           | 15,41                            | p=0,006       |
|         | II     | 76,07                               | 10,00                          | 13,2                             |               |
| 3       | I      | 86,95                               | 6,27                           | 6,12                             | *p=0,000      |
| 4       | I      | 91,87                               | 3,93                           | 4,92                             | *p=0,000      |

\*Signifikanzniveau des dritten bzw. vierten Testtages der Gruppe I bezüglich des zweiten Testtages der Gruppe II

Tabelle 7: Vergleich des mittleren *Overall Score*, der Standardabweichung, der Differenz des mittleren *Overall Score* zum Vortag und des p-Werts in den Gruppe I und II nach Testtagen

Aus der Abbildung 13 geht eine kontinuierliche Zunahme des mittleren *Overall Score* in Gruppe I mit einem flacheren Kurvenverlauf ab dem 2. Testtag hervor. Vergleichend lag ein dezent stärkerer Zuwachs des mittleren *Overall Score* in Gruppe I um 19,06% gegenüber 17,35% in Gruppe II vor. Der Anstieg am 3. Testtag um 7,04% und 4. Testtag um 5,36% fällt kontinuierlich geringer aus. Insgesamt lag der prozentuale Progress des mittleren *Overall Score* in der Gruppe I bei 28,79%. Ein signifikanter Unterschied zeigte sich in den Gruppen bereits am 1. Testtag zugunsten der Gruppe I. Am 2. Testtag war ein

signifikanter Unterschied weiterhin darstellbar, so auch am 3. und 4. (s. Abb. 13 / Tab. 7).

3.2.3 Grafische und tabellarische Darstellung des mittleren *Overall Score* in der Übung *Match Board III*

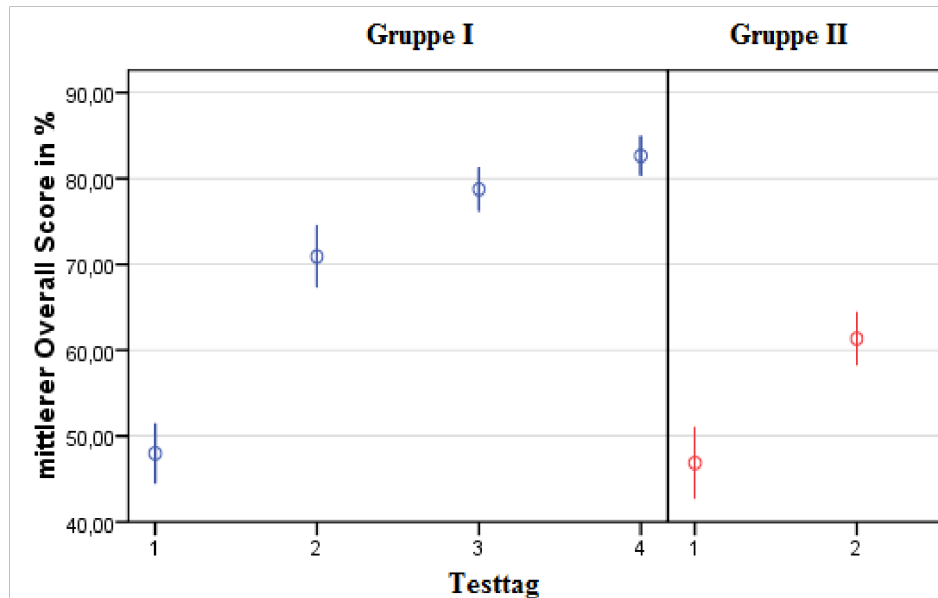


Abbildung 14: Vergleich des mittleren *Overall Score* in den Gruppen I und II nach Testtagen

| Testtag | Gruppe | <i>mittlerer Overall Score in %</i> | Standardabweichung in % | Differenz zum Vortag in % | p-Wert   |
|---------|--------|-------------------------------------|-------------------------|---------------------------|----------|
| 1       | I      | 47,97                               | 13,34                   | -                         | p=0,686  |
|         | II     | 46,87                               | 16,25                   | -                         |          |
| 2       | I      | 70,92                               | 13,70                   | 22,95                     | p=0,001  |
|         | II     | 61,35                               | 17,24                   | 14,48                     |          |
| 3       | I      | 78,75                               | 9,65                    | 7,83                      | *p=0,000 |
| 4       | I      | 82,65                               | 8,87                    | 3,90                      | *p=0,000 |

\*Signifikanzniveau des dritten bzw. vierten Testtages der Gruppe I bezüglich des zweiten Testtages der Gruppe II

Tabelle 8: Vergleich des mittleren *Overall Score*, der Standardabweichung, der Differenz des mittleren *Overall Score* zum Vortag und des p-Werts in den Gruppe I und II nach Testtagen

Aus der Grafik wird ersichtlich, dass der mittlere *Overall Score* am 1. Testtag in beiden Gruppen unter 50% lag und sich ein starker Zuwachs um 32,36% in Gruppe I und um 23,60% in Gruppe II am 2. Testtag verzeichnen ließ. Am 3. Testtag ist ein kontinuierlicher Anstieg in Gruppe I um 9,94%, ab dem 4. Testtag jedoch abnehmend um 4,72%. Der prozentuale Anstieg wurde insgesamt bei 41,96% in Gruppe I verzeichnet. Im Gruppenvergleich bestand am 1. Testtag kein Unterschied zwischen den Gruppen. Ab



dem 2. Testtag unterscheiden sich die Gruppen erstmalig signifikant, so auch am 3. und 4. Testtag (s. Abb. 14 / Tab. 8).

### 3.2.4 Grafische und tabellarische Darstellung des mittleren *Overall Score* in der Übung *Ring & Rail I*

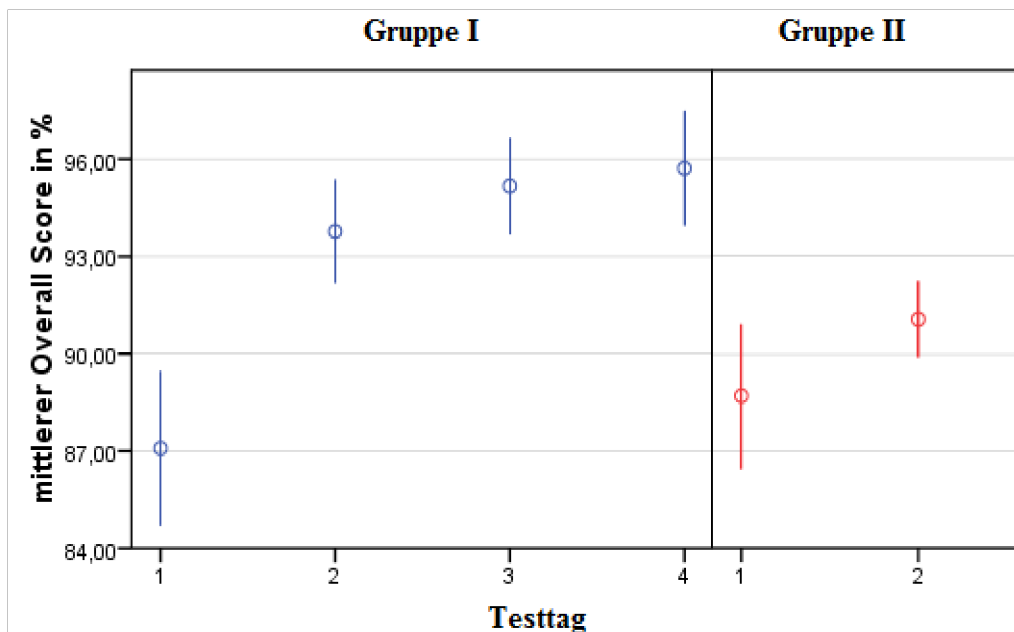


Abbildung 15: Vergleich des mittleren *Overall Score* in den Gruppe I und II nach Testtagen

| Testtag | Gruppe | <i>mittlerer Overall Score in %</i> | <i>Standardabweichung in %</i> | <i>Differenz zum Vortag in %</i> | <i>p-Wert</i> |
|---------|--------|-------------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|---------------|
| 1       | I      | 87,08                               | 9,19                           | -                                | p=0,328       |
|         | II     | 88,68                               | 8,65                           | -                                |               |
| 2       | I      | 93,77                               | 6,17                           | 6,69                             | p=0,020       |
|         | II     | 91,07                               | 6,41                           | 2,39                             |               |
| 3       | I      | 95,17                               | 5,76                           | 1,40                             | *p=0,000      |
| 4       | I      | 95,72                               | 6,83                           | 0,55                             | *p=0,000      |

\*Signifikanzniveau des dritten bzw. vierten Testtages der Gruppe I bezüglich des zweiten Testtages der Gruppe II

Tabelle 9: Vergleich des mittleren *Overall Score*, der Standardabweichung, der Differenz des mittleren *Overall Score* zum Vortag und des p-Werts in den Gruppe I und II nach Testtagen

Der Grafik ist zu entnehmen, dass die Teilnehmer/Innen der Studie am 1. Testtag bereits in beiden Gruppen >85% erreichen. Die folgenden Testtage zeigten nur einen dezenten Anstieg des mittleren *Overall Score*, am 2. Testtag um 7,13% in Gruppe I und um 2,62% in Gruppe II. Im Verlauf stagnierte die Kurve ab dem 3. Testtag mit einem Anstieg um 1,47% und um 0,57% am 4.. Der gesamte prozentuale Zuwachs bis zum letzten Testtag beträgt 9,03% bei einem abschließenden mittleren *Overall Score* von >95% in Gruppe I

und >91% in Gruppe II. Am 1. Testtag verzeichnete sich bereits ein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen, ebenso am 2., 3. und 4. Testtag (s. Abb. 15 / Tab. 9).

3.2.5 Grafische und tabellarische Darstellung des mittleren *Overall Score* in der Übung *Ring & Rail II*

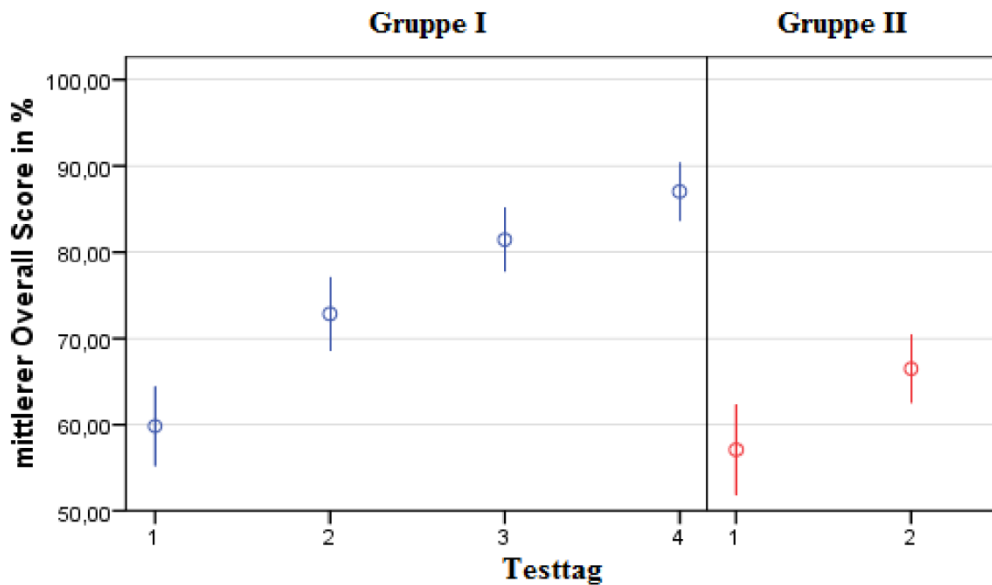


Abbildung 16: Vergleich des mittleren *Overall Score* in den Gruppe I und II nach Testtagen

| Testtag | Gruppe | mittlerer Overall Score in % | Standardabweichung in % | Differenz zum Vortag in % | p-Wert   |
|---------|--------|------------------------------|-------------------------|---------------------------|----------|
| 1       | I      | 59,82                        | 17,78                   | -                         | p=0,434  |
|         | II     | 57,08                        | 20,24                   | -                         |          |
| 2       | I      | 72,82                        | 16,46                   | 13,00                     | p=0,027  |
|         | II     | 65,73                        | 18,18                   | 8,65                      |          |
| 3       | I      | 81,43                        | 14,35                   | 8,61                      | *p=0,000 |
| 4       | I      | 87,00                        | 13,07                   | 5,57                      | *p=0,000 |

\*Signifikanzniveau des dritten bzw. vierten Testtages der Gruppe I bezüglich des zweiten Testtages der Gruppe II

Tabelle 10: Vergleich des mittleren *Overall Score*, der Standardabweichung, der Differenz des mittleren *Overall Score* zum Vortag und des p-Werts in den Gruppe I und II nach Testtagen

Die Abbildung 16 stellt einen kontinuierlichen, annähernd linearen Anstieg des mittleren *Overall Score* in Gruppe I dar. Im Vergleich verzeichnete Gruppe I einen Progress um 17,85% und Gruppe II um 13,16% am 2. Testtag. Eine weitere Zunahme des mittleren *Overall Score* konnte am 3. Testtag um 10,57% und am 4. um 6,40% in Gruppe I dargestellt werden. Am 1. Testtag betrug der mittlere *Overall Score* in Gruppe I >59% und

## **Ergebnisse**

nahm bis >85% am 4. Testtag zu. Dies entspricht einem gesamten prozentualen Zuwachs von 31,24% in Gruppe I. Gruppe II erreichte einen mittleren *Overall Score* von >57% am 1. und beendete die Übung mit >65% mittleren *Overall Score* am 2. Testtag. Die beiden Probandengruppen unterscheiden sich ab dem ersten Testtag bereits signifikant bezüglich des *Overall Score* (s. Abb. 16 / Tab. 10).

3.2.6 Tabellarische Darstellung des durchschnittlichen *Overall Score* der Gruppe I in den Übungen *Match Board I-III* bzw. *Ring & Rail I-II*

| Versuch | <i>Overall Score in %</i> |                |                 |               |                |                                   |                          |
|---------|---------------------------|----------------|-----------------|---------------|----------------|-----------------------------------|--------------------------|
|         | Match Board I             | Match Board II | Match Board III | Ring & Rail I | Ring & Rail II | <i>Overall Score</i> Durchschnitt | Differenz zum Vorversuch |
| 1       | 63,40                     | 58,00          | 41,30           | 83,85 *       | 52,25          | <b>59,76</b>                      | -                        |
| 2       | 73,15                     | 68,60          | 48,90           | 87,80         | 59,75          | <b>67,64</b>                      | 7,88***                  |
| 3       | 74,40                     | 69,65          | 53,70           | 89,60         | 67,45          | <b>70,96</b>                      | 3,32***                  |
| 4       | 79,95                     | 77,90          | 66,70           | 92,30         | 70,95          | <b>77,56</b>                      | <u>6,6***</u>            |
| 5       | 83,20 *                   | 80,70 *        | 69,30           | 93,60         | 71,95          | <b>79,75</b>                      | 2,19                     |
| 6       | 83,30                     | 83,90          | 76,75           | 94,85         | 75,55          | <b>82,87 *</b>                    | 3,12***                  |
| 7       | 86,90                     | 86,00          | 74,95           | 94,45 **      | 79,35          | <b>84,33</b>                      | <u>1,46</u>              |
| 8       | 88,15                     | 87,60          | 79,90           | 95,40         | 82,20 *        | <b>86,65</b>                      | 2,32                     |
| 9       | 88,50                     | 87,25 **       | 81,40 *         | 95,65         | 82,75          | <b>87,11</b>                      | 2,32                     |
| 10      | 88,40                     | 90,55          | 80,75 **        | 95,35 **      | 86,35          | <b>88,28</b>                      | 1,17                     |
| 11      | 90,55                     | 92,05          | 81,10           | 95,45         | 88,90          | <b>89,61</b>                      | 1,33                     |
| 12      | 90,00 **                  | 93,00          | 86,10           | 96,35         | 85,75 **       | <b>90,24</b>                      | 0,63                     |

\* markiert den ersten erreichten durchschnittlichen *Overall Score* >80%

\*\* Abnahme der *Overall Score* im Vergleich zum Vorversuch

\*\*\* entspricht > 3% *Overall Score* Differenz zum Vorversuch

Tabelle 11: Auflistung des *Overall Score* nach Übungen *Match Board I-III* bzw. *Ring & Rail I-II* in der Gruppe I nach Versuchen

Aus der Tabelle geht ein stetiger Anstieg des Durchschnittswertes hervor. Der prozentuale Zuwachs des durchschnittlichen *Overall Score* lag von der 1. auf die 3. Wiederholung bei 15,78%, von der 4. bis zur 6. Wiederholung halbierte sich der prozentuale Anstieg auf 6,41%. Ab dem 3. Testtag, entsprechender 7. bis 9. Wiederholung sank die prozentuale

## Ergebnisse

Zunahme des durchschnittlichen *Overall Score* auf 3,19% und von der 10. bis zur 12. Wiederholung auf 2,17%. Bei der Betrachtung der prozentualen Veränderungen des durchschnittlichen *Overall Score* der 3. und 4. Wiederholung kann ein prozentualer Anstieg aus der Tabelle um 8,51% konstatiert werden. Die prozentuale Zunahme von der 6. auf die 7. Wiederholung betrug 1,73% und blieb damit reduziert, sowie konstant bei 1,33% von der 9. auf die 10. Wiederholung (s. Tab. 11).

### 3.2.7 Tabellarische Darstellung des durchschnittlichen *Overall Score* in der Gruppe II in den Übungen *Match Board I-II* bzw. *Ring & Rail I-II*

| Versuch | Overall Score in % |                |                 |               |                |                            |                          |
|---------|--------------------|----------------|-----------------|---------------|----------------|----------------------------|--------------------------|
|         | Match Board I      | Match Board II | Match Board III | Ring & Rail I | Ring & Rail II | Overall Score Durchschnitt | Differenz zum Vorversuch |
| 1       | 67,05              | 58,00          | 38,25           | 86,40 *       | 48,10          | 59,56                      | -                        |
| 2       | 70,75              | 63,95          | 48,75           | 89,35         | 56,90          | 65,94                      | 6,38***                  |
| 3       | 76,80              | 67,95          | 53,60           | 90,30         | 66,25          | 70,98                      | 5,04***                  |
| 4       | 75,70 **           | 70,85          | 54,10           | 89,65 **      | 62,50 **       | 70,56                      | <u>-0,42</u>             |
| 5       | 80,75 *            | 76,75          | 63,75           | 91,30         | 66,00          | 75,71                      | 5,15***                  |
| 6       | 91,90              | 80,60 *        | 66,20           | 92,25         | 68,70          | 79,93                      | 4,22***                  |

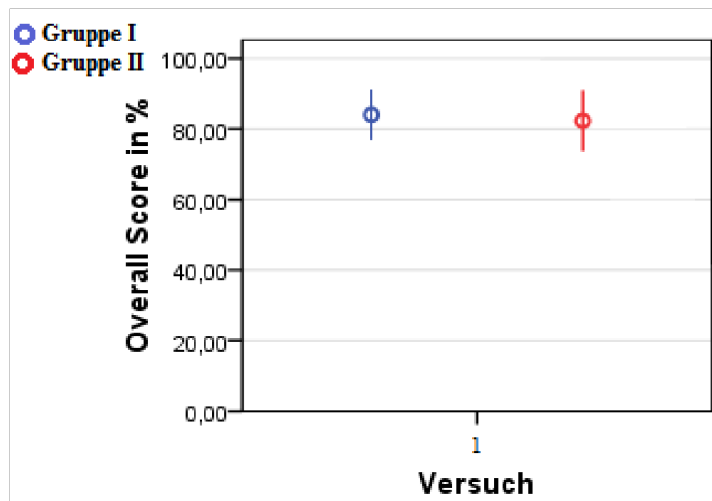
\* markiert den ersten erreichten durchschnittlichen *Overall Score* > 80%

\*\* Abnahme der *Overall Score* im Vergleich zum Vorversuch

\*\*\* entspricht > 3% *Overall Score* Differenz zum Vorversuch

Tabelle 12: Auflistung des *Overall Score* der Übungen *Match Board I-III* bzw. *Ring & Rail I-II* in der Gruppe II nach Versuchen

Aus der tabellarischen Darstellung geht eine Zunahme des durchschnittlichen *Overall Score* bis zur 3. und ab der 5. Wiederholung hervor. Vom 3. auf den 4. Testtag bestand ein dezenter Rückgang des durchschnittlichen *Overall Score* um prozentuale -0,47%. Von der 1. bis 3. wird ein prozentualer Anstieg um 16,09% des durchschnittlichen *Overall Score* verzeichnet, sowie in der 4. bis 6. Wiederholung um 11,72% (s. Tab. 12).

3.2.8 Grafische und tabellarische Darstellung des *Overall Score* der Abschlussübung*Needle Control*Abbildung 17: Darstellung des *Overall Score* der Übung *Needle Control* in Gruppe I und II

| Gruppe | Overall Score | Standardabweichung | p-Wert |
|--------|---------------|--------------------|--------|
| I      | 84,10         | 15,06              | 0,744  |
| II     | 82,35         | 18,41              |        |

Tabelle 13: Vergleich des *Overall Score* mit Standardabweichung p-Wert der Übung *Needle Control* in Gruppe I und II

Im Vergleich stellte sich keine signifikante Überlegenheit der Gruppe I gegenüber der Gruppe II dar (s. Tab. 13).

3.3. Versuch einer Einteilung der Übungen *Match Board I-III & Ring & Rail I-II* nach Schweregrad

3.3.1 Tabellarische Einteilung der Übungen *Match Board I-III & Ring & Rail I-II* nach *Overall Score*

Für die Abschätzung des Schweregrads einer Übung wurde der evaluierte mittlere *Overall Score* des 1. Testtages hinzugezogen, der den Anforderungsrahmen für die Probanden näherungsweise beschreiben konnte. Unter Einbeziehung der *Overall Score* Ergebnisse aus den Analysen von 3.1.1 bis 3.1.5 konnte eine Einteilung der Übungen in der Reihenfolge des entsprechenden Schweregrads folgendermaßen aufgestellt werden.

| Schweregrad        | Übung                                      |
|--------------------|--|
| <i>sehr leicht</i> | <i>Ring &amp; Rail I</i>                   |
| <i>leicht</i>      | <i>Match Board I</i>                       |
| <i>mittel</i>      | <i>Match Board II</i>                      |
| <i>schwer</i>      | <i>Match Board III, Ring &amp; Rail II</i> |

Tabelle 14: Darstellung der Übungen nach Schweregrad

Legende: ■ *schwer*    ■ *mittel*    ■ *leicht*    ■ *sehr leicht*

3.3.2 Grafische und tabellarische Gegenüberstellung der Wiederholungen 6 und 12 der Gruppe I und II in den Übungen *Match Board I-III* und *Ring & Rail I & II*

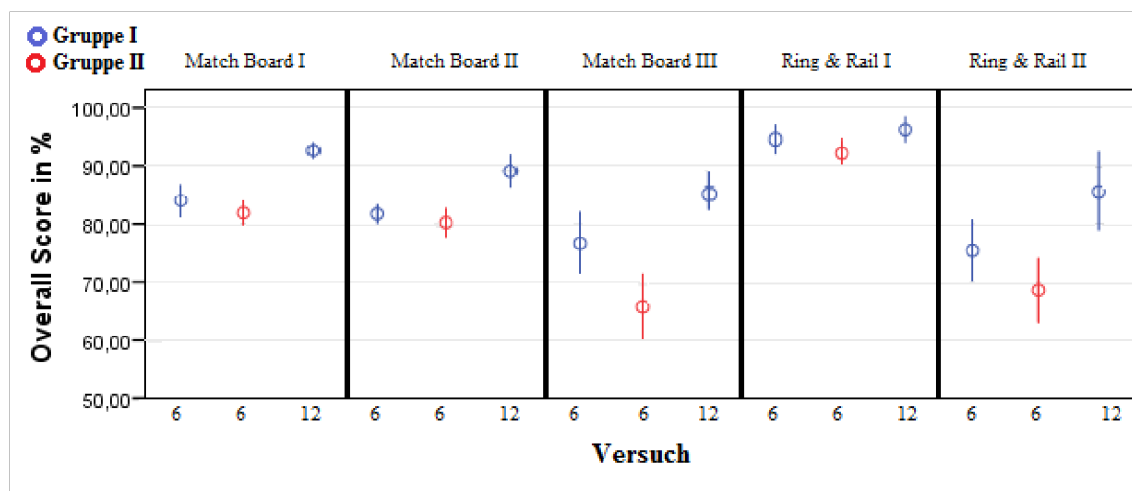


Abbildung 18: Vergleich des *Overall Score* des 6. Versuchs der Gruppe I und II, sowie des 12. Versuches der Gruppe I in den Übungen *Match Board I, II, III, Ring & Rail I* und *II*

| Übung         | Wiederholung | Match Board I   | Match Board II | Match Board III | Ring & Rail I  | Ring & Rail II  |
|---------------|--------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|
| I             | 6            | 83,90%          | 82,37%         | 76,75%          | 94,85%         | 75,55%          |
| II            | 6            | 81,90%          | 80,60%         | 66,20%          | 92,25%         | 68,70%          |
| $\Delta$ I/II | 6/6          | $\Delta$ 2,00%  | $\Delta$ 1,77% | $\Delta$ 10,55% | $\Delta$ 2,60% | $\Delta$ 6,85%  |
| I             | 12           | 93,00%          | 90,00%         | 86,10%          | 96,35%         | 85,75%          |
| $\Delta$ I/II | 12/6         | $\Delta$ 11,10% | $\Delta$ 9,40% | $\Delta$ 19,90% | $\Delta$ 4,10% | $\Delta$ 17,05% |

Tabelle 15: Vergleich des Overall Score des 6. Versuchs der Gruppe I und II, sowie des 12. Versuches der Gruppe I in den Übungen *Match Board I, II, III, Ring & Rail I* und *II*

Die 6. Wiederholung, synonym verwendet als 6. Versuch, entsprach der abschließenden Wiederholung der Gruppe II und beschrieb das Niveau des *Overall Score* der Probanden nach 21 Tagen Trainingspause. Diesem wurden die 6. und 12. Wiederholungen der Gruppe I gegenübergestellt. Die 12. Wiederholung visualisierte den abschließenden *Overall Score* in Gruppe I nach abschließenden zwei weiteren Testtagen. Hieraus sollten auch Rückschlüsse auf die Anforderungs- bzw. Schweregrade der Übungen, eingestuft in *sehr leicht*, *leicht*, *mittel* und *schwer*, gezogen werden können (s. Tab. 10). Aus der Grafik wird ersichtlich, dass grundsätzlich unabhängig von Wiederholung und Übung Gruppe I



der Gruppe II im *Overall Score* überlegen war. Des Weiteren geht hervor, dass der *Overall Score* der 12. Wiederholungen in Gruppe I die 6. Wiederholungen in allen Übungen überragte. Der Tabelle 11 ist zu entnehmen, dass der größte Abstand sich in Übung *Match Board III* und der kleinste in Übung *Match Board II* zwischen den beiden Gruppen in der 6. Wiederholung. Die größte Differenz liegt in der 12. Wiederholung bei Übung *Match Board III*. Ersichtlich wird, dass in Übung *Match Bord I, II, III* sowie *Ring & Rail II* die Differenz im Vergleich zur 6. Wiederholung nochmals erhöhte. Hingegen war in der Übung *Ring & Rail I* kaum ein Unterschied zur 6. Wiederholung der Gruppe II zu erkennen. (s. Abb. 17 / s. Tab. 15)

3.3.3 Tabellarische Darstellung des *Overall Score* in hierarchischer Anordnung in Gruppe I und II nach den Wiederholungen 6 und 12

| Wiederholung<br>(in Gruppe I bzw. II) | <u>Hierarchie des erreichten <i>Overall Score</i></u>  |
|---------------------------------------|--|
| 6. (I)                                | <i>Ring &amp; Rail I</i> > <i>Match Board I</i> > <i>Match Board II</i> > <i>Match Board III</i> > <i>Ring &amp; Rail II</i> |
| 12. (I)                               | <i>Ring &amp; Rail I</i> > <i>Match Board I</i> > <i>Match Board II</i> > <i>Match Board III</i> > <i>Ring &amp; Rail II</i> |
| 6. (II) vs. 6. (I)                    | <i>Match Board III</i> > <i>Ring &amp; Rail II</i> > <i>Ring &amp; Rail I</i> > <i>Match Board I</i> > <i>Match Board II</i> |
| 6. (II) vs. 12. (I)                   | <i>Ring &amp; Rail II</i> > <i>Match Board III</i> > <i>Match Board I</i> > <i>Match Board II</i> > <i>Ring &amp; Rail I</i> |

Tabelle 16: Vergleich und hierarchische Darstellung des *Overall Score* der 6. und 12. Wiederholungen in Gruppe I und II

■ *schwer*      ■ *mittel*      ■ *leicht*      ■ *sehr leicht*

Die Analyse erfolgt auf Grundlage der Schweregradeinteilung aus Abschnitt 3.2.1. Aus Tabelle 16 konnte eine Rangfolge der Übungen gemessen an der Höhe des *Overall Score* in Gruppe I in den Wiederholungen 6 und 12 aufgestellt und in Tabelle 12 visualisiert werden. Diese konnte wie folgt, beginnend mit dem größten gemessenen *Overall Score* eruiert werden: *Ring & Rail I* > *Match Board I* > *Match Board II* > *Match Board III* > *Ring & Rail II*. In Gruppe II stellte sich bis auf einen höheren *Overall Score* in *Ring & Rail II* als in *Match Board III* die gleiche Rangfolge in der 6. Wiederholung dar. Die Rangfolge der Differenzen des *Overall Score* in der 6. Wiederholung zwischen beiden Gruppen zeigte folgende Reihenfolge, beginnend mit dem höchsten *Overall Score*: *Match Board III* > *Ring & Rail II* > *Ring & Rail I* > *Match Board I* > *Match Board II*. Auch die Rangfolge der Differenzen des *Overall Score* von der 12. Wiederholungen der Gruppe I gemessen an den 6. Wiederholungen der Gruppe II präsentierte folgendes Bild: *Ring &*

*Rail II > Match Board III > Match Board I > Match Board II > Ring & Rail I.* Im Ergebnis konnte sich die Einteilung aus 3.1.6, die auf Grundlage des mittlerem *Overall Score* des 1. Testtages basierte, den Wiederholungen bedingt in Gruppe I und bzw. gegenüber Gruppe II bestätigen (s. Abb. 17 / Tab. 15 / 16).

3.4 Analyse des *Overall Score* nach Wiederholungen in den Übungen *Match Board I-III, Ring & Rail I-II* bzw. *Needle Control*

Eine Analyse des *Overall Score* in den Übungen anhand der Wiederholungen illustrierte den Lernkurvenverlauf der Probanden an und zwischen den Testtagen. Hieraus ergaben sich Informationen zum Trainingseffekt durch das dreimalige unmittelbare Wiederholen der Übung und Aufschluss über die prozentuale Entwicklung des *Overall Score* zwischen der letzten Wiederholung eines Testtages und der ersten des folgenden Tages.

3.4.1 Grafische und tabellarische des *Overall Score* in der Übung *Match Board I* und *Needle Control* nach Versuche

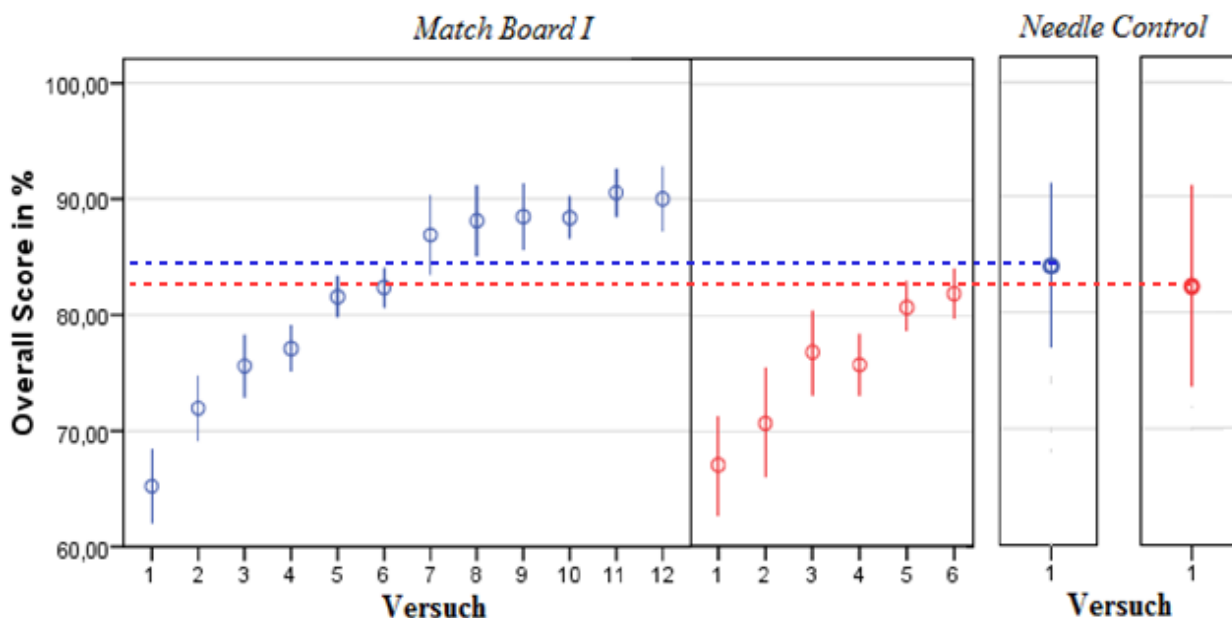


Abbildung 19: Vergleich des *Overall Score* der Übung *Match Board I* und *Needle Control* nach Versuchen in den Gruppen I und II

## Ergebnisse

| Gruppe    | <i>Overall Score in Needle Control in %</i> | <i>Overall Score in % / Versuch in Match Board I</i> | <i>Absolute Differenz des Overall Score* in %</i> |
|-----------|---|--|---|
| <b>I</b>  | 84,10                                       | <b>83,30 / 6.</b>                                    | 0,80  |
| <b>II</b> | 82,35                                       | <b>81,90 / 6.</b>                                    | 0,45  |

\*absolute Differenz des *Overall Score* zwischen der Übung *Needle Control* und dem 6. Versuch der Übung *Match Board I*

Tabelle 17: Vergleich und Annäherungswert des *Overall Score* an den Versuchen der Übung *Needle Control* und der absoluten Differenz in den Gruppen I und II

Der Abbildung 19 ist ein kurvenförmiger Verlauf mit Stufenbildung zwischen der 6. und 7. Wiederholung in Gruppe I zu entnehmen. Die Krümmung der Kurve nahm in Gruppe I ab der 7. Wiederholung ab. Ab der 5. Wiederholung lagen alle *Overall Score* über 80% in Gruppe I. In Gruppe II ließ sich ein konkavförmiger Verlauf der Kurve bis zur 3. Wiederholung aufzeigen, infolge mit einer Abnahme des *Overall Score* am 4. Testtag und erneutem konvexförmigen Anstieg. Ab der 5. Wiederholung lagen die *Overall Score* in Gruppe II über 80%. Darüber hinaus ist aus der Grafik zu entnehmen, dass in Gruppe I und Gruppe II die erste Annäherung der *Overall Score* gegenüber der Übung *Needle Control*, in beiden Gruppen <1%, in der 6. Wiederholung eintritt (s. Abb. 19 / Tab. 17).

3.4.2 Grafische und tabellarische Darstellung des *Overall Score* in der Übung *Match Board II* und *Needle Control* nach Versuchen

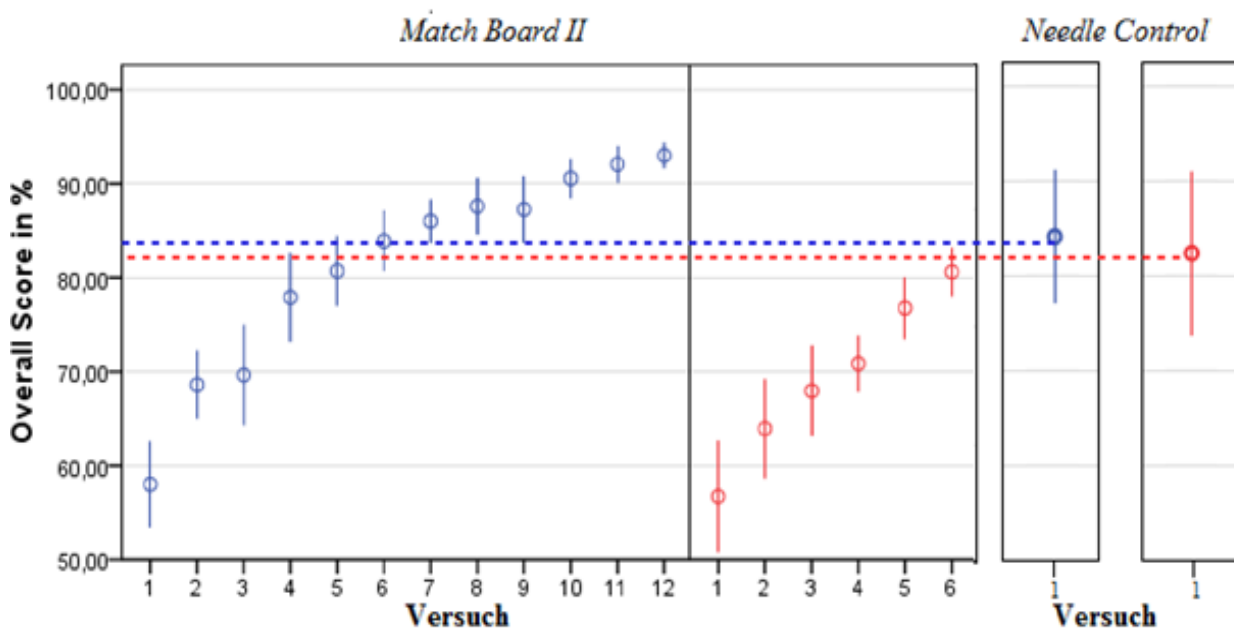


Abbildung 20: Vergleich des *Overall Score* der Übung *Match Board II* und *Needle Control* nach Wiederholungen in den Gruppen I und II

| Gruppe | <i>Overall Score in Needle Control in %</i> | <i>Overall Score in % / Versuch in Match II</i> | <i>Absolute Differenz des Overall Score in %*</i> |
|--------|---|---|---|
| I      | 84,10                                       | 83,90 / 6.                                      | 0,10  |
| II     | 82,35                                       | 80,60 / 6.                                      | 1,75  |

\*absolute Differenz des *Overall Score* zwischen der Übung *Needle Control* und dem 6. Versuch der Übung *Match Board I*

Tabelle 18: Vergleich und Annäherungswert des *Overall Score* und der absoluten Differenz in den Gruppen I und II

Der Abbildung 20 ist ein kontinuierlich ansteigender Kurvenverlauf des *Overall Score* in der Gruppe I zu entnehmen. Hierbei lässt sich ein Anstieg in der 4. Wiederholung beschreiben, nach Stagnation des *Overall Score* in der 9. Wiederholung und einem erneuten Anstieg in der 10. Wiederholung nach 7 Tagen Übungspause. Erstmals wurden in der 5. Wiederholung >80% *Overall Score* erreicht. In Gruppe II kann ein annähernd linear ansteigender Kurvenverlauf des *Overall Score* abgelesen werden. In der 6. Wiederholung konnten die Probanden >80% erreichen. Die Grafik illustriert die Annäherung des *Overall Score* von < 1% in Gruppe I und < 2% in Gruppe II in der 6. Wiederholung der Übung *Match Board II* an der Wiederholung der Übung *Needle Control* (s. Abb. 20 / Tab. 18).

3.4.3 Grafische und tabellarische Darstellung des *Overall Score* in der Übung *Match Board III* und *Needle Control* nach Versuchen

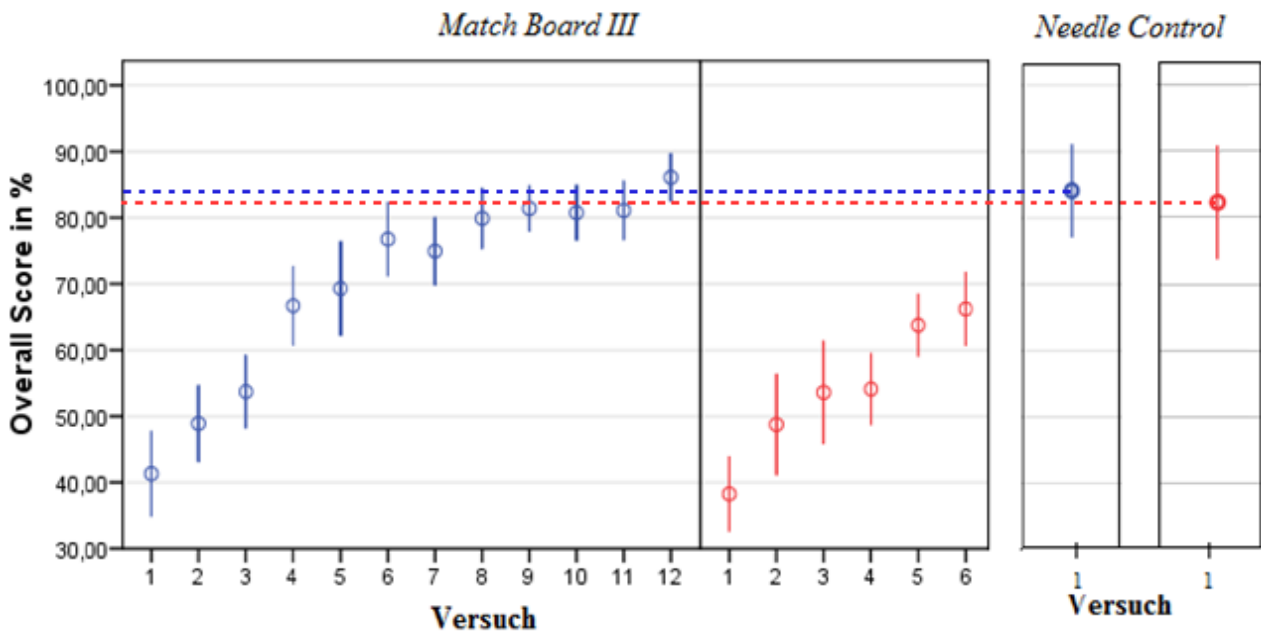


Abbildung 21: Vergleich des *Overall Score* der Übung *Match Board II* und *Needle Control* nach Wiederholungen in den Gruppen I und II

| Gruppe | <i>Overall Score</i> in <i>Needle Control</i> in % | <i>Overall Score</i> in % / Versuch in <i>Match III</i> | Absolute Differenz des <i>Overall Score</i> in %* |
|--------|--|---|---|
| I      | 84,10  | 86,10 / 12.   | 2,00  |
| II     | 82,35  | 66,20 / 6.  | 16,15   |

\*absolute Differenz des *Overall Score* zwischen der Übung *Needle Control* und dem 6. bzw. 12. Versuch der Übung *Match Board II*

Tabelle 19: Vergleich und Annäherungswert des *Overall Score* und der absoluten Differenz in den Gruppen I und II

Die Abbildung 21 gibt Auskunft über einen konvex-konkav-konvex-konkaven Kurvenverlauf des *Overall Score* in Gruppe I. Neben einem steilen Zuwachs in der 4. Wiederholung verbildlicht sich erstmals ein *Overall Score* > 80% in der 9. Wiederholung mit einer leichten Reduktion in der 10. In der Gruppe II kann ein starker Anstieg des *Overall Score* in der 2. und 5. Wiederholung illustriert werden sowie eine Stagnation am 4. Testtag, welche sich zwischen den bogenförmig-konvex projizierten Testtagen darstellt. Aus der Grafik geht ebenso hervor, dass in Gruppe I die 12. Wiederholung als Annäherungswert mit 2% zum Versuch in Übung *Needle Control* bestimmt werden kann. Als annähernd äquivalenter Abstand mit <17% des *Overall Score* kann die 6. Wiederholung in Gruppe II hervorgehoben werden s. (Abb. 21 / Tab. 19).

3.4.4 Grafische und tabellarische Darstellung des *Overall Score* in der Übung *Ring & Rail I* und *Needle Control* nach Versuchen

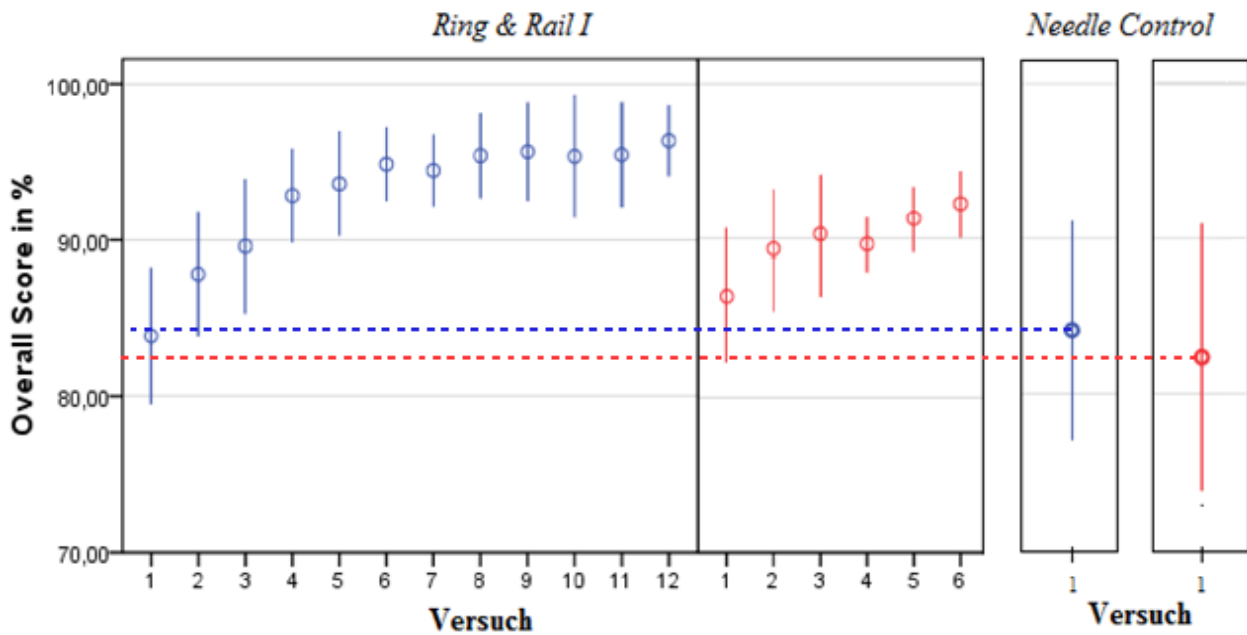


Abbildung 22: Vergleich des *Overall Score* der Übung *Ring & Rail I* und *Needle Control* nach Versuchen in den Gruppen I und II

| Gruppe | <i>Overall Score in Needle Control in %</i> | <i>Overall Score in %/Versuch in Ring &amp; Rail I</i> | <i>Absolute Differenz des Overall Score in %*</i> |
|--------|---|--|---|
| I      | 84,10                                       | 83,85 / 1.   | 0,25  |
| II     | 82,35                                       | 86,40 / 1.   | 4,05  |

\*absolute Differenz des *Overall Score* zwischen der Übung *Needle Control* und dem 1. Versuch der Übung *Ring & Rail I*

Tabelle 20: Vergleich und Annäherungswert des *Overall Score* und der absoluten Differenz in den Gruppen I und II

Die Abbildung 22 der Übung *Ring & Rail I* zeigt in Gruppe I einen ansteigenden Kurvenverlauf des *Overall Score* unter Abnahme in der 4. und stagnierender Tendenz ab der 6. Wiederholung. Über 80% werden bereits in der 1. Wiederholung erreicht, ebenso in Gruppe II. Der Kurvenverlauf des *Overall Score* in Gruppe II beschreibt einen zweiphasigen Anstieg des *Overall Score* am 1. und 2. Testtag unter Reduktion im 4. Wiederholung (Tab. 20). Die Grafik illustriert eine Annäherung des *Overall Score* der Gruppe I bzw. II in der Übung *Ring & Rail I* an den *Overall Score* des Versuchs der Übung *Needle Control* in der 1. Wiederholung mit <1% bzw. <5% des *Overall Score* (s. Abb. 22 / Tab. 20).

3.4.5 Grafische und tabellarische Darstellung des *Overall Score* in der Übung *Ring & Rail II* und *Needle Control* nach Versuchen

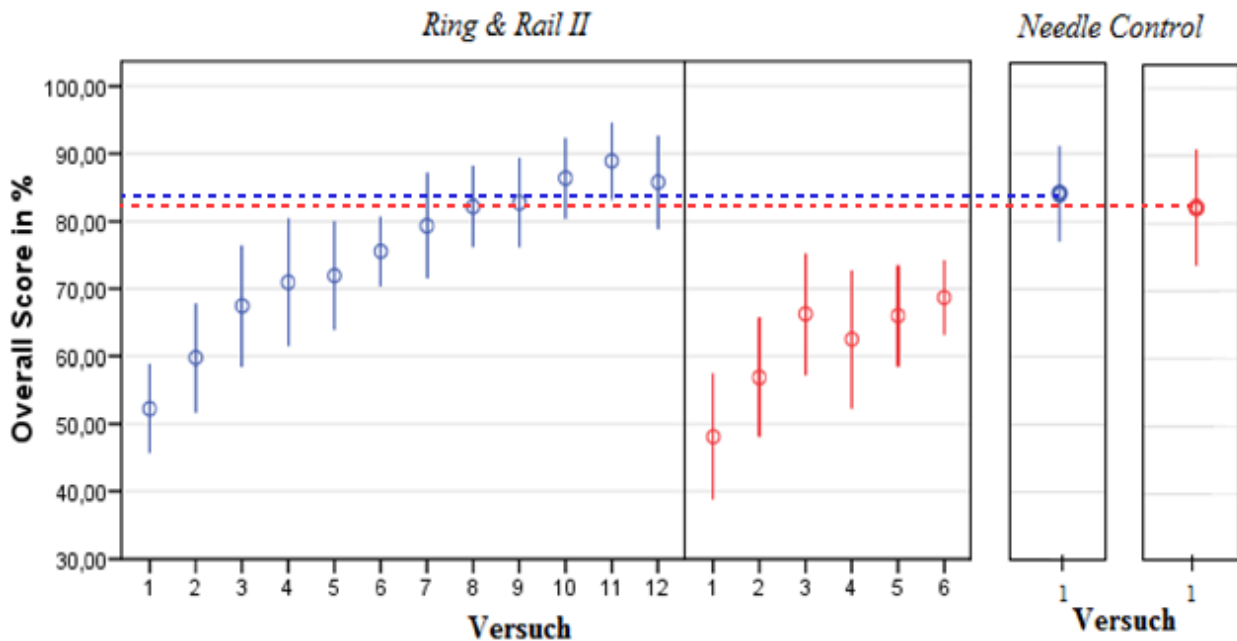


Abbildung 23: Vergleich des *Overall Score* der Übung *Ring & Rail II* nach Versuchen in den Gruppen I und II

| Gruppe | <i>Overall Score in Needle Control in %</i> | <i>Overall Score in % / Versuch in Ring &amp; Rail II</i> | <i>Absolute Differenz des Overall Score in %*</i> |
|--------|---|---|---|
| I      | 84,10                                       | 82,75 / 9.  | 1,35  |
| II     | 82,35                                       | 68,7 / 6.   | 13,65   |

\*absolute Differenz des *Overall Score* zwischen der Übung *Needle Control* und dem 9. bzw. 6. Versuch der Übung *Ring & Rail II*

Tabelle 21: Vergleich und Annäherungswert des *Overall Score* und der absoluten Differenz in den Gruppen I und II

Die Abbildung 23 illustriert, dass Gruppe I einen kontinuierlichen Anstieg des *Overall Score* bis zur 8. Wiederholung mit > 80% präsentierte, sowie im Folgenden die Kurve bis zur 11. Wiederholung weiter ansteigt. Der Kurvenverlauf in Gruppe II verbildlicht einen Anstieg des *Overall Score* am 1. Testtag. Eine Reduktion des *Overall Score* kann nach 21 Tagen Übungspause in der 4. Wiederholung verzeichnet werden unter erneutem, aber kleinerem Zuwachs des *Overall Score* als am 1. Testtag. Weiterhin ist aus der Abbildung ersichtlich, dass in der 9. Wiederholung die erste Annäherung des *Overall Score* an den Versuch der Übung *Needle Control* mit < 2% stattfindet. Die Gruppe II könnte lediglich

in der 6. Wiederholung einen annähernd äquivalenten *Overall Score* mit einem Abstand von < 14% aufzeigen (s. Abb. 23 / Tab. 21).

### 3.5 Analyse des Parameters *Time to complete Exercise*

Die Analyse der *Time to complete Exercise* beschäftigt sich mit der Fragestellung einer Reduktion an benötigter Zeit (sek.) bis zum Abschließen der Übungen. Es wurde das arithmetische Mittel aus drei Wiederholungen eines Testtages gebildet und im Folgenden als mittlere *Time to complete Exercise* bezeichnet. Das arithmetische Mittel der Übungen *Match Board I-III* und *Ring & Rail I-II* wird grafisch, sowie tabellarisch dargestellt. In den Beschreibungen wird auf die prozentualen Entwicklungen eingegangen.

#### 3.5.1 Grafische und tabellarische Darstellung der Übung *Match Board I* für den Parameter mittlere *Time to complete Exercise*

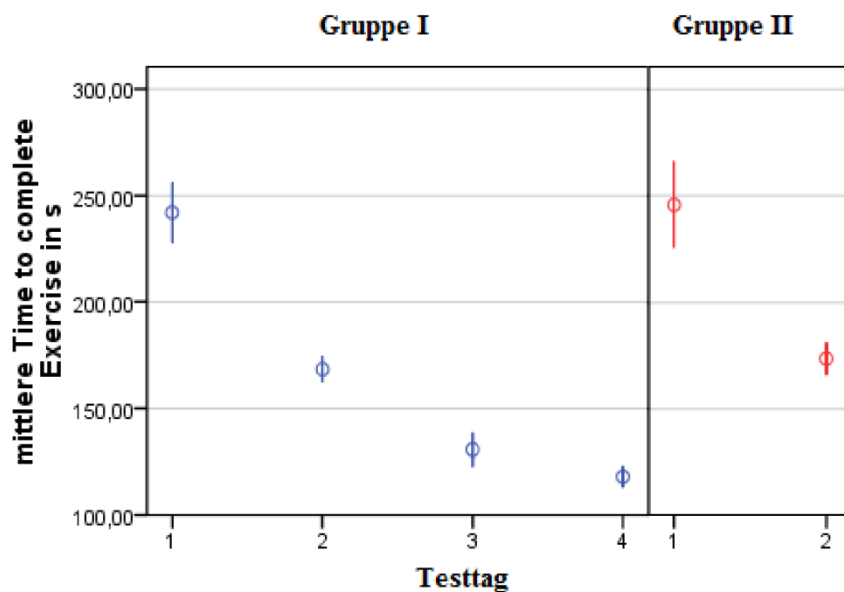


Abbildung 24: Vergleich der mittleren *Time to complete Exercise* der Übung *Match Board I* nach Testtagen in Gruppe I und II



## Ergebnisse

| Testtag | Gruppe | mittlere <i>Time to complete Exercise</i> in s | Standardabweichung in s | Differenz zum Vortag in s | p-Wert   |
|---------|--------|--|-------------------------|---------------------------|----------|
| 1       | I      | 238,43   | 78,35                   | -                         | p=0,610  |
|         | II     | 245,67   | 76,58                   | -                         |          |
| 2       | I      | 158,62   | 34,48                   | 79,81                     | p=0,035  |
|         | II     | 173,43   | 41,35                   | 72,24                     |          |
| 3       | I      | 130,68   | 29,90                   | 27,94                     | p=0,000* |
| 4       | I      | 118,07   | 18,99                   | 12,61                     | p=0,000* |

\*T-Test entspricht dem Vergleich der mittleren *Time to complete Exercise* der Gruppe I mit dem 2. Testtag der Gruppe II

Tabelle 22: Vergleich der mittleren *Time to complete Exercise*, der Standardabweichung, Differenz zum Vortag und des p-Wertes der Übung *Match Board I* in den Gruppen I und II nach Testtag

Aus der Abbildung 24 geht in Gruppe I ein konkav-förmiger Verlauf der mittleren *Time to complete Exercise* mit Kurvenabflachung bis zum 4. Testtag hervor. Aus der Tabelle 22 ist zu entnehmen, dass die *Time to complete Exercise* am 2. Testtag um 33,47% und am 3. Testtag um 17,61% abnahm und sich insgesamt annähernd halbierte, sowie am 4. Testtag um weitere 9,65% reduzierte. Aus dem grafisch linearen Abfall in Gruppe II von prozentualen 29,41% der mittleren *Time to complete Exercise* nach 21 Tagen zeigte sich eine geringere Reduktion als in Gruppe I bei einem signifikanten Unterschied beider Gruppen ab dem 2. Testtag. Bei signifikanter Gleichheit der mittleren *Time to complete Exercise* am 1. Testtag kann insgesamt die mittlere *Time to complete Exercise* um 49,52% in Gruppe I gesenkt werden (s. Abb. 24 / Tab. 22).

### 3.5.2 Grafische und tabellarische Darstellung der Übung *Match Board II* für den Parameter mittlere *Time to complete Exercise*

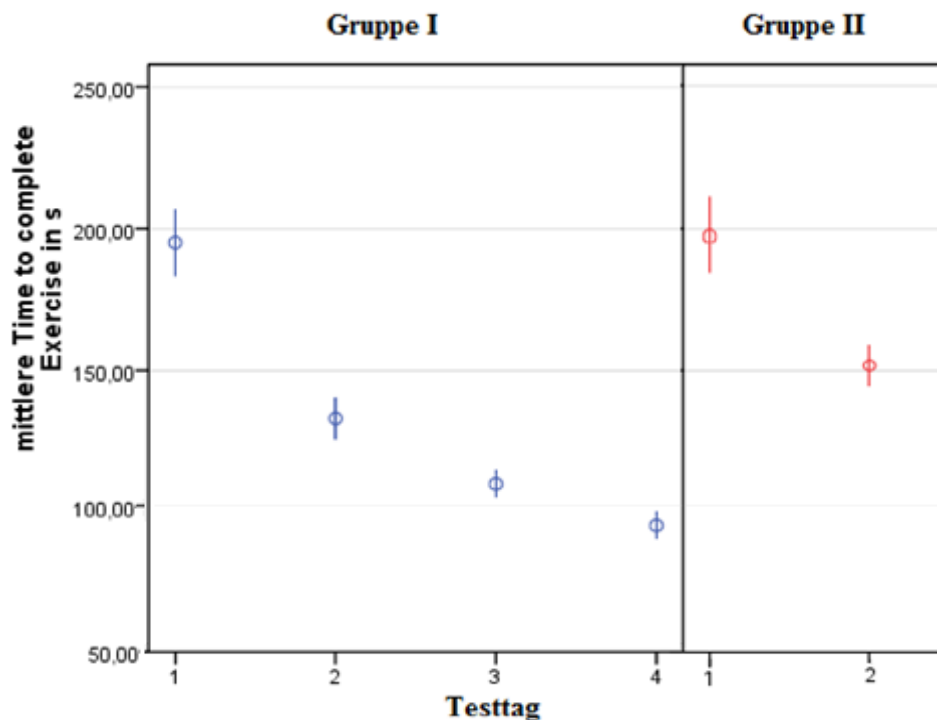


Abbildung 25: Vergleich der mittleren *Time to complete Exercise* der Übung *Match Board II* nach Testtagen in Gruppe I und II

| Testtag | Gruppe | mittlere <i>Time to complete Exercise</i> in s | Standardabweichung in s | Differenz zum Vortag in s | p-Wert   |
|---------|--------|--|-------------------------|---------------------------|----------|
| 1       | I      | 195,08   | 45,30                   | -                         | p=0,774  |
|         | II     | 197,60   | 50,35                   | -                         |          |
| 2       | I      | 133,08   | 28,89                   | 62,00                     | p=0,005  |
|         | II     | 152,07   | 41,92                   | 45,53                     |          |
| 3       | I      | 109,98   | 18,05                   | 23,10                     | p=0,000* |
| 4       | I      | 92,33  | 15,34                   | 17,65                     | p=0,000* |

\*T-Test entspricht dem Vergleich der mittleren *Time to Complete Exercise* der Gruppe I mit dem 2. Testtag der Gruppe II

Tabelle 23: Vergleich der mittleren *Time to complete Exercise*, der Standardabweichung, Differenz zum Vortag und des p-Wertes der Übung *Match Board II* in den Gruppen I und II nach Testtag

In der Abbildung 25 wird ersichtlich, dass die Probanden der Gruppe I die mittlere *Time to complete Exercise* kontinuierlich um insgesamt 52,67%, am deutlichsten am 2. Testtag um 31,78% reduzieren. Eine geringere Abnahme ist am 3. Testtag mit prozentualen 17,36% und ein etwa gleichhoher Abfall um 16,05% am 4. Testtag ersichtlich. Der Abfall des Graphen in Gruppe II spiegelt eine prozentuale Abnahme um 23,04% nach 21 Tagen wieder und ist damit geringer ausgefallen als in Gruppe I. Signifikant unterschieden sich

die mittlere *Time to complete Exercise* Ergebnisse beider Gruppen ab dem 2. Testtag (s. Abb. 25 / Tab. 23).

3.5.3 Grafische und tabellarische Darstellung der Übung *Match Board III* für den Parameter mittlere *Time to complete Exercise*

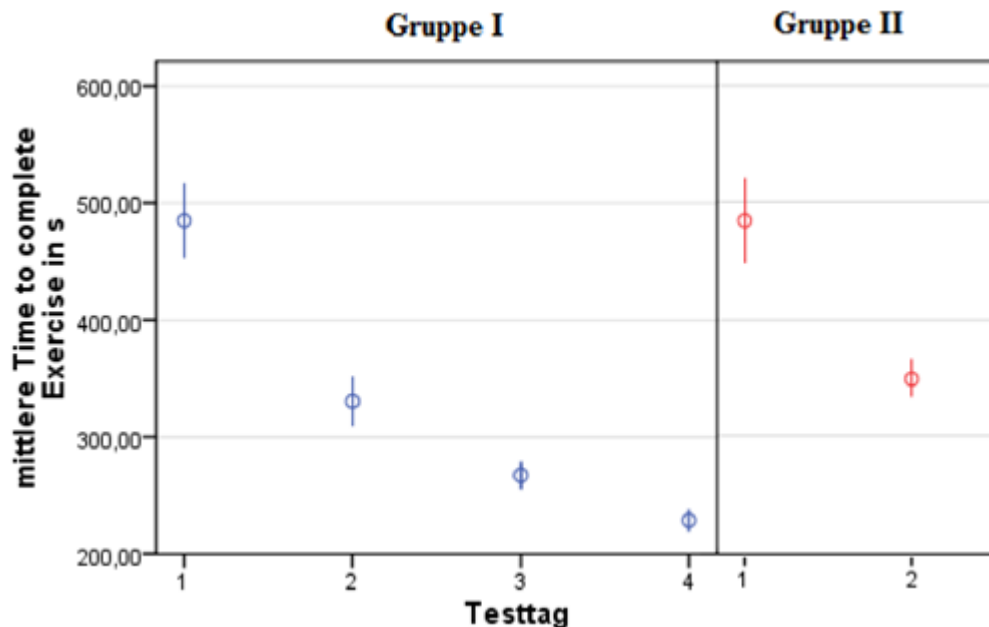


Abbildung 26: Vergleich der mittleren *Time to complete Exercise* der Übung *Match Board III* nach Testtagen in Gruppe I und II

| Testtag | Gruppe | mittlere <i>Time to complete Exercise</i> in s | Standardabweichung in s | Differenz zum Vortag in s | p-Wert   |
|---------|--------|--|-------------------------|---------------------------|----------|
| 1       | I      | 485,02   | 123,00                  | -                         | p=0,962  |
|         | II     | 483,85   | 141,02                  | -                         |          |
| 2       | I      | 330,40   | 81,05                   | 154,62                    | p=0,218  |
|         | II     | 349,15   | 84,77                   | 134,70                    |          |
| 3       | I      | 267,18   | 45,39                   | 63,22                     | p=0,000* |
| 4       | I      | 228,65   | 36,51                   | 38,53                     | p=0,000* |

\*T-Test entspricht dem Vergleich der mittleren *Time to Complete Exercise* der Gruppe I mit dem 2. Testtag der Gruppe II

Tabelle 24: Vergleich der mittleren *Time to complete Exercise*, der Standardabweichung, Differenz zum Vortag und des p-Wertes der Übung *Match Board III* in den Gruppen I und II nach Testtag

Die Abbildung 26 illustriert eine hohe Reduktion der mittleren *Time to complete Exercise* am 2. Testtag bei einem prozentualen Anteil von 31,88%. Ein annähernd linearer Kurvenverlauf schließt sich bis zum 4. Testtag an, hierbei um 19,13% am 3. Testtag und um 14,42% am 4. Der höchste prozentuale Abfall in Gruppe I am 2. Testtag übertraf den der Gruppe II, in der eine prozentuale Abnahme der mittleren *Time to complete Exercise* um 27,84 % nach 21 Tagen zu verzeichnen war und sich erstmals signifikant zwischen den

Gruppen unterschied. Insgesamt konnte Gruppe I in 21 Tagen mit zwei weiteren Testtagen eine Reduktion der mittleren *Time to complete Exercise* um 52,86% erreichen (s. Abb. 26 / s. Tab. 24).

3.5.4 Grafische und tabellarische Darstellung der Übung *Ring & Rail I* für den Parameter mittlere *Time to complete Exercise*

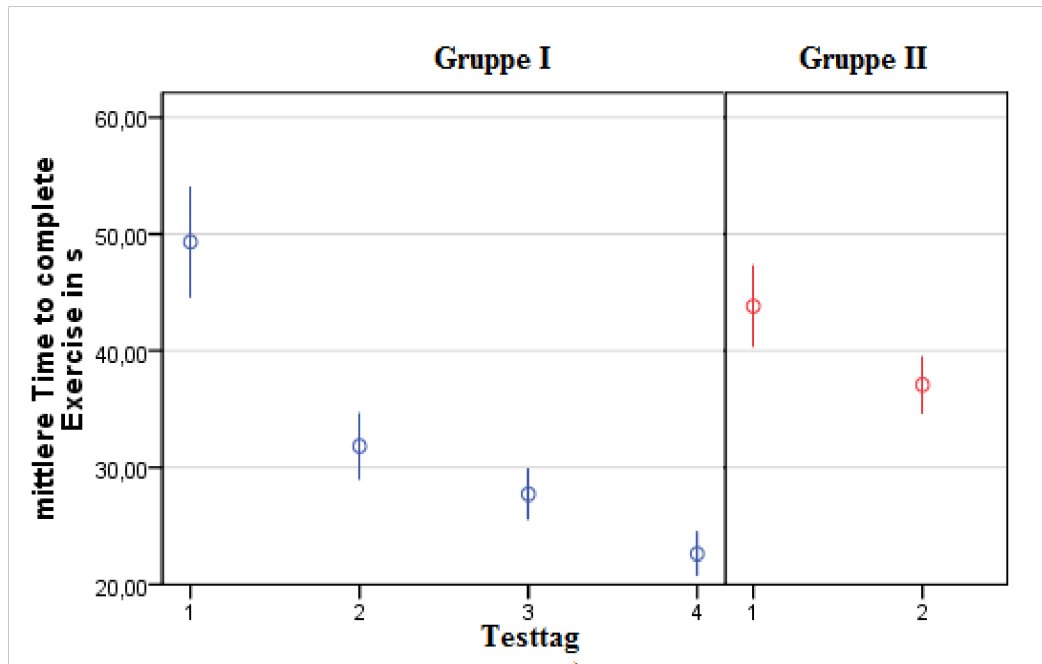


Abbildung 27: Vergleich der mittleren *Time to complete Exercise* der Übung *Ring & Rail I* nach Testtagen in Gruppe I und II

| Testtag | Gruppe | mittlere <i>Time to complete Exercise</i> in s | Standardabweichung in s | Differenz zum Vortag in s | p-Wert   |
|---------|--------|--|-------------------------|---------------------------|----------|
| 1       | I      | 49,33  | 18,20                   | -                         | p=0,063  |
|         | II     | 43,83  | 13,52                   | -                         |          |
| 2       | I      | 31,85  | 10,97                   | 17,48                     | p=0,022  |
|         | II     | 37,10  | 13,62                   | 6,73                      |          |
| 3       | I      | 27,73  | 8,36                    | 4,12                      | p=0,000* |
| 4       | I      | 22,63  | 7,28                    | 5,10                      | p=0,000* |

\*T-Test entspricht dem Vergleich der mittleren *Time to Complete Exercise* der Gruppe I mit dem 2. Testtag der Gruppe II

Tabelle 25: Vergleich der mittleren *Time to complete Exercise*, der Standardabweichung, Differenz zum Vortag und des p-Wertes der Übung *Ring & Rail I* in den Gruppen I und II nach Testtag

Der Abbildung 27 ist zu entnehmen, dass ein Abfall der mittleren *Time to complete Exercise* in Gruppe I um 35,43% am 2. Testtag. Eine annähernd linearere Reduzierung erschloss sich am 3. Testtag um 12,94% und am 4. um 18,39%. Die Gruppe II reduzierte

die mittlere *Time to complete Exercise* um 15,35% und lag hierbei unter der Reduktionsrate der Gruppe I. Es bestand ein signifikanter Unterschied der beiden Gruppen ab dem 1. Testtag. Insgesamt erreichte Gruppe I eine prozentuale Reduktion der mittleren *Time to complete Exercise* um 54,13% (s. Abb. 27 / Tab. 25).

3.5.5 Grafische und tabellarische Darstellung der Übung *Ring & Rail II* für den Parameter mittlere *Time to complete Exercise*

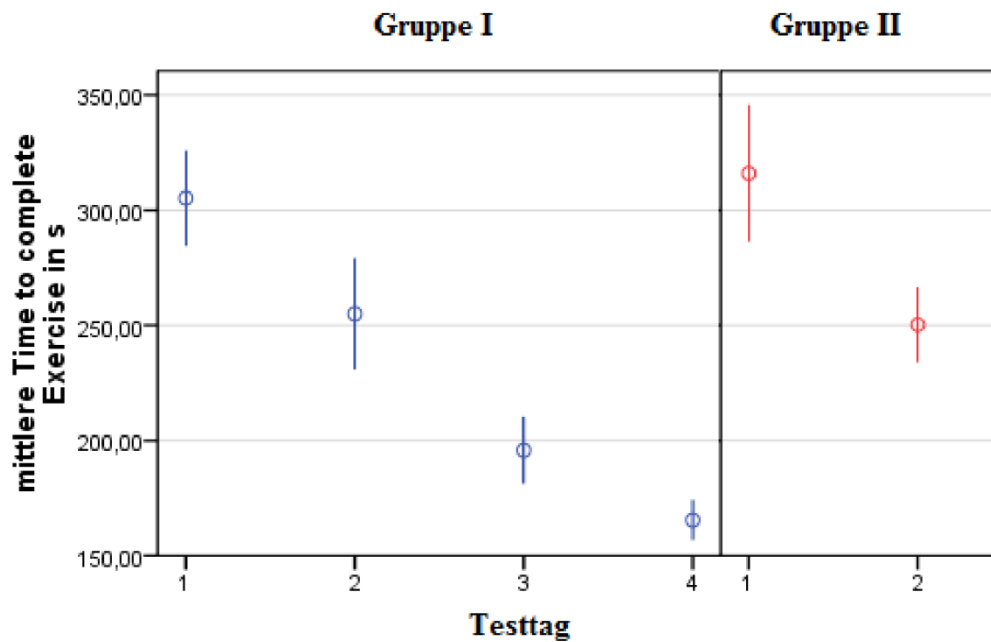


Abbildung 28: Vergleich der mittleren *Time to complete Exercise* der Übung *Ring & Rail II* nach Testtagen in Gruppe I und II

| Testtag | Gruppe | mittlere <i>Time to complete Exercise</i> in s | Standardabweichung in s | Differenz zum Vortag in s | p-Wert   |
|---------|--------|--|-------------------------|---------------------------|----------|
| 1       | I      | 305,20   | 79,43                   | -                         | p=0,551  |
|         | II     | 315,97   | 114,85                  | -                         |          |
| 2       | I      | 254,98   | 92,66                   | 50,22                     | p=0,994  |
|         | II     | 254,87   | 77,32                   | 61,1                      |          |
| 3       | I      | 195,75   | 55,82                   | 59,23                     | p=0,000* |
| 4       | I      | 165,47   | 33,55                   | 30,28                     | p=0,000* |

\*T-Test entspricht dem Vergleich der mittleren *Time to Complete* der Gruppe I mit dem 2. Testtag der Gruppe II

Tabelle 26: Vergleich der mittleren *Time to complete Exercise*, der Standardabweichung, Differenz zum Vortag und des p-Wertes der Übung *Ring & Rail I* in den Gruppen I und II nach Test-

In der Abbildung 28 stellt sich eine kontinuierliche Abnahme der mittleren *Time to complete Exercise* in der Gruppe I dar bei der sich die größte Reduktion am 3. Testtag um 23,23% darstellte. Am 2. Testtag kann nahezu eine annähernd äquivalente prozentuale

## Ergebnisse

Reduktion um 16,45% verglichen mit der des 4. Testtages von prozentualen 15,47% aufgezeigt werden. In Gruppe II ließ sich ein höherer Abfall am 2. Testtag um 19,34% nachweisen als in Gruppe I nach 7 Tagen. Kein signifikanter Unterschied besteht am 1. bzw. 2. Testtag, signifikant erst am 3. und 4. Testtag zwischen den Gruppen. Insgesamt wird eine prozentuale Reduktion der mittleren *Time to complete Exercise* in Gruppe I um 45,78% dargestellt werden (s. Abb. 28 / Tab. 26).

### 3.5.6 Tabellarische Darstellung des mittleren *Time to complete Exercise* der Übungen *Match Board I-III* und *Ring & Rail I-II* nach Testtagen

| Testtag | Gruppe | Durschnitt des mittleren <i>Time to complete Exercise</i> in s | $\Delta$ Durschnitt des mittleren <i>Time to complete Exercise</i> in s |
|---------|--------|--|---|
| 1       | I      | 254,61   | -   |
|         | II     | 257,38   | -   |
| 2       | I      | 181,79   | 13,98   |
|         | II     | 193,32   | 8,72  |
| 3       | I      | 146,26   | 5,93  |
| 4       | I      | 125,43   | 3,35  |

Tabelle 27: Vergleich des Durschnitts des mittleren *Time to complete Exercise* nach Testtagen und Gruppen

Der Durschnitt der mittleren *Time to complete Exercise* in Gruppe I erhöhte sich prozentual am 2. Testtag um 28,31% und lag damit höher als in Gruppe II, in der ein Anstieg um 24,89% zu berechnen war. Die prozentualen Zugewinne des durchschnittlichen mittleren *Time to complete Exercise* konnten mit 19,55% am 3. und mit 14,24% am 4. Testtag eruiert werden. Insgesamt erreichte Gruppe I einen Anstieg der durchschnittlichen mittleren *Time to complete Exercise* um 50,74% (s. Tab. 27).

### 3.6. Analyse des Parameters *Economy of Motion*

Die Reduktion von Bewegungsdistanzen bis zum Beenden der durchgeführten Übungen wird durch den Parameter *Economy of Motion* ausgedrückt. Die grafischen und tabellari-

schen Darstellungen erfolgten unter Berechnung des arithmetischen Mittels dieses Parameters aus drei Wiederholungen eines Testtages. Hierfür wird die Bezeichnung mittlere *Economy of Motion* gewählt. Tabellarisch werden im Folgenden die mittlere *Economy of Motion*, die Standardabweichung, die Differenz zum Vortag und der P- Wert, sowie in schriftlicher Form die prozentualen Unterschiede an einem Testtag aufgeführt.

3.6.1 Grafische und tabellarische Darstellung der Übung *Match Board I* für den Parameter mittlere *Economy of Motion*

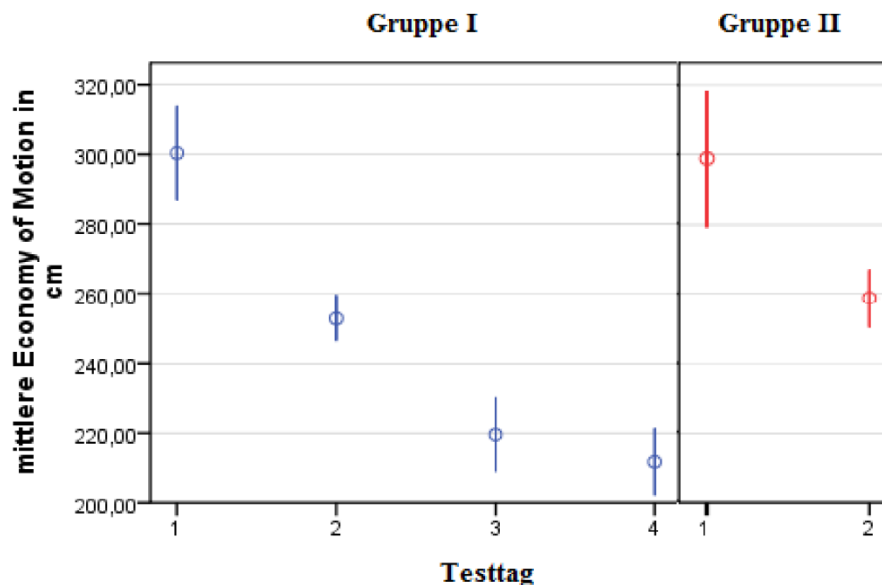


Abbildung 29: Vergleich der mittleren *Economy of Motion* der Übung *Match Board I* nach Testtagen in Gruppe I und II

| Testtag | Gruppe | <i>mittlere Economy of Motion in cm</i> | Standardabweichung in cm | Differenz zum Vortag in cm | p-Wert   |
|---------|--------|---|--------------------------|----------------------------|----------|
| 1       | I      | 301,98                                  | 74,81                    | -                          | p=0,814  |
|         | II     | 298,77                                  | 74,56                    | -                          |          |
| 2       | I      | 241,53                                  | 38,86                    | 60,45                      | p=0,026  |
|         | II     | 258,70                                  | 44,52                    | 40,07                      |          |
| 3       | I      | 219,58                                  | 40,69                    | 21,95                      | p=0,000* |
| 4       | I      | 211,78                                  | 36,97                    | 7,8                        | p=0,000* |

\*T-Test entspricht dem Vergleich der mittleren *Economy of Motion* der Gruppe I mit dem 2. Testtag der Gruppe II  
 Tabelle 28: Vergleich der mittleren *Economy of Motion* mit Standardabweichung und p-Wert der Übung *Match Board I* nach Testtagen in den Gruppen I und II

Der Abbildung 29 ist eine konkavförmig verlaufende Kurve zu entnehmen, aus der am 2. Testtag der größte prozentuale Abfall der mittleren *Economy of Motion* um 20,02% zu ermitteln war. Diese Abnahme halbierte sich am 3. Testtag um 9,09% und abermals am

4. Testtag um 3,55%. In der Gruppe II betrug die prozentuale Abnahme 13,41% am 2. Testtag und fiel damit geringer aus als in Gruppe I. Die gesamte prozentuale Reduktion aller Testtage lag in Gruppe I bei 29,87% (s. Abb. 29 / Tab. 28)

3.6.2 Grafische und tabellarische Darstellung der Übung *Match Board II* für den Parameter mittlere *Economy of Motion*

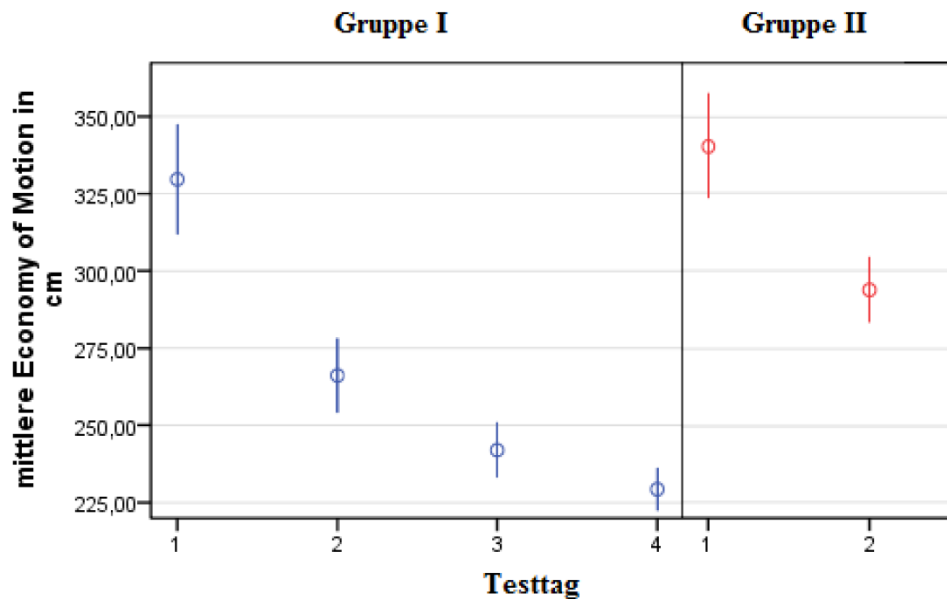


Abbildung 30: Vergleich der mittleren *Economy of Motion* der Übung *Match Board II* nach Testtagen in Gruppe I und II

| Testtag | Gruppe | <i>mittlere Economy of Motion in cm</i> | Standardabweichung in cm | Differenz zum Vortag in cm | p-Wert   |
|---------|--------|---|--------------------------|----------------------------|----------|
| 1       | I      | 329,68                                  | 68,89                    | -                          | p=0,385  |
|         | II     | 340,43                                  | 66,21                    | -                          |          |
| 2       | I      | 266,08                                  | 46,72                    | 63,60                      | p=0,005  |
|         | II     | 293,88                                  | 58,20                    | 46,55                      |          |
| 3       | I      | 241,97                                  | 34,54                    | 24,11                      | p=0,000* |
| 4       | I      | 229,27                                  | 26,42                    | 12,70                      | p=0,000* |

\*T-Test entspricht dem Vergleich der mittleren *Economy of Motion* der Gruppe I mit dem 2. Testtag der Gruppe II  
 Tabelle 29: Vergleich der mittleren *Economy of Motion* mit Standardabweichung, der Differenz zum Vortag und dem p-Wert der Übung nach Testtagen in den Gruppen I und II

Der Kurvenverlauf in Gruppe I stellte sich konkavförmig mit der größten Abnahme am 2. Testtag um 19,29% dar. Der abflachenden Kurven und tabellarischer Darstellung konnte weiterhin eine Reduktion um 9,06% am 3. und um 5,25% am 4. Testtag entnommen werden. Die Abnahme der mittleren *Economy of Motion* in Gruppe II am 2. Testtag



um 13,67% war im Vergleich zu Gruppe I niedriger. Insgesamt konnte Gruppe I die mittlere *Economy of Motion* bis zum 4. Testtag um 30,46% reduzieren (s. Abb. 30 / Tab. 29).

### 3.6.3 Grafische und tabellarische Darstellung der Übung *Match Board III* für den Parameter mittlere *Economy of Motion*

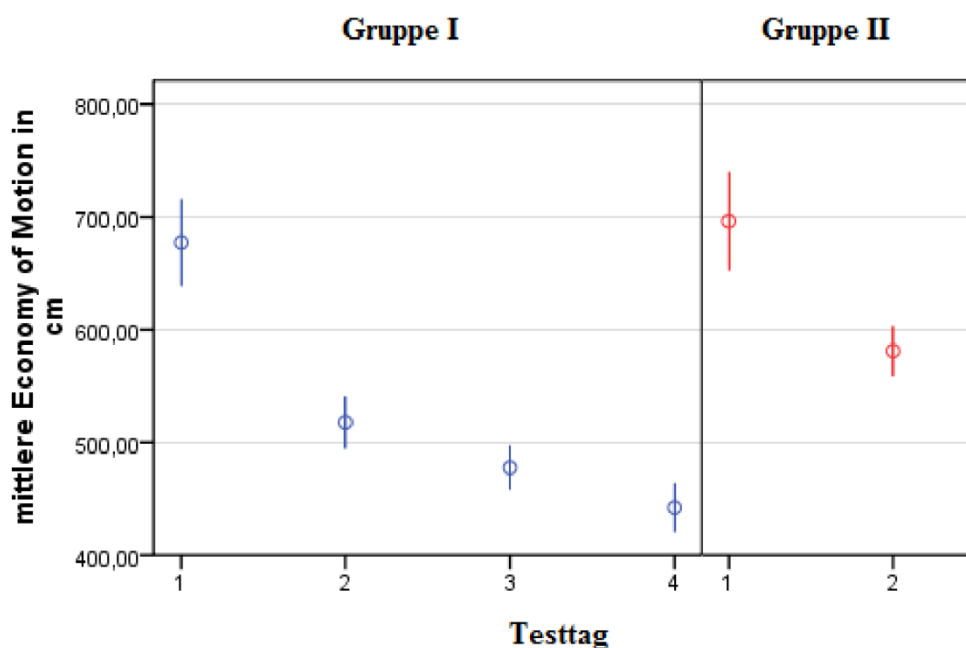


Abbildung 31: Vergleich der mittleren *Economy of Motion* der Übung *Match Board III* nach Testtagen in Gruppe I und II

| Testtag | Gruppe | mittlere <i>Economy of Motion</i> in cm | Standardabweichung in cm | Differenz zum Vortag in cm | p-Wert   |
|---------|--------|---|--------------------------|----------------------------|----------|
| 1       | I      | 677,32                                  | 148,82                   | -                          | p=0,517  |
|         | II     | 696,25                                  | 169,93                   | -                          |          |
| 2       | I      | 517,65                                  | 88,98                    | 159,67                     | p=0,002  |
|         | II     | 581,00                                  | 123,62                   | 115,25                     |          |
| 3       | I      | 477,60                                  | 75,62                    | 40,05                      | p=0,000* |
| 4       | I      | 442,15                                  | 84,06                    | 35,45                      | p=0,000* |

\*T-Test entspricht dem Vergleich der mittleren *Economy of Motion* der Exercise der Gruppe I mit dem 2. Testtag der Gruppe II

Tabelle 30: Vergleich der mittleren *Economy of Motion* mit Standardabweichung, der Differenz zum Vortag und dem p-Wert der Übung nach Testtagen in den Gruppen I und II

## Ergebnisse

Aus der Abbildung 31 der Gruppe I ist ein Abfall der mittleren *Economy of Motion* am 2. Testtag um 23,57% zu erkennen. Der zu Beginn konkav-bogenförmige Kurvenverlauf nimmt im Folgenden eine lineare Tendenz an. Der prozentuale Abfall der mittleren *Economy of Motion* betrug am 3. Testtag 7,74% und annähernd äquivalent von 7,48% am 4. Testtag. Im Gegensatz sank die mittlere *Economy of Motion* am 2. Testtag in Gruppe II um 16,55% und lag signifikant unter dem Wert der Gruppe I. Insgesamt nahm die mittlere *Economy of Motion* in Gruppe I um 34,72% ab. (s. Abb. 31 / Tab. 30).

### 3.6.4 Grafische und tabellarische Darstellung der Übung *Ring & Rail I* für den Parameter mittlere *Economy of Motion*

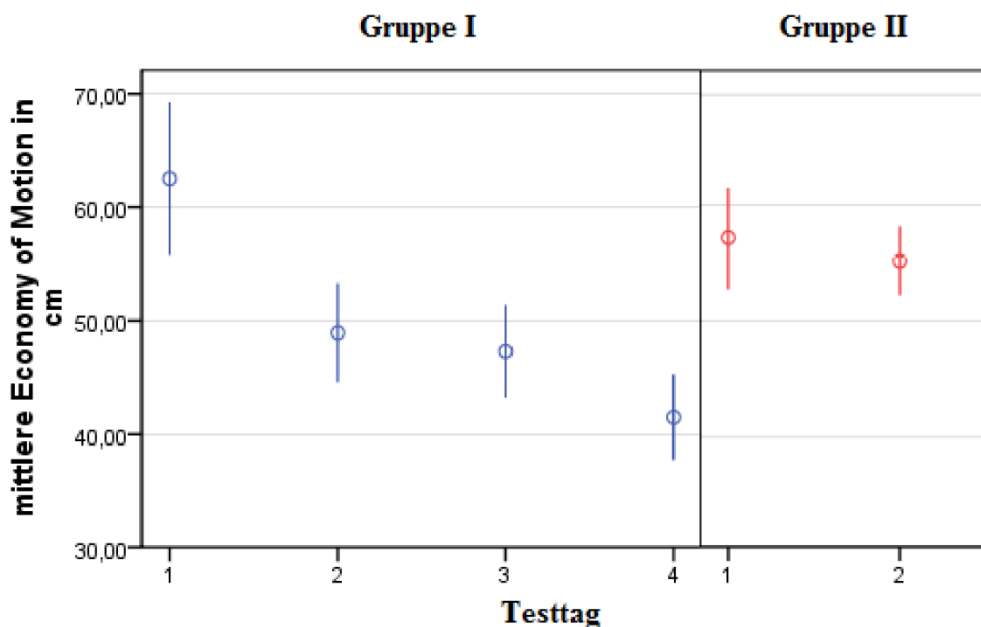


Abbildung 32: Vergleich der mittleren *Economy of Motion* der Übung *Ring & Rail I* nach Testtagen in Gruppe I und II

| Testtag | Gruppe | mittlere <i>Economy of Motion</i> in cm | Standardabweichung in cm | Differenz zum Vortag in cm | p-Wert   |
|---------|--------|---|--------------------------|----------------------------|----------|
| 1       | I      | 62,52                                   | 25,91                    | -                          | p=0,187  |
|         | II     | 57,18                                   | 17,17                    | -                          |          |
| 2       | I      | 48,93                                   | 16,85                    | 13,59                      | p=0,042  |
|         | II     | 55,17                                   | 16,38                    | 2,01                       |          |
| 3       | I      | 47,30                                   | 15,72                    | 1,63                       | p=0,008* |
| 4       | I      | 41,48                                   | 14,63                    | 5,82                       | p=0,000* |

\*T-Test entspricht dem Vergleich der mittleren *Economy of Motion* der Gruppe I mit dem 2. der Gruppe II

Tabelle 31: Vergleich der mittleren *Economy of Motion* mit Standardabweichung, der Differenz zum Vortag und dem p-Wert der Übung nach Testtagen in den Gruppen I und II

Der s-förmiger Kurvenverlauf der mittleren *Economy of Motion* in der Gruppe I zeigt eine Abnahme um 21,74% am 2. Testtag und am 3. Testtag eine stagnierende Kurve auf, ebenso in Gruppe II. In Folge ergab sich eine minimale Abnahme um 3,33% in Gruppe I und um 3,52% in Gruppe II. Am 4. Testtag nahm der Abfall der Kurve um 12,30% wiederum sichtbar zu. Die Gruppen unterschieden sich am 1. Testtag bereits signifikant, sowie auch an den folgenden Testtagen. Insgesamt reduzierte Gruppe I die mittlere *Economy of Motion* um 33,65% nach Durchlauf aller Testtage (s. Abb. 32 / Tab. 31).

3.6.5 Grafische Darstellung der Übung *Ring & Rail II* für den Parameter mittlere *Economy of Motion*

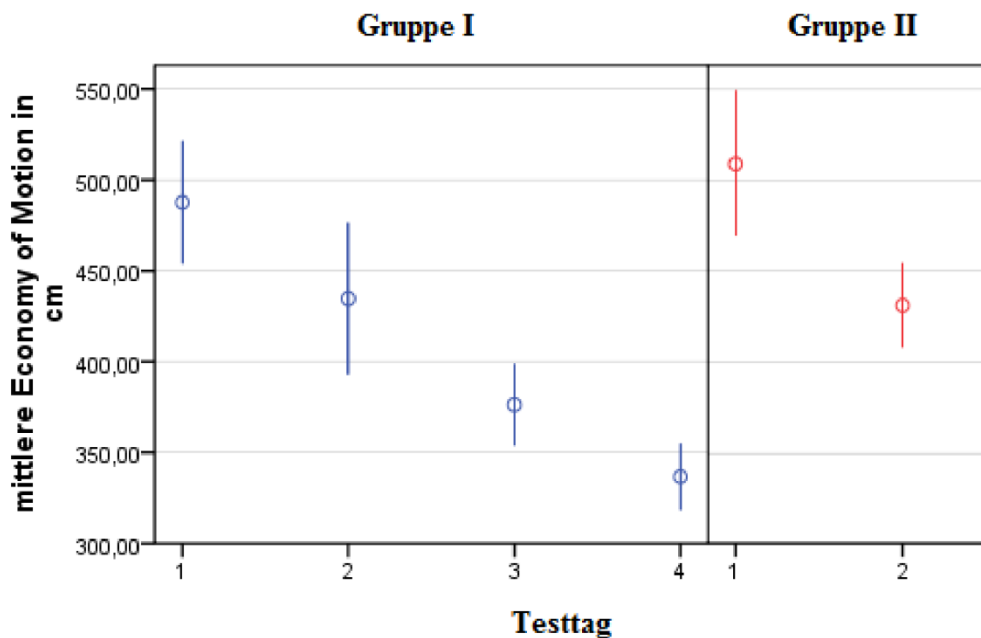


Abbildung 33: Vergleich der mittleren *Economy of Motion* der Übung *Ring & Rail II* nach Testtagen in Gruppe I und II

| Testtag | Gruppe | mittlere Economy of Motion in cm | Standardabweichung in cm | Differenz zum Vortag in cm | p-Wert   |
|---------|--------|----------------------------------|--------------------------|----------------------------|----------|
| 1       | I      | 487,62                           | 130,49                   | -                          | p=0,409  |
|         | II     | 509,28                           | 154,84                   | -                          |          |
| 2       | I      | 434,67                           | 161,86                   | 52,95                      | p=0,973  |
|         | II     | 435,53                           | 107,71                   | 73,75                      |          |
| 3       | I      | 376,25                           | 86,55                    | 58,42                      | p=0,001* |
| 4       | I      | 336,65                           | 70,78                    | 39,60                      | p=0,000* |

\*T-Test entspricht dem Vergleich der mittleren *Economy of Motion* der Exercise der Gruppe I mit dem 2. Testtag der Gruppe II

Tabelle 32: Vergleich der mittleren *Economy of Motion* mit Standardabweichung, der Differenz zum Vortag und dem p-Wert der Übung nach Testtagen in den Gruppen I und II

Der Kurvenverlauf der mittleren *Economy of Motion* in der Gruppe I illustriert einen annähernd linearen Abfall über die 4 Testtage. Dabei stellt sich die prozentuale Abnahme am 3. Testtag mit 13,44% am größten dar. Um 10,86% sank die mittlere *Economy of Motion* am 2. Testtag und um 10,52% am 4. In Gruppe II skizzierte sich eine höhere prozentuale Abnahme als in Gruppe I mit 14,48 % am 2. Testtag I. Im Unterschied resultierte jedoch eine gemessene signifikante Differenz der mittleren *Economy of Motion* gegenüber einer nicht signifikanten am 2. Testtag. Infolge ergaben sich wiederum signifikante Unterschied ab dem 3. Testtag. Insgesamt konnte in Gruppe I eine prozentuale Reduktion um 30,37% der mittleren *Economy of Motion* nachgewiesen werden (s. Abb. 33 / Tab. 32).

### 3.6.6 Tabellarische Darstellung des mittleren *Economy of Motion* der Übungen *Match Board I-III* und *Ring & Rail I-II* nach Testtagen

| Testtag | Gruppe | Durschnitt des mittleren <i>Economy of Motion</i> in cm | Δ Durschnitt der mittleren <i>Economy of Motion</i> in cm |
|---------|--------|---|---|
| 1       | I      | 371,82  | -   |
|         | II     | 380,38  | -   |
| 2       | I      | 301,77  | 70,05   |
|         | II     | 324,86  | 55,52   |
| 3       | I      | 272,54  | 29,23   |
| 4       | I      | 252,27  | 20,27   |

Tabelle 33: Vergleich des Durschnitts des mittleren *Economy of Motion* nach Testtagen und Gruppen

In Gruppe I ergab sich eine prozentuale Reduktion der mittleren *Economy of Motion* am 2. Testtag im Durchschnitt in allen Übungen um 17,45%. Gegenüber einer prozentualen Zunahme von 12,47% der durchschnittlichen mittleren *Economy of Motion* in Gruppe II, zeigten die Probanden/Innen in Gruppe I einen Zuwachs um 6,89% am 3. Testtag und um 3,75% am 4. Insgesamt erreichte Gruppe I nach 21 Tagen eine Abnahme des durchschnittlichen mittleren *Overall Score* um 26,02% (s. Tab. 33).

3.7 Analyse der Parameter *Excessive Instrument Force*, *Instruments out of View*, *Collisions* und *Drops*

Der Auslegung dieser vier Parameter kommt eine besondere Bedeutung zu. Sie gehen, wie auch die *Time to complete Exercise* oder die *Economy of Motion* mit einer Gewichtung von 16,13% in die Berechnung des *Overall Score* ein. In erster Linie erfassen die Parameter *Excessive Instrument Force*, *Instrument out of View*, *Collisions* und *Drops* mit 65,2% mehrheitlich den berechneten *Overall Score* und grundlegende motorische Fähigkeiten unter der Annahme einer höheren Ereignissrate bei niedrigerem Erfahrungsstand der Probanden in den anfänglichen Trainingsphasen. Die Auswertung erfolgte nach gänzlicher Vermeidung einmalig ausgelöster Ereignisse durch die Probanden. Der prozentuale Anteil an Probanden, die keine Ereignisse an *Excessive Instrument Force*, *Instrument out of View*, *Collisions* und *Drops* im Verlauf eines Testtages aufwiesen, entsprechend der drei Wiederholungen, wurde wie folgt berechnet:  $n=20 \times 3 = 100\%$ . Bei einem ausgelösten Ereignis reduzierte sich die Probandanzahl (n). Die Darlegung der Ergebnisse in der Reihenfolge *Match Board I*, *Match Board II*, *Match Board III*, *Ring & Rail I* und *Ring & Rail II* wird nach Testtagen, Gruppen und Parametern tabellarisch und grafisch präsentiert.

3.7.1 Tabellarische Darstellung der Übung *Match Board I* mit den prozentual vermiedenen Parametern *Excessive Instrument Force*, *Instruments out of View*, *Collisions* und *Drops* nach Testtagen

| Testtag | Gruppe | <i>Excessive Instrument Force</i> |    | <i>Instruments out of View</i> |    | <i>Collisions</i> |    | <i>Drops</i> |    |
|---------|--------|-----------------------------------|----|--------------------------------|----|-------------------|----|--------------|----|
|         |        | %                                 | n  | %                              | n  | %                 | n  | %            | n  |
| 1       | I      | 93,3                              | 56 | 96,7                           | 58 | 50,0              | 30 | 91,7         | 55 |
|         | II     | 93,3                              | 56 | 91,7                           | 55 | 60,0              | 36 | 86,7         | 52 |
| 2       | I      | 100,0                             | 60 | 100,0                          | 60 | 78,3              | 47 | 98,3         | 59 |
|         | II     | 100,0                             | 60 | 96,7                           | 58 | 76,7              | 46 | 98,3         | 59 |
| 3       | I      | 93,3                              | 56 | 98,3                           | 59 | 93,3 *            | 56 | 98,3         | 59 |
| 4       | I      | 100,0                             | 60 | 100,0                          | 60 | 83,3              | 50 | 95,0         | 57 |

\* markiert den ersten erreichten Wert >80%

Tabelle 34: Vergleich der vermiedenen *Excessive Instrument Force*, *Instruments out of View*, *Collisions* und *Drops* und Anzahl an Probanden nach Testtagen in den Gruppen I und II

Aus Tabelle 34 geht hervor, dass die Probanden der Gruppe I am 1. Testtag das Auslösen von einmaligen Ereignissen der Parameter Excessive Instrument Force, Instruments out of View und Drops zu > 80% vermeiden konnten. Eine Vermeidungsrate von > 80% an Collisions stellte sich am 3. Testtag dar. Bei > 90% nicht ausgelöster Ereignisse der Exzessiv Instrument Force und Instruments out of View bzw. bei > 85% der Drops zeigte sich an allen Testtagen eine kontinuierlich hohe Vermeidungsrate (s. Tab. 34).

3.7.2 Tabellarische Darstellung der Übung *Match Board II* mit den prozentual vermiedenen Parametern *Excessive Instrument Force, Instruments out of View, Collisions und Drops* nach Testtagen

| Testtag | Gruppe | <i>Excessive Instrument Force</i> |    | <i>Instruments out of View</i> |    | <i>Collisions</i> |    | <i>Drops</i> |    |
|---------|--------|-----------------------------------|----|--------------------------------|----|-------------------|----|--------------|----|
|         |        | %                                 | n  | %                              | n  | %                 | n  | %            | n  |
| 1       | I      | 43,3                              | 26 | 93,3                           | 56 | 73,3              | 44 | 80,0         | 48 |
|         | II     | 31,7                              | 19 | 76,7                           | 46 | 76,7              | 46 | 98,3         | 59 |
| 2       | I      | 81,7                              | 49 | 98,3*                          | 59 | 83,3*             | 50 | 96,7         | 58 |
|         | II     | 68,3                              | 41 | 96,7                           | 58 | 85,0              | 51 | 100,0        | 60 |
| 3       | I      | 95,0*                             | 57 | 98,3                           | 59 | 81,7              | 49 | 98,3         | 59 |
| 4       | I      | 91,7                              | 55 | 98,3                           | 59 | 90,0              | 54 | 98,3         | 59 |

\* markiert den ersten erreichten Wert >80%

Tabelle 35: Vergleich der vermiedenen *Excessive Instrument Force, Instruments out of View, Collisions* und *Drops* und Anzahl an Probanden nach Testtagen in den Gruppen I und II

Die niedrigste Vermeidungsrate geht aus Tabelle 35 in den Gruppen I und II hinsichtlich der *Excessive Instrument Force* hervor. Hierbei konnten Ereignisse um 47% in Gruppe I und um 54% in Gruppe II am 2. Testtag reduziert werden. Allerdings erreichte nur Gruppe I ab dem 3. Testtag eine Vermeidungsrate von >80% bezüglich der *Excessive Instrument Force*. Die *Instruments out of View* konnten in Gruppe I zu >90% an allen Testtagen vermieden werden, Gruppe II erreichte >90% eine Vermeidungsrate an *Instruments out of View* am 2. Testtag. *Collisions* wurden am 2. Testtag zu >80% in beiden Gruppen nicht ausgelöst. Die Vermeidungsrate an *Drops* lag in beiden Gruppen konstant bei >80% (s. Tab. 35).

### 3.7.3 Tabellarische Darstellung der Übung *Match Board III* mit den prozentual vermiedenen Parametern *Excessive Instrument Force*, *Instruments out of View*, *Collisions* und *Drops* nach Testtagen

| Testtag | Gruppe | <i>Excessive Instrument Force</i> |    | <i>Instruments out of View</i> |    | <i>Collisions</i> |    | <i>Drops</i> |    |
|---------|--------|-----------------------------------|----|--------------------------------|----|-------------------|----|--------------|----|
|         |        | %                                 | n  | %                              | n  | %                 | n  | %            | n  |
| 1       | I      | 11,7                              | 7  | 15,0                           | 9  | 31,7              | 19 | 85,0         | 51 |
|         | II     | 20,0                              | 12 | 15,0                           | 9  | 38,3              | 23 | 76,7         | 46 |
| 2       | I      | 45,0                              | 27 | 46,7                           | 28 | 61,7              | 37 | 88,3*        | 53 |
|         | II     | 40,0                              | 24 | 28,3                           | 17 | 53,3              | 32 | 78,3         | 47 |
| 3       | I      | 53,3                              | 32 | 61,7                           | 37 | 65,0              | 39 | 90,0         | 54 |
| 4       | I      | 65,0                              | 39 | 65,0                           | 39 | 66,7              | 40 | 100,0        | 60 |

\*markiert den ersten erreichten Wert >80%

Tabelle 36: Vergleich der vermiedenen *Excessive Instrument Force*, *Instruments out of View*, *Collisions* und *Drops* und Anzahl an Probanden nach Testtagen in den Gruppen I und II

In *Match Board III* konnten am 2. Testtag die Vermeidungsraten der *Excessive Instrument Force* um 74% in Gruppe I und um 50% in Gruppe II auf > 40% gesteigert werden (Tabelle 36). Trotz der gesamten Steigerung um 82% vom 1. bis zum 4. Testtag war eine vermeidbare Ereignisrate von >80% von maximal <66% in Gruppe I nicht zu erreichen. Die Vermeidungsrate der *Instruments out of View* zeigte am 2. Testtag eine Steigerung um 67,88% in Gruppe I und um 47,00% in Gruppe II auf. Allerdings konnte trotz einer gesamten Erhöhung dieser in Gruppe I um 76,90% bis zum 4. Testtag nicht >80% bezüglich der nicht ausgelösten Ereignisse an *Instruments out of View* erzielt werden. Die Vermeidungsrate an *Collisions* erhöhte sich in Gruppe I um 48,62% und in Gruppe II um 28,14% am 2. Testtag bei einer Zunahme um 52,47% am 4. Testtag in Gruppe I. Es konnten auch diesbezüglich nicht über 80% der Ereignisse vermieden werden. *Drops* war ab dem 1. Testtag in Gruppe I mit >80% kontinuierlich vermeidbar, in Gruppe II ab dem 2. Testtag (s. Tab. 36).

3.7.4 Tabellarische Darstellung der Übung *Ring & Rail I* mit den prozentual vermiedenen Parametern *Excessive Instrument Force*, *Instruments out of View*, *Collisions* und *Drops* nach Testtagen

| Testtag | Gruppe | <i>Excessive Instrument Force</i> |    | <i>Instruments out of View</i> |    | <i>Collisions</i> |    | <i>Drops</i> |    |
|---------|--------|-----------------------------------|----|--------------------------------|----|-------------------|----|--------------|----|
|         |        | %                                 | n  | %                              | n  | %                 | n  | %            | n  |
| 1       | I      | 78,3                              | 47 | 81,7                           | 49 | 88,3              | 53 | 89,3         | 59 |
|         | II     | 73,3                              | 44 | 83,3                           | 50 | 95,0              | 57 | 98,3         | 59 |
| 2       | I      | 88,3*                             | 53 | 93,3                           | 56 | 96,7              | 58 | 100          | 60 |
|         | II     | 73,3                              | 44 | 88,3                           | 53 | 88,3              | 53 | 98,3         | 59 |
| 3       | I      | 76,7                              | 46 | 96,7                           | 58 | 96,7              | 58 | 100,0        | 60 |
| 4       | I      | 80,0                              | 48 | 88,3                           | 53 | 98,3              | 59 | 96,7         | 58 |

\* markiert den ersten erreichten Wert >80%

Tabelle 37: Vergleich der vermiedenen prozentualen *Excessive Instrument Force*, *Instruments out of View*, *Collisions* und *Drops* und Anzahl an Probanden nach Testtagen in den Gruppen I und II

Über 80% der vermiedenen Ereignisse an *Instruments out of View*, *Collisions* und *Drops* stellen sich in Tabelle 37 in *Ring & Rail I* ab dem 1. Testtag in beiden Gruppen dar. Ab dem 2. Testtag konnte eine Vermeidungsrate von > 80% in Gruppe I hinsichtlich der *Excessive Instrument Force* unter nachfolgenden Schwankungen am 3. und 4. Testtag mit Vermeidungsraten um >73% bis 88% konstatiert werden (s. Tab. 37).



### 3.7.5 Tabellarische Darstellung der Übung *Ring & Rail II* mit den prozentual vermiedenen Parametern *Excessive Instrument Force*, *Instruments out of View*, *Collisions* und *Drops* nach Testtagen

| Testtag | Gruppe | <i>Excessive Instrument Force</i> |    | <i>Instruments out of View</i> |    | <i>Collisions</i> |    | <i>Drops</i> |    |
|---------|--------|-----------------------------------|----|--------------------------------|----|-------------------|----|--------------|----|
|         |        | %                                 | n  | %                              | n  | %                 | n  | %            | n  |
| 1       | I      | 13,3                              | 8  | 68,3                           | 41 | 10,0              | 6  | 76,7         | 46 |
|         | II     | 6,7                               | 4  | 55,0                           | 33 | 6,7               | 4  | 73,3         | 44 |
| 2       | I      | 23,3                              | 14 | 80,0*                          | 48 | 33,3              | 20 | 78,3         | 47 |
|         | II     | 15,0                              | 9  | 56,7                           | 34 | 13,3              | 8  | 75,0         | 45 |
| 3       | I      | 26,7                              | 16 | 80,0                           | 48 | 51,7              | 31 | 78,3         | 47 |
| 4       | I      | 36,7                              | 22 | 81,7                           | 49 | 51,7              | 31 | 76,7         | 46 |

\*markiert den ersten erreichten Wert >80%

Tabelle 38: Vergleich der vermiedenen prozentualen *Excessive Instrument Force*, *Instruments out of View*, *Collisions* und *Drops* und Anzahl an Probanden nach Testtagen in den Gruppen I und II

In Tabelle 38 skizziert sich ein prozentualer Anstieg um 70% der vermeidbaren *Collisions* in Gruppe I am 2. Testtag sowie um 49,62% in Gruppe II und ein niedriges Niveau nicht ausgelöster Kollisionsereignisse von <15% in Gruppe II und <35% in Gruppe I. Die Vermeidungsrate in Gruppe I steigerte sich prozentual um weitere 35,6% auf eine maximale Vermeidungsrate von konstant < 52% am 3. und 4. Testtag. Bezüglich des Parameters *Excessive Instrument Force* erhöhte sich in Gruppe II die Vermeidungsrate um 55,3% auf <15%. Hierbei zeigte sich in Gruppe I eine Anhebung der Vermeidungsrate am 2. Testtag um 42,92% auf <25% und um 63,76% am 4. Testtag auf <40% der *Excessive Instrument Force*. Die nicht ausgelöste Rate an *Instruments out of View* konnte am 2. Testtag in Gruppe I um 14,6% gesteigert werden und blieb in Folge konstant bei >80%. Die Probanden der Gruppe II verbesserte sich diesbezüglich kaum und lagen am 2. Testtag bei <60% der nicht ausgelösten Rate an *Instruments out of View* (s. Tab. 38).

Im Folgenden werden die vermiedenen einmaligen Ereignisse aus Gruppe I im Verlauf der Testtage zur Darstellung der einzelnen Kurvenverläufe, Annäherungstendenzen und Grenzwertüberschreitungen (z.B. > 80%), unterteilt nach Schwierigkeitsgraden (s. 4.2.1) *sehr leicht*, *leicht* und *mittel* (s. 4.7.6) und *schwer* (s. 4.7.7), zur besseren Vergleichbarkeit grafisch aufbereitet.

### 3.7.6 Grafische Darstellung der Rate an vermiedenen einmaligen Ereignissen der Parameter *Excessive Instrument Force*, *Instruments out of View*, *Collisions* und *Drops*

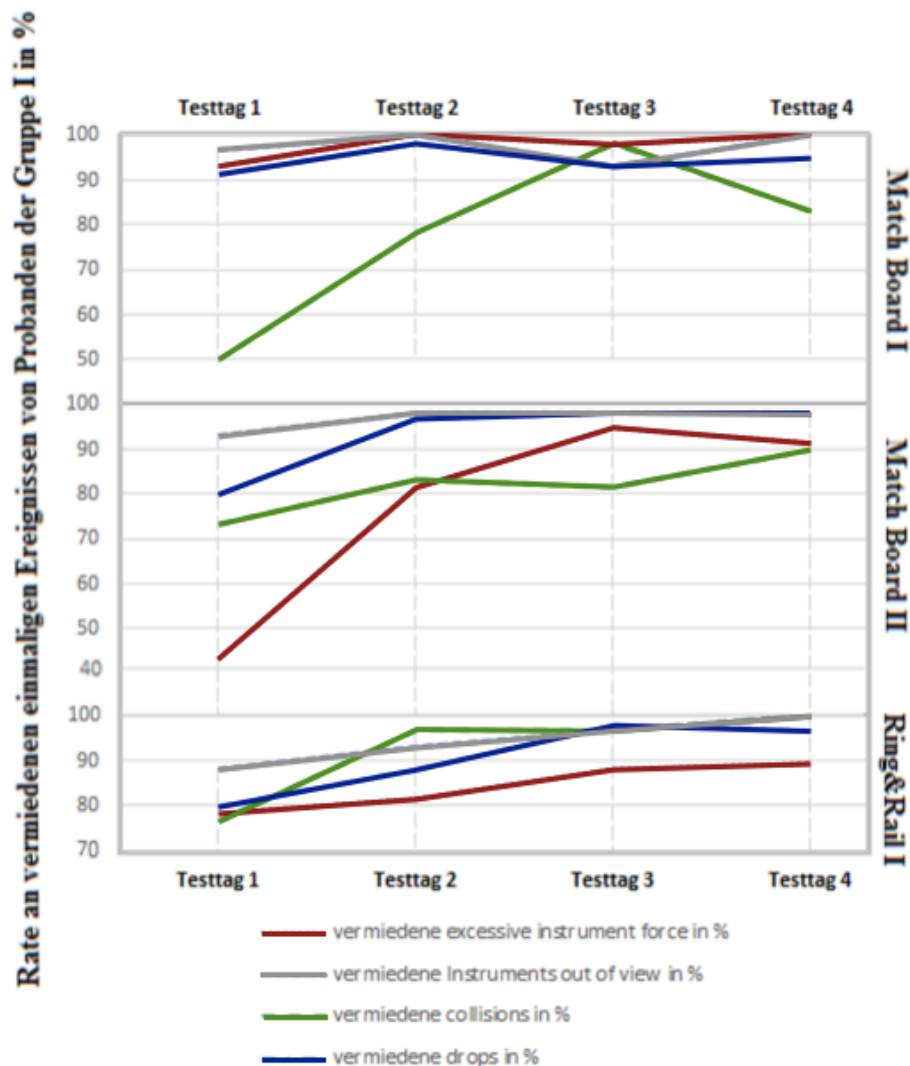


Abbildung 34: Rate an vermiedenen einmaligen Ereignissen von Probanden bezüglich *Excessive Instrument Force*, *Instruments out of View*, *Collisions* und *Drops* in *Match Board I-II* und *Ring & Rail I*

Aus der Abbildung 34 geht hervor, dass die Vermeidungsraten der *Instruments out of View* grundsätzlich in > 80% ab dem 1. und > 90% ab dem 2. Testtag in den dargestellten Übungen liegen. Ein ähnliches Bild skizzierte sich bezüglich vermiedener *Drops*, die bis auf *Ring & Rail I* ab dem 2. Testtag eine Vermeidungsrate > 90% aufwies. In *Match Board I* stellte sich die Rate an nicht ausgelösten Ereignissen am 1. Testtag hinsichtlich der *Instruments out of View* mit 50% bzw. in *Match Board II* mit <80% und die vermiedenen *Excessive Instrument Force* Ereignisse mit <50% dar. Bei der Analyse des 2. Testtages waren nahezu 80% bzw. >80%-igen Raten an vermiedener Ereignisse aller 4 Para-

## **Ergebnisse**

meter abzulesen, sowie einem konstanten Vermeidungsniveau von  $>80\%$  dieser Parameter zu erkennen. Am 4. Testtag verdichteten sich die Ergebnisse an Vermeidungsraten der 4 Parameter bei nahezu  $90\%$  bzw.  $> 90\%$  in den 3 illustrierten Übungen. Als Ausnahme waren die ausgelösten einmaligen Ereignisse an *Collisions* mit  $<90\%$  in *Match Board I* am 4. Testtag anzusehen (s. Abb. 34).

3.7.7 Grafische Darstellung der Rate an vermiedenen einmaligen Ereignissen der Parameter *Excessive Instrument Force*, *Instruments out of View*, *Collisions* und *Drops* von Probanden der Gruppe I in den Übungen *Match Board III* und *Ring & Rail II*.

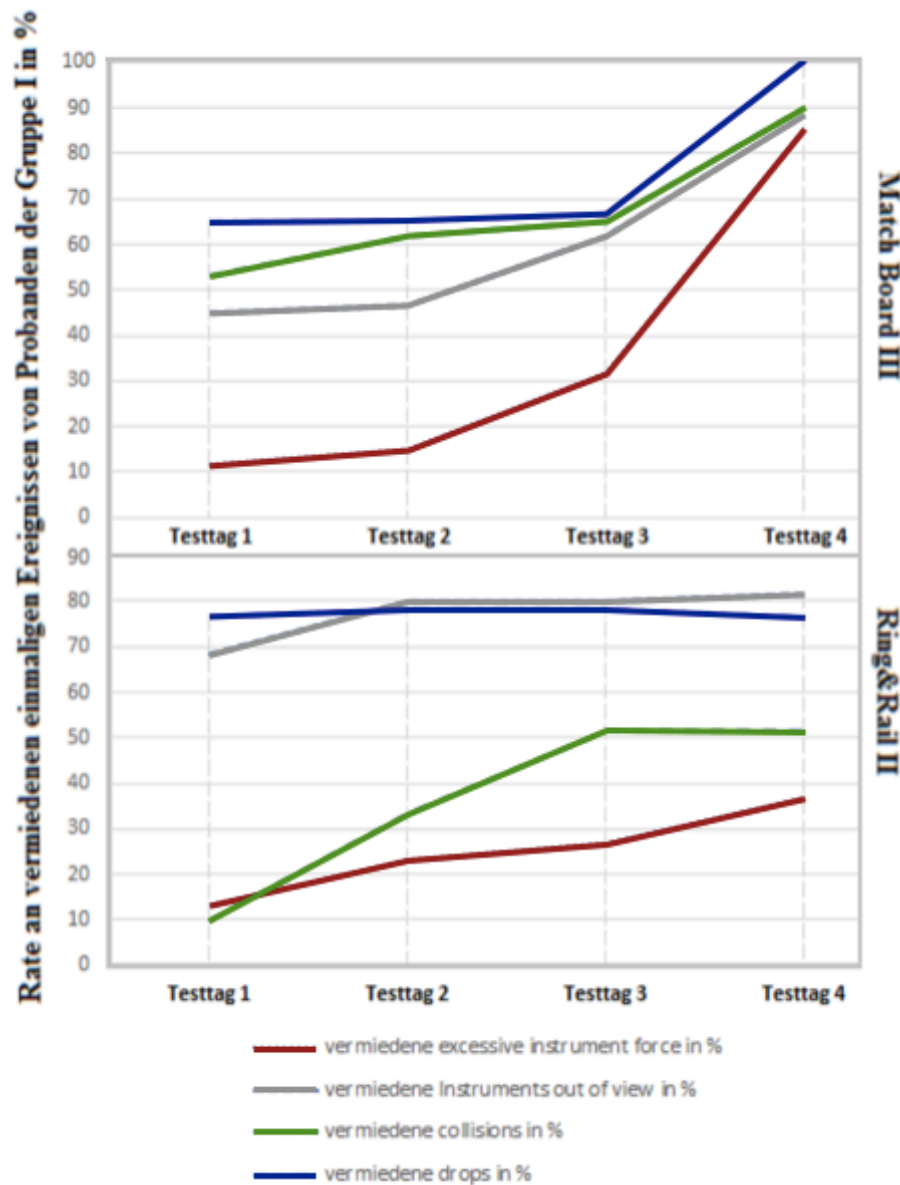


Abbildung 35: Rate an vermiedenen einmaligen Ereignissen von Probanden bezüglich *Excessive Instrument Force*, *Instruments out of View*, *Collisions* und *Drops* in *Match Board III* und *Ring & Rail II*

Bei Betrachtung der Abbildung 35 ist zu erkennen, dass die Rate an nicht ausgelösten *Drops* mit <70% in *Match Board III* bzw. <80% in *Ring & Rail II* die höchsten Werte am 1. Testtag aufweist. Konstant hielt sich das Vermeidungsniveau bis zum 4. Testtag, wobei in *Match Board III* ein Anstieg auf 100% erfolgte. Am 3. Testtag ist in *Match Board III* eine Annäherung der Vermeidungsraten an *Collisions* und *Instruments out of View* an die der *Drops* bei >60% bzw. < 70% zu erkennen. Zwar zeigten die Vermeidungsraten in

*Ring & Rail II* an *Drops* bzw. *Instruments out of View* in *Ring & Rail II* ab dem 1. Testtag nahezu konstant 70% auf, jedoch erreichten die vermiedenen Ereignisse an *Excessive Instrument Force* bzw. *Collisions*, mit jeweils <15% bzw. 10% am 1. Testtag unter sukzessiver Zunahme auf <40% bzw. <60% am 4. Testtag nicht das selbe Niveau (s. Abb. 35).

### 3.8 Auswertung der Parameter der Abschlussübung *Needle Control*

Die Übung *Needle Control* beschreibt als einmalig durchgeführte Übung am Ende der 21 Tage des Trainingszyklus das Leistungsniveau der Probanden in beiden Gruppen. Die Darstellung der Parameter *Time to complete Exercise*, *Economy of Motion*, sowie die vermiedenen *Excessive Instrument Force*, *Instruments out of View*, *Kollisionen* und *Drops* geben einen Hinweis auf das unterschiedliche Trainingsniveau der Probanden. Der Parameter *Needle Targeting* ist als Zusatz zu werten, der eine neue Anforderung darstellte. Der *Overall Score* kann als Maß für den Schwierigkeitsgrad der Übung *Needle Control* dargestellt werden. Die prozentualen Unterschiede werden in den Beschreibungen aufgeführt.

#### 3.8.1 Grafische und tabellarische Darstellung des Parameters *Time to complete Exercise* der Übung *Needle Control* im Gruppenvergleich

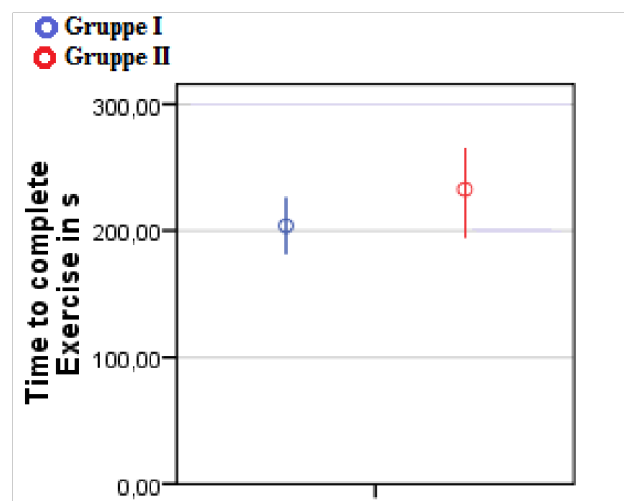


Abbildung 36: Vergleich der *Time to complete Exercise* in Gruppe I und II

| Gruppe | <i>Time to complete Exercise in s</i> | Standardabweichung in s | p-Wert |
|--------|---------------------------------------|-------------------------|--------|
| I      | 203,85                                | 48,50                   | 0,180  |
| II     | 232,75                                | 81,50                   |        |

Tabelle 39: Vergleich der *Time to complete Exercise*, der Standardabweichung und des p-Wertes in Gruppe I und II

Aus der Abbildung 36 wird ersichtlich, dass Gruppe II eine höhere *Time to complete Exercise* benötigte als Gruppe I, welche eine um 12,42% niedrigere *Time to complete Exercise* mit signifikantem Unterschied ( $p=0,180$ ) aufzeigte (s. Abb. 36 / Tab. 39).

### 3.8.2 Grafisch und tabellarische Darstellung des Parameters *Economy of Motion* der Übung *Needle Control* im Gruppenvergleich

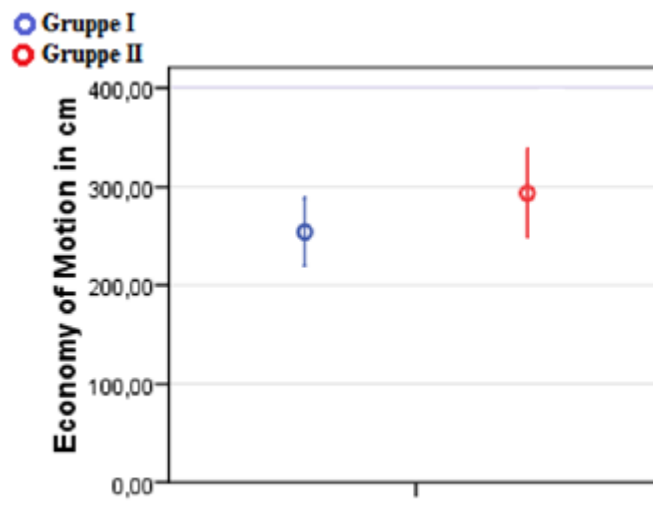


Abbildung 37: Vergleich der *Economy of Motion* im Gruppenvergleich

| Gruppe | <i>Economy of Motion in cm</i> | Standardabweichung in cm | p-Wert |
|--------|--------------------------------|--------------------------|--------|
| I      | 254,20                         | 73,29                    | 0,153  |
| II     | 293,60                         | 96,10                    |        |

Tabelle 40: Vergleich der *Economy of Motion*, der Standardabweichung und des p-Wertes in Gruppe I und II

Die Abbildung 37 skizziert eine höhere *Economy of Motion* in der Gruppe II. Der signifikante Unterschied zur Gruppe I war um 13,42% höher als in Gruppe II (s. Abb. 37 / Tab. 40).

3.8.3 Grafische Darstellung des Parameters *Missed Targets* der Übung *Needle Control* im Gruppenvergleich

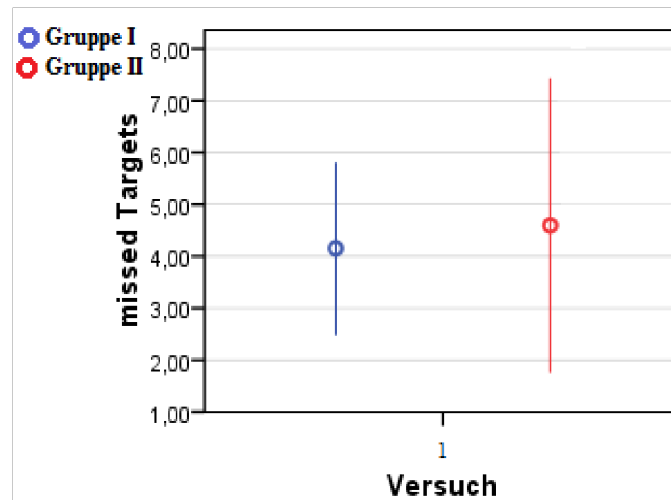


Abbildung 38: Darstellung des Parameters *Missed Targets* nach Wiederholung im Gruppenvergleich

| Gruppe | <i>Missed Targets in n</i> | Standardabweichung in n | p-Wert |
|--------|----------------------------|-------------------------|--------|
| I      | 4,15                       | 3,56                    | 0,776  |
| II     | 4,60                       | 6,06                    |        |

Tabelle 41: Vergleich der *missed Targets*, der Standardabweichung und des p-Wertes in Gruppe I und II

In der Abbildung 38 war eine höhere nicht signifikante Quote an *Missed Targets* in Gruppe II mit einer höheren Standardabweichung zu erkennen (s. Abb. 38 / Tab. 41).

### 3.8.4 Tabellarische Darstellung der Parameter *Excessive Instrument Force*, *Instruments out of View*, *Collisions* und *Drops* der Übung *Needle Control* im Gruppenvergleich

| Gruppe | vermiedene <i>Excessive Instrument Force</i> |    | vermiedene <i>Instruments out of View</i> |    | vermiedene <i>Collisions</i> |   | vermiedene <i>Drops</i> |    | <i>Missed Targets</i> |   |
|--------|--|----|---|----|------------------------------|---|-------------------------|----|-----------------------|---|
|        | %  | n  | %   | n  | %                            | n | %                       | n  | %                     | n |
| I      | 75,0   | 15 | 95,0                                      | 19 | 35,0                         | 7 | 60,0                    | 12 | 10,0                  | 2 |
| II     | 80,0   | 16 | 100,0                                     | 20 | 30,0                         | 6 | 65,0                    | 13 | 5,0                   | 1 |

Tabelle 42: Vergleich der Parameter *Excessive Instrument Force*, *Instruments out of View*, *Collisions*, *Drops* und *Missed Targets* der Übung *Needle Control* in den Gruppen I und II

Aus der Tabelle 42 ist zu entnehmen, dass sich jeweils von den Probanden in Gruppe I und Gruppe II annähernd gleich hohe Vermeidungsraten bezüglich aller oben aufgelisteten Parameter zeigen. Die Vermeidungsrate an *missed Targets* lag bei  $\leq 10\%$  und die an *Collisions* bei  $\leq 35\%$ , sowie die der *Drops* bei  $\leq 65\%$ . Die Vermeidungsraten an *Excessive Instrument Force* und *Instruments out of View* lag bei  $\geq 75\%$  bzw.  $\geq 95\%$  in beiden Gruppen (s. Tab. 42).

### 3.9. Darstellung der Leistungen der Probanden in Gruppe I und II ab dem 1. Testtag

In welchem Umfang sich die Probanden im Verlauf der Testtage hinsichtlich des *Overall Score* angenähert oder voneinander distanziert haben, wurde auf Grundlage einer am 1. Testtag vorgenommenen Einteilung in drei Gruppen untersucht. Die Unterteilung fand nach erreichtem minimalen *Overall Score* aus einer der drei Wiederholungen statt. Somit konnten Probanden zwar beispielsweise einen mittleren *Overall Score*  $>50\%$  erreichen, jedoch erfolgte bei einem *Overall Score*  $<50\%$  in einer der drei Wiederholungen die Zuteilung in die Gruppe mit  $<50\%$ . Die Unterteilung erfolgte anhand der vorgegebenen Grenzwerte der *Mimics*<sup>®</sup> *Software* nach farblichen Symbolen (s. 3.7). Im Detail wurden Probanden, die einen *Overall Score*  $> 80\%$  erzielten als *gut* bewertet, diejenigen mit  $> 50\%$ , aber  $< 80\%$  *Overall Score* als *befriedigend* bzw. diejenigen Probanden, deren *Overall Score* bei  $<50\%$  lag mit dem Prädikat *ausreichend* eingestuft. Als Zielwert wurde ein mittlerer *Overall Score*  $>80\%$ , entsprechend eines *guten* Leistungsniveau angesehen. Die prozentualen Unterschiede werden nachfolgend in den folgenden Beschreibungen aufgeführt.



3.9.1 Tabellarische Darstellung des *Overall Score* und des  $\Delta$  *Overall Score* in Unterteilung durch ein *Overall Score* Intervall der Gruppe I und II nach Testtagen in der Übung *Match Board I*

| Gruppe | Testtag | mittlerer <i>Overall Score</i>    |               |   |               |  |               |
|--------|---------|-----------------------------------|---------------|---|---------------|--|---------------|
|        |         | <i>Gut</i><br>=>80% Overall Score |               | <i>Befriedigend</i><br>=>50% bzw. < 80% Overall Score |               | <i>Ausreichend</i><br>=< 50% Overall Score |               |
|        |         | in %                              | $\Delta$ in % | in %  | $\Delta$ in % | in %                                       | $\Delta$ in % |
| I      | 1       | <b>83,00</b>                      | -             | <b>71,60</b>  | -             | <b>62,33</b>                               | -             |
|        |         | erzielt von 1 Probanden           |               | erzielt von 15 Probanden                              |               | erzielt von 4 Probanden                    |               |
|        | 2       | <b>90,67</b>                      | 7,67          | <b>81,51</b>  | 9,91          | <b>82,42</b>                               | 20,09         |
|        | 3       | <b>91,00</b>                      | 8,00          | <b>87,88</b>  | 16,28         | <b>86,92</b>                               | 24,59         |
|        | 4       | <b>90,00</b>                      | <u>7,00</u>   | <b>90,09</b>  | <u>18,49</u>  | <b>87,92</b>                               | <u>25,59</u>  |
| II     | 1       | <b>81,00</b>                      | -             | <b>71,14</b>  | -             | -  | -             |
|        |         | erzielt von 1 Probanden           |               | erzielt von 19 Probanden                              |               | nicht erzielt                              |               |
|        | 2       | <b>81,00</b>                      | <u>0,00</u>   | <b>79,39</b> *  | <u>8,35</u>   | -  | -             |

\* *Overall Score* <  $\Delta$ 3% im Vergleich zu Gruppe I am 2. Testtag selbiger Einteilung

Tabelle 43: tabellarischer Vergleich des *Overall Score* und des  $\Delta$  *Overall Score* in Unterteilung durch ein *Overall Score* Intervall der Gruppe I und II nach Testtagen.

Aus der Tabelle 43 erschließt sich, dass die Mehrheit der Probanden in Gruppe I am 2. Testtag mit einer prozentualen Steigerung um 12,16% einen mittleren *Overall Score* > 80% erreichen konnte. Mit einer Zunahme um 24,38% erzielten die als *ausreichend* klassifizierten Probanden ebenfalls am 2. Testtag einen mittleren *Overall Score* > 80%. Die Probanden der Gruppe II in der Einteilung >50% bzw. <80% des *Overall Score* verfehlten bei einer Zunahme um 10,39% nach 21 Tagen einen mittleren *Overall Score* > 80%. Im Vergleich konnten die Probanden aller drei Einteilungen der Gruppe I nach zwei weiteren Testtagen zwischen 87%-90% des mittleren *Overall Score* vorweisen (s. Tab. 43).

3.9.2 Tabellarische Darstellung des *Overall Score* und des  $\Delta$  *Overall Score* in Unterteilung durch ein *Overall Score* Intervall der Gruppe I und II nach Testtagen in der Übung *Match Board II*

| Gruppe | Testtag | mittlerer <i>Overall Score</i> |               |                                |               |                         |               |
|--------|---------|--------------------------------|---------------|--------------------------------|---------------|-------------------------|---------------|
|        |         | <i>Gut</i>                     |               | <i>Befriedigend</i>            |               | <i>Ausreichend</i>      |               |
|        |         | =>80% Overall Score            |               | =>50% bzw. < 80% Overall Score |               | =< 50% Overall Score    |               |
|        |         | in %                           | $\Delta$ in % | in %                           | $\Delta$ in % | in %                    | $\Delta$ in % |
| I      | 1       | -                              | -             | <u>66,91</u>                   | -             | <u>52,00</u>            | -             |
|        |         | Nicht erzielt                  |               | Erzielt von 18 Probanden       |               | Erzielt von 2 Probanden |               |
|        | 2       | -                              | -             | <b>81,30</b>                   | 14,39         | <b>76,67</b>            | 24,67         |
|        | 3       | -                              | -             | <b>87,46</b>                   | 20,55         | <b>82,33</b>            | 30,33         |
|        | 4       | -                              | -             | <b>91,91</b>                   | <u>25,00</u>  | <b>91,50</b>            | <u>39,50</u>  |
| II     | 1       | -                              | -             | <u>66,95</u>                   | -             | <u>53,33</u>            | -             |
|        |         | Nicht erzielt                  |               | Erzielt von 14 Probanden       |               | Erzielt von 6 Probanden |               |
|        | 2       | -                              | -             | <b>76,62</b>                   | <u>9,67</u>   | <b>74,78</b>            | <u>21,45</u>  |

Tabelle 44: tabellarischer Vergleich des *Overall Score* und des  $\Delta$  *Overall Score* in Unterteilung durch ein *Overall Score* Intervall der Gruppe I und II nach Testtagen.

Aus der Tabelle 44 ist zu entnehmen, dass 90% der Probanden aus Gruppen I und 70% einen *Overall Score* >50% bzw. <80% am 1. Testtag aufzeigen konnten. Diese Probanden der Gruppe I konnten ihren *Overall Score* innerhalb von 7 Tagen um 17,7% steigern und erreichten einen mittleren *Overall Score* von >80%. Der Anstieg des *Overall Score* der Gruppe II, der als *befriedigend* eingeteilten Probanden, lag unterhalb der 80% mittlerem *Overall Score*, da eine Zunahme innerhalb von 21 Tagen nur um 12,62% möglich war. Die Probanden mit *ausreichender* Einteilung in Gruppe I konnten am 3. Testtag einen mittleren *Overall Score* von >80% erzielen, wohingegen in Gruppe II ein mittlerer *Overall Score* von <75% bestand. Am 4. Testtag skizzierte sich eine Gleichwertigkeit bei einem mittleren *Overall Score* von 91-92% in der Probandeneinteilung >50% bzw. < 80% und <50% *Overall Score* (s. Tab. 44).

3.9.3 Tabellarische Darstellung des *Overall Score* und des  $\Delta$  *Overall Score* in Unterteilung durch ein *Overall Score* Intervall der Gruppe I und II nach Testtagen in der Übung *Match Board III*

| Gruppe | Testtag | mittlerer <i>Overall Score</i> |               |                                |               |                          |               |
|--------|---------|--------------------------------|---------------|--------------------------------|---------------|--------------------------|---------------|
|        |         | <i>Gut</i>                     |               | <i>Befriedigend</i>            |               | <i>Ausreichend</i>       |               |
|        |         | =>80% Overall Score            |               | =>50% bzw. < 80% Overall Score |               | =< 50% Overall Score     |               |
|        |         | in %                           | $\Delta$ in % | in %                           | $\Delta$ in % | in %                     | $\Delta$ in % |
| I      | 1       | -                              | -             | <b>61,92</b>                   | -             | <b>44,48</b>             | -             |
|        |         | Nicht erzielt                  |               | Erzielt von 4 Probanden        |               | Erzielt von 16 Probanden |               |
|        | 2       | -                              | -             | <b>80,67</b>                   | 18,75         | <b>68,48</b>             | 24,00         |
|        | 3       | -                              | -             | <b>84,67</b>                   | 23,00         | <b>77,21</b>             | 32,73         |
|        | 4       | -                              | -             | <b>87,42</b>                   | <u>25,50</u>  | <b>81,46</b>             | <u>36,98</u>  |
| II     | 1       | -                              | -             | <b>63,80</b>                   | -             | <b>41,22</b>             | -             |
|        |         | Nicht Erzielt                  |               | Erzielt von 5 Probanden        |               | Erzielt von 15 Probanden |               |
|        | 2       | -                              | -             | <b>72,93</b>                   | <u>9,13</u>   | <b>57,49</b>             | <u>16,27</u>  |

Tabelle 45: tabellarischer Vergleich des *Overall Score* und des  $\Delta$  *Overall Score* in Unterteilung durch ein *Overall Score* Intervall der Gruppe I und II nach Testtagen.

Die Tabelle 45 stellt dar, dass ca. 80% der Probanden in Gruppe I und 75% in Gruppe II einen *Overall Score* mit < 50% am 1. Testtag aufzeigten. Die Probanden der Gruppe I konnten am 4. Testtag einen *Overall Score* >80%. Die Probanden der Gruppe II zeigten eine Verbesserung um 28,3% auf <58% mittleren *Overall Score*. Ersichtlich wird aus der Tabelle 46, dass die Probanden der Gruppe II, die als *befriedigend* eingeteilt wurden, zwar eine Steigerung um 15,52% erzielten, aber bei < 73% mittleren *Overall Score* am 2. Testtag stagnierten. In Gruppe I lagen diese als *befriedigend* beurteilten Probanden mit prozentualer Erhöhung um 23,24% am 2. Testtag bei >80% (s. Tab. 45).

3.9.4 Tabellarischer Vergleich des *Overall Score* und des  $\Delta$  *Overall Score* in Unterteilung durch ein *Overall Score* Intervall der Gruppe I und II nach Testtagen in der Übung *Ring & Rail I*.

| Gruppe | Testtag | mittlerer <i>Overall Score</i> |               |                               |               |                     |               |
|--------|---------|--------------------------------|---------------|-------------------------------|---------------|---------------------|---------------|
|        |         | <i>Gut</i>                     |               | <i>Befriedigend</i>           |               | <i>Ausreichend</i>  |               |
|        |         | =>80% Overall Score            |               | =>50% bzw. <80% Overall Score |               | =<50% Overall Score |               |
|        |         | in %                           | $\Delta$ in % | in %                          | $\Delta$ in % | in %                | $\Delta$ in % |
| I      | 1       | 89,21                          | -             | 83,14                         | -             | -                   | -             |
|        |         | Erzielt von 13 Probanden       |               | Erzielt von 7 Probanden       |               | Nicht erzielt       |               |
|        | 2       | 93,85                          | 4,64          | 93,63                         | 10,49         | -                   | -             |
|        | 3       | 95,59                          | 6,38          | 94,38                         | 11,24         | -                   | -             |
|        | 4       | 96,90                          | 7,69          | 93,53                         | 10,39         | -                   | -             |
| II     | 1       | 89,81                          | -             | 84,17                         | -             | -                   | -             |
|        |         | Erzielt 16 Probanden           |               | Erzielt von 4 Probanden       |               | Nicht erzielt       |               |
|        | 2       | 91,60 *                        | 1,79          | 88,92                         | 4,75          | -                   | -             |

\* *Overall Score* <  $\Delta$ 3% im Vergleich zu Gruppe I am 2. Testtag selbiger Einteilung

Tabelle 46: tabellarischer Vergleich des *Overall Score* und des  $\Delta$  *Overall Score* eine Unterteilung durch ein *Overall Score* Intervall der Gruppe I und II nach Testtagen.

Aus der Tabelle 46 geht hervor, dass ca. 65% der Probanden aus Gruppe I und 80% der Gruppe II am 1. Testtag einen *Overall Score* > 80% erzielten. Ab dem 2. Testtag erreichten die als gut eingestuften Probanden der Gruppe I und II einen konstant verlaufenden mittlerer *Overall Score* von ca. 91-94%. Am 2. Testtag zeigten die Probanden der Gruppe I gegenüber denen der Gruppe II in der Einteilung von >50% bzw. <80% einen stärkeren Anstieg um 11,2% gegenüber 5,34% und lagen damit bei >90% mittlerem *Overall Score* im Gegensatz zu den Probanden der Gruppe II (s. Tab. 46).

3.9.5 Tabellarischer Vergleich des *Overall Score* und des  $\Delta$  *Overall Score* in Unterteilung durch ein *Overall Score* Intervall der Gruppe I und II nach Testtagen in der Übung *Ring & Rail II*

| Gruppe | Testtag | Overall Score           |               |                                |               |                          |               |
|--------|---------|-------------------------|---------------|--------------------------------|---------------|--------------------------|---------------|
|        |         | <i>Gut</i>              |               | <i>Befriedigend</i>            |               | <i>Ausreichend</i>       |               |
|        |         | =>80% Overall Score     |               | =>50% bzw. < 80% Overall Score |               | =< 50% Overall Score     |               |
|        |         | in %                    | $\Delta$ in % | in %                           | $\Delta$ in % | in %                     | $\Delta$ in % |
| I      | 1       | <u>86,67</u>            | -             | <u>65,07</u>                   | -             | <u>53,22</u>             | -             |
|        |         | Erzielt von 1 Probanden |               | Erzielt von 10 Probanden       |               | Erzielt von 9 Probanden  |               |
|        | 2       | 89,00                   | 2,33          | 72,87                          | 7,80          | 70,96                    | 17,74         |
|        | 3       | 84,33                   | 2,34          | 82,80                          | 17,73         | 79,59                    | 26,37         |
|        | 4       | 95,00                   | <u>8,33</u>   | 87,13                          | <u>22,06</u>  | 85,96                    | <u>32,74</u>  |
| II     | 1       | <u>78,33</u>            | -             | 67,78                          | -             | <u>48,19</u>             | -             |
|        |         | Erzielt von 2 Probanden |               | Erzielt von 6 Probanden        |               | Erzielt von 12 Probanden |               |
|        | 2       | 83,83                   | <u>5,50</u>   | 74,56 *                        | <u>6,78</u>   | 58,31                    | <u>10,12</u>  |

\* *Overall Score* <  $\Delta$ 3% im Vergleich zu Gruppe I am 2. Testtag selbiger Einteilung

Tabelle 47: tabellarischer Vergleich des *Overall Score* und des  $\Delta$  *Overall Score* eine Unterteilung durch ein *Overall Score* Intervall der Gruppe I und II nach Testtagen.

Die tabellarische Auswertung ergibt, dass ca. 50% der Probanden der Gruppe I am 1. Testtag als *befriedigend* und 45% als *ausreichend* eingestuft werden konnten und erstere einen geringeren Anstieg um 10,7% als letztere um 25% aufzeigten. Am 2. Testtag lagen diese beiden Gruppe in einer annähernd gleichen Verteilung von 71%-73% mittlerem *Overall Score* und zeigten auch am 4. Testtag eine nahezu äquivalente Verteilung von 86%-87% mittlerem *Overall Score*. Die als *befriedigend* eingestuften Probanden der Gruppe II wiesen am 2. Testtag einen Anstieg um 9,09% auf <75% mittlerem Overall Score nach. Niedriger fiel die Entwicklung des mittleren *Overall Score* in der Einteilung der als *ausreichend* eingestuften Probanden aus, da sich hier nur eine prozentuale Steigerung um 17,35% auf <60% abschließendem mittleren *Overall Score* darstellte (s. Tab. 47).

### 3.9.6 Grafische Darstellung des mittleren *Overall Score* nach Leistungsniveau der Probanden in Gruppe I der Übungen mit *sehr leichtem*, *leichtem* und *mittleren* Anforderungsbereich

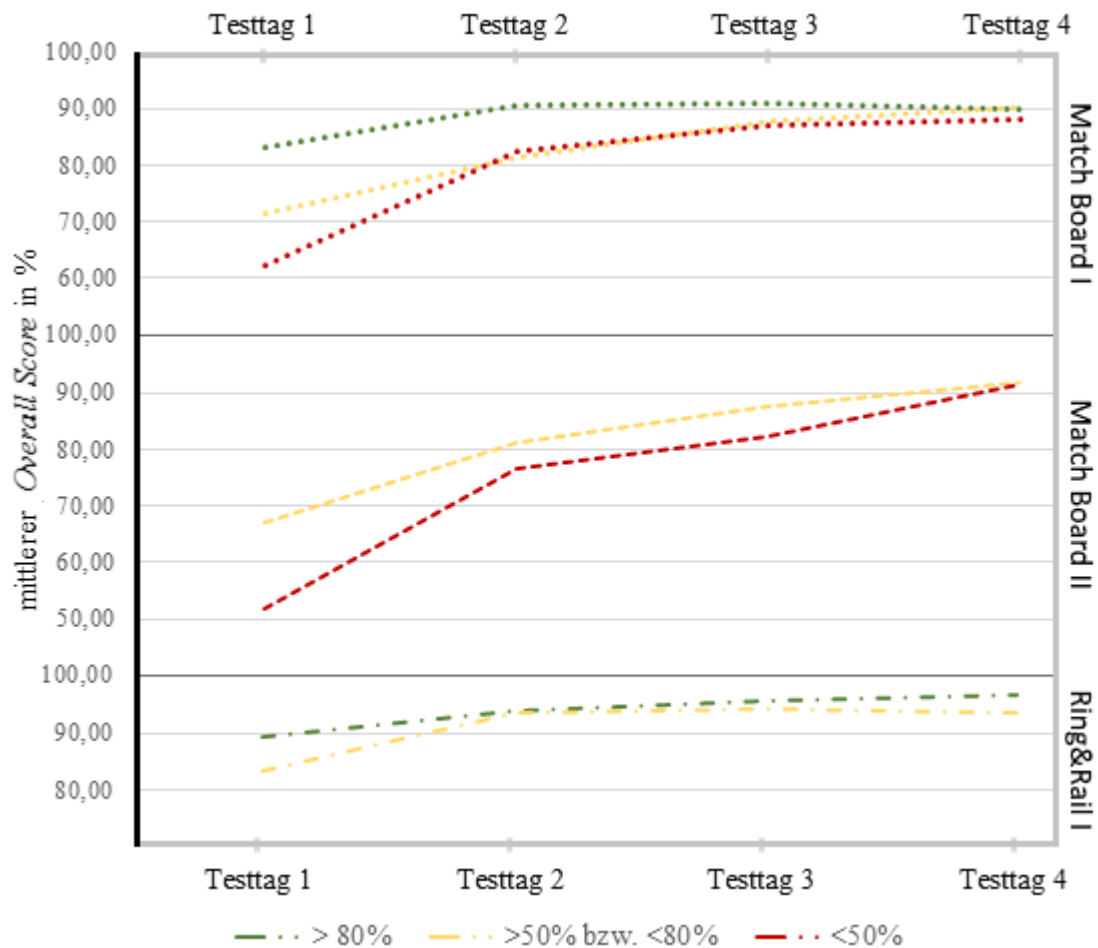


Abbildung 39: Vergleich des mittleren Overall Score in den Übungen *Match Board I-II* bzw. *Ring & Rail I* nach Testtagen

Die Darstellung der Kurvenverläufe zeigt, dass aus anfänglichen Differenzen des mittleren *Overall Score* am 1. Testtag bereits am 2. Testtag eine Annäherung des Niveaus in *Match Board I* bzw. *Match Board II* der Probanden mit Einteilung als *ausreichend* und *befriedigend* erfolgte. Hierbei lag der mittlere *Overall Score* mit >81% bis 82% bzw. >76% bis 81% und nahezu identischem sukzessiven Anstieg am 3. und 4. Testtag gleichauf. Am 4. Testtag wird aus der Grafik ersichtlich, dass in *Match Board* der mittlere *Overall Score* aller 3 Probandeneinteilungen abschließend bei > 87 bis > 90% lagen. Zusätzlich sei anzumerken, dass die Übung *Ring & Rail I*, welche als *sehr leicht* eingestuft wird, keinen *Overall Score* < 50% hervorbringt, wiederum in *Match Board II* mit *mittlerem* Anforderungsgrad, kein *Overall Score* >80% den Probanden gelungen war. Alle 3 Probandeneinteilung waren repräsentiert in der als *leicht* eingestuften Übungen *Match*

Board I (s. Abb. 39).

### 3.9.7 Grafische Darstellung des mittleren *Overall Score* nach Leistungsniveau der Probanden der Gruppe I der Übungen mit schwierigen Anforderungsbereich

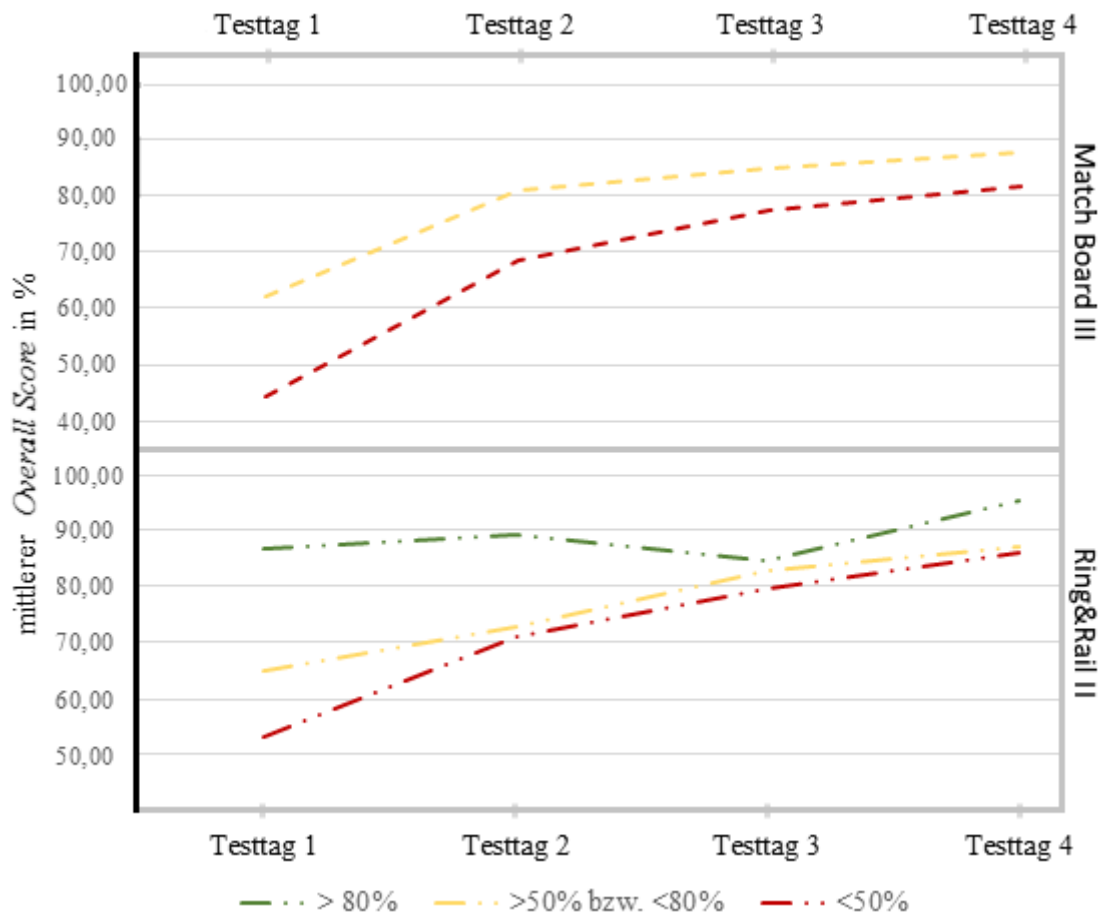


Abb. 40: Vergleich des mittleren Overall Score in den Übungen *Match Board III* und *Ring & Rail II* nach Testtagen

Der Grafik ist zu entnehmen, dass die Probanden in *Ring & Rail II*, welche am 1. Testtag < 50% *Overall Score* erzielten am 2. Testtag mit ca. 70% mittlerem *Overall Score* zu den Probanden mit einem *befriedigendem Overall Score* aufschlossen. Infolge glichen sich ab dem 3. Testtag die Niveaus des mittleren *Overall Score* bei ca. 80% in aller 3 Probandeneinteilungen an. In *Match Board III* war dagegen keine Annäherung der Probanden mit *ausreichendem* und *befriedigendem Overall Score* erkennbar. Hierbei erreichte letztere Gruppe am 2. Testtag >80% mittleren *Overall Score*, wohingegen die Probanden mit Einteilung <50% *Overall Score* erst am 4. Testtag >80% erreichten (s. Abb. 40).

---

#### 4. Diskussion

Die auf Grundlage einer analytischen Longitudinalstudie mit monozentrischer quasirandomisierter Teilnehmer/Innenrekrutierung basierende Datenerhebung stellt verschiedene mögliche nennenswerte Fehlerquellen dar. Kritische Anmerkungen zur konzipierten Kohortenstudie, dem Studiendesign und der prospektiven Datenerhebung können unter folgenden Punkten im Sinne einer Material- und Methodenkritik aufgelistet werden:

Eine Doppel- oder Dreifachblindheit ist nicht für das Studiendesign angewandt worden. Der Untersucher hat die randomisierte Rekrutierung der Teilnehmer/Innen und die Datenerhebung der Probanden durchgeführt, sodass auch die Probanden ihre Gruppenzugehörigkeiten kannten. Die Datenerhebung könnte mit höherer Wahrscheinlichkeit Intentionen oder Motivationen welche auf die Probanden durch den Untersucher übertragene wurden beinhalten. Die unverblindete Datenerhebung wurde zugunsten eines vereinfachten Ablaufs im OP am *dVSkS*<sup>®</sup> vorgezogen um einen effektiven Ablauf der Probandenuntersuchungen für die in den Studien definierten Zeiträume zu gewährleisten. Die Datenauswertung erfolgte dafür untersucher- und probandenunabhängig und in diesem Rahmen einfach-verblindet.<sup>135</sup> Durch ein Losverfahren mit gleichmäßiger Geschlechteraufteilung auf die Kohorten ist die Wahrscheinlichkeit des Auftretens eines Selektionsbias reduziert worden. Allerdings ist von einer unterschiedlichen Teilnahmebereitschaft der einzelnen Probanden im Gruppenvergleich auszugehen, was zu einer Stichprobenverzerrung geführt haben könnte und als nachteilig anzusehen ist.<sup>136 137</sup>

Einhergehen die Ergebnisse eventuell auch mit einem Informationsbias, der aus möglichen Bekanntschaften der Teilnehmer/Innen resultiert, da im Rahmen der Studie nicht gewährleistet werden konnte, ob Probanden untereinander Strategien oder Abläufe im Vornherein weitergaben. Zu Bedenken ist außerdem, dass die Teilnehmer/Innen entgegen der Erklärung zur Studienteilnahme zwischen den Testtagen an simulationsähnlichen Geräten (z.B. Laparoskopie, Spielekonsolen) geübt haben könnten. Zur Verbesserung solcher Probleme hätten vor jedem Testtag ein Verfahren der Gegenkontrollen, z.B. in Form von Fragebögen von den Probanden ausgefüllt werden können.

Eine interindividuelle Variabilität kann sich anhand der 4 durchgeführten Testtage im



Verlauf ergeben haben. Für statistische Veränderungen der Grundgesamtheit in beiden Gruppen waren mehrere Testtage nötig um ggf. signifikante Unterschiede herausstellen zu können. Zudem kann sich eine intraindividuelle Variabilität durch die jeweils dreimaligen Wiederholungen in Anbetracht zufälliger Fehler ergeben haben. Nötig war dies jedoch im Konsens der zu erlangenden Lernerfahrungen und -erfolge für die einzelnen Übungen.

Systematische Erfassungsfehler können durch eine umfassend strukturierte Einführung in die Bedienung des *dVSkS*<sup>®</sup> und Informationsgewinnung bei beobachtungsgleicher Methodik und annähernd identischem Zeitraum zwar durch den selben Untersucher reduziert, aber nicht ausgeschlossen werden. Es hätte in diesem Zusammenhang ein Standard in schriftlicher Form entwickelt werden können.

Eine Beeinflussung der Ergebnisse kann darüber hinaus in diesem Zusammenhang durch die unter permanenter Aufsicht stehenden Teilnehmer/Innen während der Übungsdurchläufe von Seiten des Untersuchers im Sinne des *Hawthorne-Effektes* in Erwägung gezogen werden. Dahingehend ändern Teilnehmer/innen in einer Beobachtungsstudie ihr natürliches Verhalten, wenn sie wissen, dass sie beobachtet werden. Ein konsequentes Beobachten der Probanden hätte sich durch das beispielsweise Verlassen des Untersuchers während der Bearbeitung der Übungen reduzieren lassen können. Dieser hätte nur bei Fehlern der Soft- oder Hardware den Raum betreten und einschreiten müssen. Des Weiteren könnte durch eine digitalisierte oder automatische Übertragung der Daten des *dVSkS*<sup>®</sup> auf ein protokollierendes System (z.B. Laptop) nahezu gänzlich negiert werden können.

Festzustellen ist auch, dass die jeweiligen Stichprobengrößen (Gruppe I n=20, Gruppe II n=20) eine niedrige Konsistenz der Daten mit unmittelbaren Auswirkungen auf die Grundgesamtheit und ihrer Reproduzierbarkeit aufweisen, d.h. alle Verzerrungen und Fehler wirken sich mit hoher Wahrscheinlichkeit stärker auf die Ergebnisse aus. Um die Studie erfolgreich im Sinne eines Pilotprojektes und geringem Aufwand durchführen zu können, wurde die Anzahl von 40 Teilnehmer begrenzt.

Des Weiteren soll auf einen möglichen Konfundierungseffekt bei der Erhebung der Daten z.B. nach einem Arbeitstag (z.B. Teilnehmer/Innen im praktischen Jahr) durch Müdigkeit der Probanden/Innen hingewiesen werden.

An der Software sind Mängel in der Übung *Ring & Rail I* und *II* aufgetreten, bei denen ein Abziehen des zu führenden Ringes von der Stange unabhängig von der angezeigten Kraft möglich gewesen ist und Drops auslöste. Ein wiederholtes Neuansetzen des Ringes

war hierdurch nötig, was Zeitverluste nach sich zog.

In Zusammenschau skizziert sich der *dVSkS*<sup>®</sup> bei der Bedienung, als auch auf Softwareebene für viele Probanden der Studien nach abschließendem mündlichen Feedback in einem überwiegend positiven Bild. Hervorzuheben ist dabei die Hilfestellung der Software während den Übungen durch kleine optische Symbole am Bildschirmrand, die die zu betätigenden *finger-tip* und Fußtasten anzeigen.

Die Probanden bemängeln jedoch häufig, dass die vorgegebene Zeit, *Time to complete Exercise*, zum Abschließen der Übung sehr kurz gewesen ist, sodass ein unverhältnismäßig schnelles Vorgehen auf Kosten von Parametern wie beispielsweise der *Collisions* oder der *Excessive Instrument Force* provoziert wurde.

Über gesundheitliche Auswirkungen durch das Training wurde seitens der Probanden nicht berichtet. Diesbezüglich konnten *Lee et al* bei 236 Chirurgen, die regelmäßige Operationen am *Da Vinci Surgical System* durchführten und einen Fragebogen ausfüllten, eruieren, dass geschlechts- und altersunabhängig Fingerbeschwerden und Augenprobleme abhängig von der Nutzungsdauer am Gerät auftreten können. Ebenfalls gaben die Teilnehmer/Innen Nackenbeschwerden an.<sup>138</sup>

Der Blick auf die derzeit verfügbare Literatur über Trainingsmodule und Lernkurvenentwicklungen am *dVSkS*<sup>®</sup> lässt die Schlussfolgerung zu, dass Studienergebnisse im wissenschaftlichen Diskurs Differenzen und Gemeinsamkeiten zwischen Amateuren und Experten herausfiltern sowie Lernkurven und deren Sättigungstendenzen definieren.<sup>139</sup> Der Analyseteil dieser Dissertation konnte aufschlüsseln und unterstreichen, dass die Lernkurvenentwicklung der Probanden von der Anzahl an Wiederholungen und deren zeitlichen Abstand abhängig war. Die Ergebnisse aus Gruppe II werden gesondert und in Zusammenschau ihrer Funktion als Kontrollgruppe bezüglich der Übungen und Parameter diskutiert.

Bei übungsspezifischer Analyse der Lernkurven am 3. und 4. Testtag konkretisierte sich die Sättigungstendenz als Ausdruck eines geringen mittleren *Overall Score* Anstiegs. Dies traf vor allem bei *Match Board I* bzw. *Ring & Rail I* zu. Diese beiden Übungen wiesen zwei Gemeinsamkeiten auf. Es wurden der höchste bzw. zweithöchste mittlere *Overall Score* am 1. Testtag registriert, was eine Einstufung in die Schwierigkeitsgrade *leicht* bzw. *sehr leicht* nach sich zog. Gemessen an den hohen mittleren *Overall Score*

Werten (70,32% bzw. 87,08%) spiegelte sich eine flache Lernkurve mit Sättigungstendenzen am 3. (um 6,49% bzw. 1,47%) und 4. Testtag (um 2,01% bzw. 0,57%) wider. Zum Vergleich stellte sich in der Übung *Match Board II* (um 7,04% und 5,36%), welche als *mittelschwer* beurteilt wurde, eine steilere Lernkurve als in Übung *Match Board I* (um 6,49% bzw. 2,01%) dar.

Die Analyse der Übung *Match Board III* beschrieb mit einem prozentualen Anstieg des mittleren *Overall Score* um ca. 33% in Gruppe I bzw. ca. 25% in Gruppe II die steilsten Kurvenverläufe am 2. Testtag gegenüber allen Übungen. Dieser Leistungszuwachs näherte sich erst ab dem 4. Testtag der durchschnittlichen Lernkurve der übrigen Übungen an, mit einem mittleren *Overall Score* von >80% und damit einem als *gut* definierten Leistungsstand (*proficiency level*). Die Übung *Match Board III* zeigte den niedrigsten mittleren *Overall Score* am 1. Testtag im Vergleich aller Übungen und wurde als *schwer* klassifiziert. Hieraus war zu folgern, dass scheinbar eine komplexe Aufgabenstellung unter der nötigen Hinzunahme eines dritten Operationsinstrumentes ein zielführendes und strategisches Vorgehen erforderte. Dies wurde durch ein zunächst fehleranfälliges Bearbeiten mit niedriger Bewertung deutlich. Nach einer dauerunabhängigen Übungspause stellte sich ein effektiverer Lerngewinn durch ein durchdachteres und vorsichtigeres Vorgehen bei den Probanden heraus.

Im Vergleich hierzu zeigte die Übung *Ring & Rail II*, die mit einem vergleichbar hohen Schwierigkeitsgrad bewertet wurde, eine nahezu lineare Kurvenentwicklung des mittleren *Overall Score* über die vier Testtage. Im Detail war der stärkste Anstieg des mittleren *Overall Score* um 17,85% am 2. Testtag darzustellen. Dieser lag damit äquivalent zum Anstieg des arithmetischen Durchschnitts aller Übungen in Gruppe I mit bereits aufgeführten 17,45%. Die Kurvenentwicklung verlief bei der Übung *Ring & Rail II* mit einem Anstieg ab dem 3. Testtag um 10,57% gegenüber 6,89%, sowie am 4. Testtag um 6,40% gegenüber 3,75% steiler als der Durchschnitt des mittleren *Overall Score* aus allen Übungen. Ein abschließender mittlerer *Overall Score* von > 85% in *Ring & Rail II* näherte sich dem durchschnittlichen mittleren *Overall Score* von 89,38% an. Das Fehlen einer Annäherung an einen Grenzwert und das scheinbar überwiegend konstante Kurvenniveau begründeten die Wichtigkeit von Wiederholungen für den Lerngewinn in der Übung in *Ring & Rail II*.

Schlussfolgernd profitierten Probanden bei Übungen mit hohem Anforderungsbereich z.B. hinsichtlich der Feinmotorik oder strategischer Vorgehensweisen von einem kontinuierlichen Training. Grundsätzlich konnte im Verlauf von drei Testtagen mit jeweils siebentägigen Trainingspausen in den Übungen *Match Board I-II* bzw. *Ring & Rail I-II* ein mittlerer *Overall Score* von  $> 80\%$  erreicht werden. Eine Ausnahme bildete in Gruppe I die Übung *Match Board III*, in welcher der mittlere *Overall Score* gegenüber dem Durchschnitt verzögert am 4. Testtag einen Wert  $> 80\%$  annahm. Entgegen des Trends der Tendenz zur Stagnation des mittleren *Overall Score* am 4. Testtag kann vermutet werden, dass die Probanden der Gruppe I sich in den Übungen *Match Board III* und *Ring & Rail II* durch weitere Wiederholungszyklen verbessert hätten.

Dem Studienaufbau dieser Dissertation war geschuldet, dass nur annähernd die Leistungssteigerungen der Probanden isoliert nach Testtagen und Wiederholungen beschrieben werden konnte, da davon auszugehen ist, dass Lernerfahrungen auch durch die Bearbeitung der anderen vier Übungen gebildet wurden.

Durch eine differenzierte Betrachtung aufeinanderfolgender Wiederholungen innerhalb und zwischen den Testtagen, konnte demonstriert werden, dass der *Overall Score* Anstieg in allen Übungen von der 3. auf die 4. Wiederholung in Gruppe I, entsprechend einem 7 Tage Abstand, mit ca. 6,41% angegeben werden konnte und der parallel eruierte *Overall Score* in Gruppe II eine Stagnation von ca. -0,47% ergab. Somit schien ein kürzeres Pausenintervall von Vorteil zu sein. Es konnte in Gruppe I gezeigt werden, dass durch ein kontinuierliches dreimaliges Bearbeiten der Übungen infolge anschließender einwöchiger Übungspause eine effektive Verbesserung der Leistung stattfinden konnte. Dies wurde definiert mit  $\Delta > 3\%$  des durchschnittlichen *Overall Score* und konnte bis zur 6. Wiederholung beschrieben werden. Zwar zeigte sich in der Analyse der 1. bis 3. Wdh. in beiden Gruppen ein gleichwertiger Zuwachs des *Overall Score* am 1. Testtag, jedoch war in Gruppe II in der 4. Wiederholung eine deutliche Stagnation bzw. eine Abnahme in *Match Board I*, *Ring & Rail I* und *II* zu verzeichnen.

Eine einwöchige Trainingspause erhöhte den *Overall Score* in den ersten Wiederholungen an jedem folgenden Testtag. Da mehrere Übungen infolge durchgeführt wurden, konnte keine Übung isoliert für sich betrachtet werden. Dies führt zu der Vermutung, dass der Trainingseffekt das Outcome in den nachfolgenden Wiederholungen und Übungen in Form eines Streueffektes positiv beeinflussten. Angenommen werden kann also ein Lern-

effekt im doppelten Sinne, welcher zugunsten der Gruppe I aufgrund kürzerer Pausenintervalle gegenüber Gruppe II ausfiel. In diesem Zusammenhang sei darauf hingewiesen, dass der Aufbau der Übungen bzw. die Art und Weise der Positionierung und Markierungen der Symbole, Schablonen und Ringe in identischer Art und Weise vom Simulator aufgerufen und zur Bearbeitung bereitgestellt wurden. Es kann somit angenommen werden, dass den Probanden mit kürzeren Trainingspausen mehr Details der Übungen erinnerlich waren.

Der Schweregrad der einzelnen Übungen, eruiert unter 3.2 und ein Schwerpunktgebiet dieser Arbeit, beeinflusste maßgeblich die Lernkurven der Probanden. In der als *sehr leicht* eingestuften Übung *Ring & Rail I*, in der die Probanden in Gruppe I in der 1. Wiederholung > 80% *Overall Score* erreichten, präsentierte eine flache Lernkurve mit bereits > 90% *Overall Score* ab dem 2. Testtag. Im Vergleich stellten die als *leicht* und *mittelschwer* eingestuften Übungen, *Match Board I* und *II*, mit dem Erreichen von > 80% in der 5. Wiederholung in Gruppe I, eine Lernleistung mit *guten* Ergebnis bereits am 2. Testtag dar. Beschrieben wurde in *Brinkmann et al*, dass 9 von 17 Probanden innerhalb von 10 Wiederholungen mit fünf Wiederholungen an einem Testtag in Folge, bei der Übung *Ring & Rail II* am *dVSkS*<sup>®</sup> einen *sehr guten Overall Score* von > 90% erreichen konnten. Die *Economy of Motion* und *Excessive Instrument Force* verbesserte sich über fünf Wiederholungen und stagnierte dann.<sup>140</sup> Einen *sehr guten Overall Score* > 90% erzielten die Probanden der Gruppe I in dieser Arbeit nur in den als *sehr leicht* bzw. *leicht* eingestuften Übungen *Ring & Rail I* ab der 4. Wiederholung bzw. in *Match Board II* ab der 10.

Bezüglich der als *schwer* eingestuften Übungen, *Match Board III* bzw. *Ring & Rail II*, waren mehr als zwei Testtage in Gruppe I nötig um > 80% *Overall Score* zu erreichen. Gruppe I benötigte hierfür 9 Wiederholungen für *Match Board III* bzw. 8 Wiederholungen für die Übung *Ring & Rail II*. In *Gomez et al* trainierten 22 Probanden in der ersten Woche einmalig 7 Übungen zum Erlangen von Basisfertigkeiten am *dVSkS*<sup>®</sup>. In den folgenden 2 Wochen wurden Übungen durchlaufen, die die gleichen Basisfertigkeiten erforderten, jedoch nur als abgeschlossen nach zweimaligem Erreichen von >80% *Overall Score* galten. Es wurden bei niedrigerem *Overall Score* maximal 6 Wdh. der gleichen Übungen zugelassen. Nach Studienabschluss wurde die Einschätzung vorgenommen, dass am *dVSkS*<sup>®</sup> 6 Wdh. zum Erreichen eines > 80% *Overall Score* für anspruchsvollere Übungen nicht ausreichen.<sup>141</sup> In *Kang et al* wurden 40 Medizinstudenten auf 3 Gruppen

aufgeteilt und bearbeiteten die Übung *Tube 2* am *dVSkS*<sup>®</sup>. Gruppe I trainierte an 4 aufeinanderfolgenden Testtagen für je eine Stunde, Gruppe II einmal wöchentlich über 4 Wochen für je eine Stunde und Gruppe III jeweils 4 Stunden an einem Testtag. Untersucht wurde die Anzahl an Wdh. bis eine stabiles Lernkurvenniveau auftrat. Hierbei konnte gezeigt werden, dass Gruppe I den höchsten *Overall Score* nach 45 Wdh. erreichte und die Gruppen II bzw. III nach 36 bzw. 39 Wdh. eine stagnierende, aber niedrigere Lernkurve aufwiesen.<sup>142</sup>

Geschlussfolgert werden konnte, dass in *sehr leichten* bzw. *leichten* Übungen mit einer Stagnation der Lernkurven auf hohem Niveau zu rechnen ist. Es sei darauf hingewiesen, dass sich in der als *mittelschwer* eingestuften Übung *Match Board I* zwar ab der 7. Wiederholung ein *Overall Score* > 80% fand, jedoch in der 11. Wiederholung > 90% abzeichneten. Es folgt daraus, dass der Lernkurvenverlauf in solchen Übungen ab einer gewissen Anzahl an Wdh. zwar ein zufriedenstellendes *gutes Outcome* mit > 80% abbilden lassen kann, jedoch ein nochmals verbessertes Lernkurvenniveau erst durch eine höhere Anzahl an Wdh. erreicht wird. Es kristallisierte sich in den als *schwer* eingestuften Übungen ein *Overall Score* mit > 80% aber < 90% ab der 9. in *Match Board III* bzw. 8. Wiederholung in *Ring & Rail II* heraus. Eine solche abflachende, jedoch nicht stagnierende Lernkurve wie in diesen beiden *schweren* Übungen, lässt auf weiteren Übungsbedarf zu einer möglichen Verbesserung des *Overall Score Outcomes* in Form weiterer Wdh. und zwar am ehesten jenseits der 12 Wdh. aus dieser Arbeit schließen.

Resümierend, auch unter Beachtung der Studie von *Kang et al.*, sollte in Zukunft für Übungen, die in den Anforderungsbereich *mittel*, *schwer* oder *sehr schwer* fallen, eine Balance aus kürzeren Trainingspausen (> 1 Tag bzw. < 7 Tage) bzw. mehr Wiederholungen (>12) in Erwägung gezogen werden.<sup>143</sup> Mit ansteigendem Schwierigkeitsgrad einer Übung sollte die zeitliche Dichte und Rate an Wdh. zunehmen.

Visualisiert werden konnte, dass sich die Übung *Needle Control*, dem *Overall Score* nach zu beurteilen, im Anforderungsbereich zwischen den Übungen *Ring & Rail I* und *Match Board I* bzw. *Match Board II* einordnen ließ. Im direkten Vergleich zu den Wdh. bestätigte sich dieser Schluss, da in *Match Board I-III* und *Ring & Rail I-II* in Gruppe I und II sich erst in der 6. Wdh. in beiden Gruppen in *Match Board I* und *II* eine Annäherung an den *Overall Score* der Übung *Needle Control* zeigte. In *Match Board I* lag dieser zwischen Gruppe I und II bei <1% zum jeweilig erreichten *Overall Score* in *Needle Control*. In *Match Board III* stellte sich nur in Gruppe I in der 12. Wdh. mit einer Differenz von

2% und in *Ring & Rail II* in der 9. Wdh., mit einer Differenz von <2% eine Annäherung an den *Overall Score* der Gruppe I in der Übung *Needle Control* dar. Gegenüber der Übung *Ring & Rail I* lag das Niveau in Gruppe II in der 1. Wdh. darüber, in Gruppe I mit 1,35% nahezu identisch. Der Übung *Needle Control* konnte somit der Schwierigkeitsgrad *leicht* zugesprochen werden, wenngleich die Probanden zum Zeitpunkt der Datenerhebung nicht mehr den Status eines Amateurs innehatten.

Der Fragestellung nach einer gesamten Dauer an Trainingszeit für einen *guten* Leistungsgewinn am *dVSkS*<sup>®</sup> nachgehend, beschrieb *Wiener et al in Ihrer Studie*, in der Robotic Novizen und Experten 11 Grundlagen- und 6 Aufbauübungen absolvierten, zehn Stunden Übungszeit als sinnvoll.<sup>144</sup> Im Vergleich wies die Gruppe I der vorliegenden Arbeit mit Summierung der gesamten Trainingszeit eine Dauer von ca. einer Stunde (59,16min) auf, um > 80% *Overall Score* in allen Übungen zu erreichen. Die Probanden der Gruppe II, ebenso als Amateure angetreten, erzielten bei einer gesamten Bearbeitungszeit von ca. 38 min durchschnittlich nicht > 80% *Overall Score* in allen Übungen, wenngleich dies nur die als *schwer* eingestuften *Match Board III* und *Ring & Rail II* betraf. In Zusammenschau erschien in Gruppe I eine Bearbeitungszeit von drei Testtagen à drei Wiederholungen im Abstand von sieben Tagen (2913,31s) entsprechend ca. 49 min aus diesen Ausführungen als lehrreich, s. > 80% mittlerer *Overall Score* mit Ausnahme in *Match Board II* für Übungen aller Schwierigkeitsklassifikationen. Aus einer Studie, in der 60 Anfänger à drei Gruppen aufgeteilt und an zwei Testtagen mit je drei Wiederholungen am Stück jeweils unterschiedlich schwere Übungen absolvieren mussten, wurde geschlussfolgert, dass die Anforderungsniveaus der Übungen weniger als entscheidendes Kriterium für den Lerneffekt angesehen werden konnten. Zum direkten Vergleich der Gruppen und ihrer Lernkurven sollten die Anforderungen einander ähneln und die gesamte Bearbeitungsdauer eines Testtages zu Gunsten der Konzentration limitiert sein.<sup>145</sup>

Ein signifikantes Abhängigkeitsverhältnis zwischen den Anforderungen der Übungen, der Länge der Trainingspausen und der Anzahl an Wiederholungen demonstrierte sich ebenfalls beim erhobenen und analysierten Parameter *Time to Complete Exercise*. Die signifikant unterschiedliche Reduktion der *Time to complete Exercise* ergab sich faktisch zugunsten der Gruppe I. Von zentraler Bedeutung konnte gesehen werden, dass eine prozentuale Halbierung der benötigten durchschnittlichen Zeit am 3. Testtag ermittelt wurde. Per se war eine Abnahme der Kurvenreduktion hinsichtlich der durchschnittlichen mittleren *Time to Complete Exercise* am 4. Testtag zu eruieren, welche bei ca. 15% lag. In

der bereits erwähnten Studie von Studie *Kang et al.*, in der die Probanden einen einstündigen Wiederholungsdurchlauf einer Übung an 4 aufeinanderfolgenden Tagen absolvierten (Gruppe I), wird die Vermutung untermauert, dass sich die Sättigung der Lernkurve hinsichtlich der benötigten Bearbeitungszeit ab einer konkreten Anzahl an Wdh., in *Kang et al* ab 40.Wdh, abzeichnet.<sup>146</sup>

Demonstriert werden konnte in dieser Arbeit, dass die benötigte Zeit zum Beenden der Übungen weder mit der Pausenlänge noch mit der auf dem *Overall Score* basierenden Einteilung des Schwierigkeitsgrades korrelierte, sondern mit den übungsspezifischen Anforderungen, nämlich wie in *Match Board I, II* und *III*, in denen die strategische Positionierung bzw. das Öffnen von Klappen einen Zeitvorteil einbrachte. Die Anforderungen für die Probanden stiegen in den Übungen *Match Board I-III*, aufgrund des zeitgleichen Einsetzens von zwei Mikromanipulatoren, dem Entkoppeln eines Mikromanipulators zum Steuern des dritten *EndoWrist* Instrumentenarmes und den anspruchsvolleren Einstellungen der Kamera. Als Ausnahme sei die Übung *Ring & Rail I* zu nennen, da hier ein hoher *Overall Score* und sehr kurze Bearbeitungszeiten ab dem 1. Testtag auftraten. *Ring & Rail II* forderte hingegen feinmotorische Fähigkeiten für eine effizientere Ausarbeitung. Die Ausprägung der zeitlichen Reduktion fand ihr Maximum am 3. Testtag im Übungsvergleich in *Ring & Rail II* verzögert. Geschlussfolgert werden kann, dass in *Ring & Rail II* bezüglich des linearen Anstieges des *Overall Score* >80% (s.o.) bis zum 4. Testtag und die Reduktion der Arbeitszeit als Ausdruck für die Aneignungslatenz feinmotorischer Qualitäten seitens der Probanden angenommen werden kann. Raum für Spekulationen bot die Vermutung, dass weitere zeitliche Einsparungen durch Wiederholungsföhrungen hätten erreicht werden können. In *Kim, J.Y. et al* bearbeiteten Probanden einer urologischen Fachabteilung die Übung *Tube 3* des *dVSkS*<sup>®</sup>. Es ging hierbei um die Herstellung vesikourethraler Anastomosen. Konstatiert wurde, dass 5 aufeinanderfolgende Trainingstage à einer Stunde für die Ausprägung einer stabilen Lernkurve an benötigter Zeit zum Nähen einer solchen Anastomose nötig waren bzw. als stabil durch die *Mimics*<sup>®</sup>Software des *dVSkS*<sup>®</sup> bewertet wurden.<sup>147</sup>

Die Etablierung zielföhrnder Instrumentenbewegungen als Ausdruck der *Economy of Motion* gestaltete sich grafisch und tabellarisch in allen Übungen in Form eines kontinuierlichen abnehmenden Kurvenverlaufs. So war diese konkavförmig in *Match Board I-III*, s-förmig in *Ring & Rail I* und annähernd linear in *Ring & Rail II*. Mehrheitlich stellte sich in Gruppe I am 2. Testtag die höchste benötigte Distanzreduktion dar, welche von



kürzeren Wiederholungen gegenüber der um ca. 7% geringeren Reduktion in Gruppe II profitierten. Aus den Visualisierungen der Lernkurven ließen sich insgesamt eine Abnahme um ca. 30% der zu benötigten Wegstrecke ablesen, wenngleich ein 4. Testtag den geringsten Nutzen davon aufwies. Hierbei reduzierte sich die Wegstrecke insgesamt bis zum 3. Testtag um 27,23% bzw. bis zum 4. Testtag um 31,93%.

Die Entwicklung der *Economy of Motion* in Übung *Match Board III* ergab am 2. Testtag die stärkste prozentuale Reduzierung aller Übungen. In Übung *Ring & Rail II*, in der im Vergleich im Durchschnitt die Reduktion der *Economy of Motion* um einen Testtag verzögert ablief und sich die prozentual höchste Reduktion der Übung *Ring & Rail II* am 3. Testtag vollzog, könnte mit dem Erklärungsversuch bezüglich der og. spezifischen Anforderungen der einzelnen Übungen begründet werden. Die Erarbeitung von effektiven und strategischen groben Bewegungsabläufen wie z.B. in *Match Board III* gestaltete sich mutmaßlich im Verlauf für die Probanden leichter als eine wiederholungsabhängige und damit zeitintensive Lernerfahrung einer eher feinmotorischen Bearbeitung von Übungen wie z.B. *Ring & Rail II*.

*Lendvay et al* vertraten die Auffassung, dass ein 3-5-minütiges Warm-Up mittels *DVSS* für erfahrene *Da Vinci* Chirurgen Verbesserungen der *Economy of Motion*, der Bearbeitungszeit und der Verringerung schwerer Fehler nach sich zog. Geschlussfolgert wurde, dass eine regelmäßige Eingewöhnung am *dVSkS*<sup>®</sup> unmittelbar vor operativen Einsätzen am *DVSS*<sup>®</sup> Vorteile bringt.<sup>148</sup> Unter diesem Gesichtspunkt hätten die in der Reihenfolge an einem Testtag nacheinander absolvierten vorausgehenden Übungen *Match Board I-III* und *Ring & Rail I&II* den bereits beschriebenen doppelten Lerneffekt auf die jeweils nachfolgenden gehabt. Hierdurch wäre ein Warm-up Effekt am deutlichsten in *Ring & Rail I-II* zu vermuten.

Anzumerken ist, dass der Parameter *Economy of Motion* nur näherungsweise die Bewegungsökonomie beschrieb, sondern vielmehr die Summe der zurückgelegten Distanz bei der bzw. dreier Mikromanipulatoren. Folglich war das Benutzen z.B. überwiegend nur eines Mikromanipulators mit einem höheren *Overall Score* assoziiert. Als Beispiel sei die Übung *Ring & Rail I* zu nennen. In einer realen Anwendung bestünde womöglich ein ungleiches Verhältnis zwischen Bewegungsumsetzung und Sicherheit.

Die Fragestellung nach der Gruppenhomogenität am 1. Testtag als Ausgangskriterium für einen sinnvollen Vergleich beider Gruppen im Verlauf, fand auf Grundlage des Signifikanzniveaus der Parameter *Time to complete Exercise*, *Economy of Motion* und des *Overall Score* statt. Gruppe I demonstrierte hinsichtlich der *Economy of Motion* und des *Overall Score* eine leichte signifikante Überlegenheit in den Übungen *Match Board II*, *Ring & Rail I* und *II*, sowie in der *Time to Complete Exercise* in *Ring & Rail I* am 1. Testtag gegenüber Gruppe II. Zu erwähnen sei, dass in *Ring & Rail I* sehr kurze Bewegungsdistanzen bzw. wenige Bewegungsvariationen möglich waren, sowie eine eindeutige Zielsetzung vorgegeben wurde. Am ehesten können so minimale Abweichungen stärker gewichtet vorliegen als in den anderen Übungen. Ungeachtet dessen wäre für die signifikant inhomogene Gruppenkonsistenz in *Match Board II* und *Ring & Rail II* bezüglich des Parameters *Economy of Motion* bzw. des *Overall Score* eine höhere Motivation als Erklärung in Gruppe I aufgrund der zu erwartenden intensiven vier Testtage anzunehmen, reine Spekulation.

Das Wiederholen der Übungen nach sieben Tagen Pause durch die Probanden der Gruppe I präsentierte einen signifikant höheren Lernerfolg als bei Gruppe II. Gruppe I hob sich hinsichtlich der Zeitersparnis und Bewegungszielführung in den Übungen *Match Board I-III* bzw. *Ring & Rail I* hervor, was die zentrale Bedeutung für den mittleren *Overall Score* als Gesamtausdruck an Leistungszuwachs unterstrich. *Ring & Rail II* spielte auf eine nicht erwartungsgemäße Art eine besondere Rolle, da ein 7- gegenüber einem 21-tägigen Unterbrechen des Trainings zwar einen höheren mittleren *Overall Score* als in Gruppe II erbrachte, jedoch ein tendenziell zügigeres bzw. zielführenderes Bearbeiten der Übung gegenüber Gruppe II zu Folge hatte. Geschlussfolgert werden kann, dass die mittlere *Economy of Motion* als Ausdruck distanzreduzierender Instrumentenbewegungen am *dVSkS*<sup>®</sup> in vier von fünf Fällen maßgeblich vom zeitlichen Abstand des nächsten Testtages abhing. Die Bedeutung für die Anzahl an Wdh. hinsichtlich der Homogenität beider Gruppen visualisierte sich außerdem in einer kontinuierlichen Abnahme der Standardabweichungen des mittleren *Overall Score*. Abzuleiten war hieraus, dass Wiederholungszyklen generell eine gruppeninterne Lernkurve hervorrufen und zur Angleichung des Leistungsniveaus beitragen. Dem Erlernen von feinmotorischen Fertigkeiten, als Schwerpunkt definiert in *Ring & Rail II*, war per se die Anzahl an Wdh. in Abhängigkeit gestellt, denn ab dem 3. Testtag etablierte Gruppe I eine signifikante Überlegenheit der *Economy of Motion* gegenüber Gruppe II.

Bei einer Bewertung der Ausbildung feinmotorischer Fertigkeiten sei auf die durch Probanden verursachten groben Fehlerquellen in den Simulationen ein Augenmerk zu lenken. Vorneweg sei zu beachten, dass sich die Übertragung eines simulierten Schadensmodells anhand der aufgezählten Parameter: *Collisions*, *Excessive Instrument Force*, *Drops* bzw. *Instruments out of View* auf tatsächliche Schäden an Mikromanipulatoren schwierig vorhersagen lässt.

Für diese Studie wurden die Parameter *Excessive Instrument Force* und *Collisions* als grobe Fehlerquellen aufgrund möglicher direkter schädlicher Folgen am Patienten oder des Gerätes definiert. Der *dVSkS*<sup>®</sup> registrierte in den Simulationen *Collisions* und *Excessive Instrument Force* nur an den Mikromanipulatoren selbst und nicht in Interaktion mit Objekten (z.B. Holzkisten oder -symbole) im näheren Umfeld. Unter dem Gesichtspunkt von patientenschonenden Eingriffen wären diese zwei Parameter als nicht optimal für eine Trainingsausbildung anzusehen. Zusätzlich ergab sich das Bild, dass die Probanden die Kraftereinwirkungen und Kollisionen auf die Mikromanipulatoren aufgrund fehlender haptischer Rückmeldung des *dVSkS*<sup>®</sup> schwer nachvollziehen konnten. Andere Studien beschrieben, dass durch Messungen von Kraftaufwand und Vibrationen Rückschlüsse auf die Befähigung der einzelnen Probanden gezogen werden konnten und außerdem ein fehlendes haptisches Feedback durch ein zunehmendes optisches Feedback in Folge des Trainings theoretisiert werden konnte.<sup>149 150</sup>

*Collisions* wurden durchschnittlich von der Hälfte der Probanden am 1. Testtag ausgelöst. Eine zentrale Rolle für die ansteigende Vermeidungsrate spielte dann im Verlauf schweregradabhängig die Anzahl an Wiederholungen. Die Lernkurve der vermiedenen Ereignisse beschrieb in *Match Board I* bzw. *II*, dass > 80% an *Collisions* in Gruppe I am 3. bzw. 4. Testtag vermieden werden konnten. Hingegen kategorisierte sich in den als *schwierig* eingeordneten Übungen *Match Board III* nur eine < 70%ige Vermeidungsrate an *Collisions* am 3. und 4. Testtag. In der Übung *Ring & Rail II* lag die Rate mit weniger als 52% am 3. und 4. Testtag deutlich darunter. Ferner war zu vermuten, dass mehr als 12 Wiederholungen in *Match Board III* die Vermeidungsrate nur minimal weiter ansteigen hätten lassen können, wohingegen in *Ring & Rail II* mit einer solchen komplexen Aufgabenstellung weitere *Collisions* nicht zwangsläufig hätten vermieden werden können.

Es konnte dennoch die bereits belegte These untermauert werden, dass Probanden mit weniger Erfahrung am *dVSkS*<sup>®</sup> gegenüber Experten höhere Kollisionsraten aufwiesen.<sup>151</sup>

Als nachteilig anzusehen war, dass während der Bearbeitung weder auf gerade verübte Kollisionen, noch auf die Anzahl und Schwere der Kollisionen durch die Software hingewiesen wurde. Seitens der Probanden konnte nicht nachvollzogen werden, wie sich diese groben Fehler an echten Mikromanipulatoren ausgewirkt hätten.

Die Anschauung des Kraftaufwandes demonstrierte, dass weniger als 50% an *Excessive Instrument Force* Ereignissen am 1. Testtag vermieden werden konnten. Trotz verbessernder Vermeidungsraten in Gruppe I um ca. 20% am 2. und ca. 15% am 3. Testtag waren die Lernkurven abermals abhängig von der Anzahl an Wiederholungen und weniger von längeren zeitlichen Abständen zum 2. Testtag wie in Gruppe II. Bedeutend war, dass die Probanden/Innen in der als *sehr leicht* eingestuften Übung *Ring & Rail I* keinen offensichtlichen Lerneffekt aufzeigten und sogar Undulationen der Vermeidungsraten zwischen 70% und 84% über die Testtage auslösten. Ein Erklärungsansatz hierfür würde aufgrund des vom *dVSkS*<sup>®</sup> berechneten *sehr guten Overall Score* über die Testtage und eventueller dadurch fehlender kontinuierlicher Motivation zu Rande gezogen werden können.

Erwartungsgemäß konnte Gruppe I zwar in *Match Board I* am 1. und in *Match Board II* am 3. Testtag eine Vermeidungsrate >80% an *Excessive Instrument Force* Ereignissen erzielen, die Übungen *Match Board III* und *Ring & Rail II* präsentierten jedoch sehr niedrige Vermeidungsraten. Der Anteil an solchen vermiedenen Ereignissen lag am 4. Testtag bei ca. 60% in *Match Board III* und ca. 30% in *Ring & Rail II*. Dies resultierte vermutlich aus den hohen Anforderungen und komplexen Aufgabenstellungen sowie einem Mangel an ausreichenden Wiederholungsdurchläufen. Zu letzterer Vermutung sei anzumerken, dass die initial niedrigsten Vermeidungsraten insgesamt in der Übung *Ring & Rail II* auftraten und mit einer kontinuierlich ansteigenden Vermeidungsrate von ca. 10% pro Testtag verzeichnet werden konnte. Die kontinuierliche Zunahme an Vermeidungsraten der *Excessive Instrument Force* unter Wiederholungen (hier bis zur 12.) konnte bereits in der Studie (*Brinkman et al*) gefunden werden.<sup>152</sup>

Die auf die Mikromanipulatoren ausgelösten Kräfte wurden zwar am *dVSkS*<sup>®</sup> durch eine Rotfärbung dargestellt, allerdings konnte von den Probanden nicht unterschieden werden, ob es sich um Zugkräfte oder Drehkräfte in den Gelenken der Mikromanipulatoren handelte, um so eine effektive Kraftreduktion einleiten zu können.

Dem Kritikpunkt der fehlenden haptischen Rückmeldungen wurde in einer Studie mit haptischer Korrespondenz mehr Gewicht zugeschrieben, denn die Probanden

verbesserten im Training die Haltestärke, Kraft, Geschwindigkeit und den Beugeradius des Controllers.<sup>153</sup> Andere Autoren/Innen zogen Rückschlüsse, dass durch Messen des Kraftaufwandes an einem dV-Trainer® Simulator eine Korrelation bezüglich der Evaluation der Ergometrie von Anfängern bei der Bedienung hergestellt werden konnte.<sup>154</sup>

Zusammenfassend ergaben die als grobe Fehlerquellen definierten Parameter *Excessive Instrument Force* und *Kollisionen* am 1. Testtag die größten Ereignisraten und evozierten intensive Lernerfolge mit größtenteils akzeptablen Vermeidungsraten bereits am 2. Testtag, wengleich in *Match Board III* weitere Wiederholungen ab einem fiktiven 5. Testtag vermutlich eine Verbesserung nach sich gezogen hätten.

Die Analyse des Parameters *Instruments out of View* spiegelte die zielgerichtete Fokussierung der Instrumente im Sichtfeld wider, die vor allem bei der Veränderung der Kameraposition nötig waren. Die Beurteilung der Lernkurve fiel im Gruppenvergleich leicht zugunsten der Gruppe I aus. Die durchschnittliche Vermeidungsrate von > 74% bzw. < 81% stellte bereits am 2. Testtag den Probanden der Gruppe I einen *befriedigenden* bzw. *guten* Einstiegswert dar. Faktisch flachte der Anstieg in Gruppe I, der durch erhöhte Vermeidungsraten an *Instruments out of View* im Verlauf der Testtage entstand, am 3. Testtag stark ab und stagnierte am 4. Zur Beschreibung dieses Kurvenverlaufes dienten erklärend das kürzere zeitliche Intervall zwischen dem 1. und 2. Testtag in Gruppe I gegenüber Gruppe II und die fortlaufenden Wiederholungen der Gruppe I als erfahrungsbegünstigend. Untermauert werden konnte dies im Speziellen in *Match Board III*. Eine sichere Kameraführung war hier von besonderer Bedeutung, um die Bedienung des dritten Mikromanipulators unter Sicht ausführen zu können.

Beginnend mit einer Vermeidungsrate von ca. 15% in Gruppe I am 1. Testtag stieg diese auf ca. 50% am 2. und kontinuierlich auf ca. 60% am 3. sowie auf ca. 65% am 4. In Gegenüberstellung lag die Vermeidungsrate nur bei ca. 30% in Gruppe II am 2. Testtag. Entgegen dem allgemeinen Trend einer hohen nahezu kontinuierlichen Vermeidungsrate an *Instrument out of View* Ereignissen in den anderen Übungen bestand am ehesten aufgrund des komplexen Übungsablaufes unter Nutzung eines dritten Instrumentenarmes in *Match Board III* weiterer Wiederholungsbedarf bis zum 4. Testtag. Stratifiziert werden konnte in einer Studie, die auf dem *Fundamental Skills of Robotic Sorger* Programm mit 16 verschiedenen Aufgaben und drei Schwierigkeitsstufen, sowie Evaluationen basierend

auf der *Delphi Methode* integrierte, dass auch ein präziseres Arbeiten mit der Kamera bei bis zu vier Instrumenten möglich war.<sup>155</sup> Die Kameraführung am *DVSS* stellte scheinbar für die Probanden in dieser Arbeit zu Beginn eine untergeordnete Rolle dar. Das wiederholte Bearbeiten der Übungen *Match Board I-II* und *Ring & Rail I-II* fundierte angelehnt an die Studie (*Stegemann et al.*) die Kameraführung und kann Grundlage für die Bedienung des dritten Mikromanipulators in *Match Board III* sein.<sup>156</sup>

Der Parameter *Drops* beurteilte die Fähigkeit der Probanden während der Übungsbearbeitung gehaltene Objekte nicht durch das fahrlässige Öffnen der Instrumente fallen zu lassen. Initial konnten hohe durchschnittliche Einstiegsergebnisse in beiden Gruppen unter äquivalent-starken Anstiegen am 2. Testtag aufgezeigt werden, die nicht zeitlich voneinander abhängig waren. Zwar ließ sich eine Sättigungstendenz mit hohen durchschnittlichen Vermeidungsraten im Verlauf der Testtage analysieren, allerdings war in *Ring & Rail II* keine eindeutige Lernkurve durch die Probanden nachweisbar. Die Rate an Probanden ohne ein *Drop* Ereignis lag in beiden Gruppen an allen Testtagen bei < 79%. Als Erklärung hierfür sei der Schwierigkeitsgrad bezüglich feinmotorischer Anforderungen, welches zu vermehrtem Öffnen der Instrumente führen könnte, aufzuführen. Spekulativ kann der Parameter *Drops* als Marker für die Konzentrationsleistung der Probanden angenommen werden.

In der Abschlussübung *Needle Control* war erneut Konzentration aufgrund der für die Probanden unbekanntem Aufgabenstellung gefordert. Auf erarbeitete Lösungsansätze konnten die Probanden nicht direkt zurückgreifen, sondern mussten ihre Befähigung in der Steuerung des *dVSkS*<sup>®</sup> beweisen.

Zwar zeigte Gruppe I eine signifikante Überlegenheit in den Parametern *Time to Complete Exercise* und *Economy of Motion*, allerdings ergab sich kein signifikanter Unterschied hinsichtlich des *Overall Score*. Der Ausbildungsstand hinsichtlich des *Overall Score* in der Abschlussübung konnte also als gleichwertig bezeichnet werden. Nachweislich waren deshalb auch die in Gruppe II durchgeführten 6 Wiederholungen gegenüber den 12 Wiederholungen in Gruppe I entkoppelt von der Einflussgröße des zeitlichen Abstandes als gleichwertig anzusehen. Die im Übungsvergleich niedrigsten Vermeidungsraten an *Drops und Collisions* in *Needle Control* waren am ehesten auf Unaufmerksamkeiten der Probanden bei Bearbeitung der neuen Aufgabenstellung zurückzuführen. Untermauern konnte der Parameter *Missed Targets*, als neuer zu vermeidender Parameter

diesen Schluss, da auch hier viele Ereignisse ausgelöst wurden, allerdings kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen auftrat. Die Vermeidungsraten an *Excessive Instrument Force* und *Instruments out of View* wiesen im Verhältnis wiederum hohe Werte auf. Dies kann auf die Aufgabenstellung, die mit wenig potentiell Kraftaufwand oder Kamerabewegungen lösbar war, zurückgeführt werden.

Für eine Übertragung der Daten dieser Dissertation auf die praktische Relevanz wurde ein Blick auf die Leistungssteigerung aller teilgenommenen Probanden vorgenommen. Als mögliches Messinstrument zur Einschätzung der Fähigkeiten des Einzelnen wurde der *Perceptual Ability Test*, welcher mit der Leistung am *dVSkS*<sup>®</sup> korreliert, vorgeschlagen.<sup>157</sup> In der Studie von *Meier et al* wurde der Versuch unternommen eine Detektion von Probanden vorzunehmen, denen schneller ein höheres Outcome am *DVSS*<sup>®</sup> gelang. Unerfahrene jüngere Probanden und bereits am *DVSS*<sup>®</sup> trainierte Teilnehmer/Innen zeigten im Gegensatz zu älteren und laparoskopisch unerfahrenen Probanden annähernd identische Lernkurven.<sup>158</sup> In der vorliegenden Ausarbeitung bestand grundsätzlich der Anspruch eine gleichförmige Weiterbildung aller Probanden zu erreichen. Um die Fragestellung erörtern zu können, wurden die Probanden der Gruppe I am 1. Testtag nach ihrem minimal erreichten *Overall Score* in den ersten drei Wiederholungen in drei Untergruppen eingeteilt und im Verlauf die Lernkurve analysiert und visualisiert.

Die Ergebnisse der Probanden mit *ausreichendem Overall Score* (< 50%) wiesen eine kräftigere Lernkurve auf, als die Probanden mit initialem *befriedigenden Overall Score* (>50% bzw. <80%). Wiederum konnte eruiert werden, dass die eingangs *befriedigenden* Ergebnisse einen stärkeren Zuwachs aufwiesen als die der Probanden mit *guten* (>80%) Ergebnissen. Probanden, denen initial nur ein *Overall Score* < 50% gelang, erreichten in Gruppe I bis zum 4. Testtag in allen Übungen *gute* Ergebnisse, entsprechend >80% *Overall Score*. Die Befähigung von Probanden mit dem *dVSkS*<sup>®</sup> umgehen zu können und bereits zu Beginn mit *guten* Leistungen einzusteigen, relativierte sich gegenüber den Probanden, die durch Erarbeitung gleichwertige *Overall Score* Ergebnisse auf Expertenniveau, entsprechend >80% gemäß der Definition des Herstellers des *dVSkS*<sup>®</sup>, am 2., 3. oder 4. Testtag erlangten. Geschlussfolgert werden kann, dass *ausreichend* befähigte Probanden von quantitativen Übungswiederholungen profitierten.

Hinzu kommt eine weitere Übereinstimmung, die zwischen den Schwierigkeitsgraden und der Probandeneinteilung auffiel. Probanden benötigten für einen *ausreichenden*

*Overall Score* für die als *leicht* eingestuften Übungen 4-6 Wiederholungen, für Übungen mit *mittlerem* Schwierigkeitsgrad 7-9 Wiederholungen und für *schwere* Übungen 10-12 Wiederholungen, um *gute* (>80%) Ergebnisse erreichen zu können. *Rajanbabu et al* zeigte, dass Experten und Amateure im direkten Vergleich im Umgang mit dem *DVSS* letztlich ein annäherndes Niveau nach 6 Wiederholungen erreichen konnten.<sup>159</sup> Entsprechend war dies in *Match Board I* in unserem Trainingsmodell möglich. Außerdem erreichten alle Teilnehmer/Innen in Gruppe I in *Match Board I* nach 10-12 Wiederholungen ein äquivalentes Niveau mit einem *Overall Score* von > 87%. Hierzu sei ergänzend hinzuzufügen, dass die Probanden mit einem initialen *Overall Score* < 50% vom 1. bis zum 4. Testtag, außer in *Match Board III*, faktisch ein gleichhohes Niveau mit <  $\Delta 3\%$  *Overall Score*, gegenüber den Probanden mit eingangs *befriedigendem Overall Score* erzielen konnten.

Probanden in Gruppe II, die einen *ausreichenden Overall Score* am 1. Testtag erzielten, präsentierten *befriedigende* Ergebnisse nach 21 Tagen Pause. Entgegen der Erwartung stagnierte das Niveau der Probanden mit eingangs *befriedigenden Overall Score* wieder. Im Vergleich zu Gruppe I kann vermutet werden, dass das Potential der Probanden aufgrund der 21-tägigen Bearbeitungspause und fehlender weiterer Testtage nicht ausgeschöpft werden konnte. *Zhang et al* zeigte jedoch, dass Probanden trotz unterschiedlicher Trainingspausen ein gleichwertiges Outcome erzielen konnten.<sup>160</sup> In dieser Arbeit wurde ein solcher Aspekt nur zwischen Gruppe I und II in der Übung *Match Board I* und *Ring & Rail II* unter den als *befriedigend* eingestuften Probanden sowie unter den als *gut* eingestuften in *Ring & Rail I* bei einem *Overall Score* <  $\Delta 3\%$  beobachtet. Abermals stellte sich heraus, dass Probanden mit einem *befriedigenden Overall Score*, die höchste Lern- dynamik aufwiesen. *Moglia et al* stufte 121 Medizinstudenten in einer Untersuchung mit sechs repräsentativ durchgeführten Übungen am *dVSkS*<sup>®</sup> einen Anteil von 6,6% der Probanden als Experten und 11,6% als Amateure ein.<sup>161</sup> Wenngleich der Anteil der Probanden mit initialem *Overall Score* > 80% in unserer Studie (40 Medizinstudenten) bei 17% lag und der Anteil mit einem *Overall Score* < 50% bei 37%, eröffnete sich ein vergleichbares Verhältnis wie in der dargelegten Studie (*Moglia et al.*) von 1:2 der Experten gegenüber den Amateuren. Zusammenfassend sind Wiederholungen ein sehr effektives Instrument unerfahrenere Probanden an ein einheitliches Niveau heranzuführen.



Es wurde in *Brinkman et al* beschrieben, dass 9 von 17 Probanden in der Übung *Ring & Rail II* am *dVSkS*<sup>®</sup> mit insgesamt 10 Wdh., 5 infolge an einem Tag und innerhalb von 3 Tagen, einen *sehr guten Overall Score* von > 90% erreichen konnten.<sup>162</sup> Im Vergleich lag der mittlere *Overall Score* in der vorliegenden Arbeit in Gruppe I am 4. Testtag (Wdh. 10-12) in Gruppe I bei einem Probanden bei 95 %, bei 10 Probanden bei 86 % und bei 9 Probanden bei 84 %. Gruppe II zeigte am 2. Testtag (Wdh. 4-6) bei 2 Probanden eine mittleren *Overall Score* von 84 %, bei 6 Probanden von 75 % und bei 12 Probanden von 58 %. Somit lagen 9 Probanden der Gruppe I am 4. Testtag gleichauf mit 2 Probanden der Gruppe II am 2. Testtag.

In dieser Arbeit wurde nicht untersucht inwieweit und ob Vorerfahrungen hinsichtlich der Bedienung von Endoskopen, Robotic-gestützten Op Systemen oder Spiele- und Computerkonsolen bei den Studenten/Innen vorlagen. In Studien stellte sich heraus, dass das häufige Ausüben von Sportarten wie Volleyball, Basketball oder Tennis und das Spielen von Videospiele mit einem höheren Outcome korrelierte.<sup>163 164</sup> Dass Vorerfahrung im laparoskopischen Operieren Vorteile im Outcome bei der Bearbeitung von herausfordernden Übungen einbrachte, konnte ebenfalls von Autoren/Innen gezeigt werden.<sup>165</sup> Interessanterweise schlussfolgerten Autoren/Innen in einer Studie, in der ein 80%iger *Overall Score* zum Beginnen der nachfolgenden Übungen nötig war, dass zwar grundlegende Vorerfahrungen im laparoskopischen Operieren vorteilhaft, allerdings zu viel Erfahrungen für den Lerngewinn nachteilig zu sein schienen.<sup>166</sup>

---

## 5. Zusammenfassung

Das Ziel dieser Studie lag darin, in einem Trainingsablauf die Leistungsentwicklung von Probanden am *da Vinci Skills Simulator* in Form von Lernkurven zu evaluieren. Basierend auf den vorteilhaften Erfahrungen des *da Vinci Skills Simulators* als Training<sup>168</sup>swerkzeug wurde der Fragestellung eines erkenntnisgewinnenden und praktisch relevanten Trainingsprogramms nachgegangen.

Im Zeitraum von Januar bis Dezember 2013 wurden 40 am *da Vinci System* unerfahrene Probanden, in zwei gleichstarke Gruppen für ein vierwöchiges Trainingscurriculum eingeteilt. Nach kurzer Einführung absolvierte eine Gruppe an vier Testtagen fünf Übungen mit jeweils drei aufeinanderfolgenden Wiederholungen (*Match Board I-III* und *Ring & Rail I-II*) an den Tagen eins, acht, fünfzehn und zweiundzwanzig und einer finalen neuen Übung (*Needle Control*) am letzten Tag. Gruppe II startete an Tag eins und beendete das Programm am Tag zweiundzwanzig ohne Testtag acht und fünfzehn unter ansonsten gleichen Bedingungen mit der Abschlussübung (*Needle Control*). Nach jeder abgeschlossenen Wiederholung wurden die erhobenen Parameter *Time to Complete Exercise*, *Economy of Motion*, *Excessive Instrument Force*, *Instruments out of View*, *Collisions* und *Drops* analysiert und in einem von der Software berechnetem *Overall Score* zusammengefasst. Darüber hinaus wurden die Probanden in Gruppe I zusätzlich in drei Gruppen eingeteilt, abhängig von der Höhe ihres am ersten Testtag erreichten *Overall Score* zur gruppeninternen Darstellung der Lernprozesse.

Die Ergebnisse zeigten einen Anstieg des *Overall Score* am ersten und zweiten Testtag in Gruppe I in nahezu allen Parametern. Gruppe I erreichte höhere *Overall Score* Werte als Gruppe II, zurückzuführen auf eine kürzere Wiederholungsrate an Übungen. In Gruppe I stagnierten am zweiten Testtag in den Übungen *Match Board II* und *Ring & Rail I* die Parameter *Time to Complete Exercise*, *Economy of Motion*, *Excessive Instrument Force* und *Instruments out of View*. Zwei Trainingstage schienen in dieser Studie am praktikabelsten für Übungen mit *sehr leichtem* bzw. *leichtem* Anspruch zu sein. Mehrere Wiederholungen waren in den Übungen *Match Board III* und *Ring & Rail II* in der Gruppe I nötig, um fatale Fehler wie *Collisions*, *Excessive Instrument Force* und *Instru-*

*ments out of View* zu reduzieren und abschließend einen *Overall Score* von >80% erreichen zu können. *Match Board III* und *Ring & Rail II*, klassifiziert als *schwere* Übungen, präsentierten die stärksten Lernkurven, obwohl am ersten Testtag die niedrigsten Parameter und *Overall Score* gemessen wurden. Maßgeblich war dies auf die benötigte Anzahl an Wiederholungen, die zur Ausbildung motorischer Fähigkeiten und eines geplanten Vorgehens nötig waren, zurückzuführen. Generell riefen Wiederholungen eine gruppeninterne Lernkurve hervor und führten zu einer Angleichung des Leistungsniveaus. Der Schwierigkeitsgrad der Übungen spiegelte sich in Verzögerungen des *Overall Score* Niveaus der Probanden wider. In den Übungen, die als *einfach* klassifiziert wurden, konnten am achten Tag annähernd gleichwertige *Overall Score* Werte dargestellt werden, in als *mittel* eingestuften Übungen am fünfzehnten Tag und in als *schwer* eingestuften Übungen am zweiundzwanzigsten Tag.

Für Übungen, die in den Anforderungsbereich *mittel* und *schwer* fielen, konnte eine Empfehlung aus kürzeren Trainingspausen von größer einem, aber kleiner sieben Tagen bei mindestens sieben Wiederholungen getroffen werden. Der Parameter *Drops* könnte in Zukunft als Marker für die Konzentration der Probanden hinzugezogen werden. Gruppe II, als Kontrollgruppe anzusehen, zeigte am zweiten Testtag (Tag 22), geringer ansteigende bzw. auch stagnierende Parameter- und *Overall Score* Werte als in Gruppe I. Signifikante Unterschiede wurden bei der *Time to Complete Exercise* und *Economy of Motion*, aber keine signifikante Differenz beim *Overall Score* in der Abschlussübung *Needle Control* nachgewiesen. Empfehlenswert wäre gewesen, dass ausgelöste Fehler live dargestellt und eine Unterscheidung in der Art der zu hoch ausgelösten Krafeinwirkungen hätten ersichtlich sein sollen.

Abschließend legten die Daten dieser Studie nahe, dass der *Da Vinci Skills Simulator* technische Bedienungsfähigkeiten von Robotic Novizen verbesserte. Das Curriculum präsentierte eine stärkere Rolle seitens der Anzahl an Wiederholungen gegenüber längeren zeitlichen Abständen zur Herausbildung von motorischen Eigenschaften in *einfachen* als auch *schweren* Übungen.

---

## 6. Abstract

The aim of this study was to evaluate the effect of training on the performance outcome with the da Vinci Skills Simulator by representing learning curves. Following the question of investigation of a structured training program for robotic surgical skills for robotic novices, this study focused on the da Vinci Skills Simulator known as an effective training tool for the acquisition of proficiency level.

The present prospective study was conducted from January to December 2013 in the department of otorhinolaryngology, Philipps Universität Marburg and included 40 participants. Students and robotic novices were equally distributed into two groups for a four-week training curriculum. By getting a short briefing in using the *da Vinci Skills Simulator* one group performed four training sessions on day 1, 8, 15 and 22 of three consecutive repetitions of five exercises (*Match Board I*, *Match Board II*, *Match Board III*, *Ring & Rail I*, *Ring & Rail II*) and a final unpracticed exercise (*Needle Control*). The second group started by receiving the same briefing on day 1 and finished on day 22 (without day 8 and 15) with the final exercise (*Needle Control*). After each completed repetition, data was analyzed for the parameters *time to complete exercise*, *economy of motion*, *excessive instrument force*, *instruments out of view*, *collisions* and *drops* summarized to a calculated *overall score* by the system. Furthermore, the participants in group one were additionally distributed into three groups depending on their *day-overall score* of each exercise in order to investigate their learning progress.

The results showed a skills gain in overall performance on the first and second day in group one in nearly all parameters. Considering higher *overall scores* in group one due to a shorter rate of repetitions compared to group two, group one has been shown stagnation in *Ring & Rail I* and *Match Board II* in the parameters *time to complete exercise*, *economy of motion*, *excessive instrument force* and *instruments out of view* on day 2. Two days of training seem to be the best practice for exercises classified as *very easy* (*Ring & Rail I*) and *easy* (*Match Board I*) in this study. More repetitions in group one were needed for *Match Board III* and *Ring & Rail II* to reduce fatal errors such as *collisions*, *excessive instrument force* and *instruments out of view* by achieving *overall scores* >80%. *Match Board II* and *Ring & Rail II*, classified as exercises with a high difficulty level presented the strongest learning curves though showing the lowest parameters and *overall scores*. The rate of repetitions impairing the training of motorial skills, leads to internal learning

curves and approximation of the test persons' level. The level of difficulty was also reflected in the latency of approximation of the participants which could be seen as well in *easy* exercises (*Ring & Rail I, Match Board I*) on day 8, in *medium* (*Match Board II*) exercises on day 15 and in *difficult* exercises (*Match Board III, Ring & Rail II*) on day 22. *Match board III* and *Ring & Rail II* classified as *difficult* exercises presented the strongest learning curves although showing the nearly lowest parameters and *overall score* on the first day. Concerning exercises of a medium and high difficulty level, training experiences gained by performing each of the five exercises on one day, shorter training breaks of more than one but less than seven days and also unless seven repetitions of each exercise could be presumed. The parameter *drop* could be useful to measure the concentration of a test person. Group two as a control group came up with a lower increase of parameter levels and *overall score* outcome on day 2. There were significant differences in *time to complete exercises, economy of motion* and *missed targets* but no significant differences in *overall score* towards group one in the exercise *Needle Control*.

Finally concluding the data of this study, it refers the *da Vinci Skills Simulator* led to an improvement in technical performance of robotic novices. This curriculum shows an important role relying more on repetitions than on long time distances in between the training sessions as an effective method for regaining fine motor skills in all exercise as well as for novice being skilled or less skilled in the first place.

---

## Literaturverzeichnis

- <sup>1</sup> Weisbin, C.R., Lavery, D., and Rodriguez, G. (1997). Robots in space into the 21st century. *Ind Rob* 24, 169-181.
- <sup>2</sup> Gourin, C.G., and Terris, D.J. (2004). Surgical robotics in otolaryngology: expanding the technology envelope. *Curr Opin Otolaryngol Head Neck Surg* 12, 204-208.
- <sup>3</sup> Intuitive Surgical (2013) da Vinci skills simulator. Accessed 19 Feb 2013  
[http://www.intuitivesurgical.com/products/skills\\_simulator/](http://www.intuitivesurgical.com/products/skills_simulator/)
- <sup>4</sup> Darzi A. Robotics in surgery. *Stud BMJ*. 2002;10:215–58.
- <sup>5</sup> Chang CG, Melvin WS. Surgical robots, telesurgery and future technologies. In: Jones DB, Wu JS, Soper NJ, editors. *Laparoscopic Surgery: Principles and Procedures*. 2nd ed. NY: Informa Healthcare; 2004. pp. 111–20.
- <sup>6</sup> Himpens, J., Leman, G., and Cadiere, G.B. (1998). Telesurgical laparoscopic cholecystectomy. *Surg Endosc* 12, 1091.
- <sup>7</sup> Marescaux, J., Leroy, J., Gagner, M., Rubino, F., Mutter, D., Vix, M., Butner, S.E., and Smith, M.K. (2001). Transatlantic robot-assisted telesurgery. *Nature* 413, 379-380.
- <sup>8</sup> Marescaux, J., Leroy, J., Rubino, F., Smith, M., Vix, M., Simone, M., and Mutter, D. (2002). Transcontinental robot-assisted remote telesurgery: feasibility and potential applications. *Ann Surg* 235, 487-492.
- <sup>9</sup> Homepage der Intuitive Surgical, Inc., Stand: 17.10.2016:  
<http://www.intuitivesurgical.com/company/faqs.html#5>
- <sup>10</sup> Nelson, E.C., Gottlieb, A.H., Müller, H.G., Smith, W., Ali, M.R., and Vidovszky, T.J. (2014). Robotic cholecystectomy and resident education: the UC Davis experience. *Int J Med Robot* 10, 218-222.
- <sup>11</sup> Bhayani, M.K., Holsinger, F.C., and Lai, S.Y. (2010). A shifting paradigm for patients with head and neck cancer: transoral robotic surgery (TORS). *Oncology (Williston Park)* 24, 1010-1015.
- <sup>12</sup> Homepage der Intuitive Surgical, Inc., Stand: 26.07.2016:  
<http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=122359&p=irol-faq>
- <sup>13</sup> <http://www.davincisurgeonlocator.com/surgeonlocator.htm>
- <sup>14</sup> [https://www.intuitivesurgical.com/products/products\\_faq.php#9](https://www.intuitivesurgical.com/products/products_faq.php#9)
- <sup>15</sup> Orvieto, M.A., Marchetti, P., Castillo, O.A., Coelho, R.F., Chauhan, S., Rocco, B., Ardila, B., Mathe, M., and Patel, V.R. (2011). Robotic technologies in surgical oncology

---

training and practice. *Surg Oncol* 20, 203-209.

<sup>16</sup> Homepage der Intuitive Surgical, Inc., Stand: 17.10.2016:

<http://www.davincisurgery.com/da-vinci-surgery/da-vinci-surgical-system/>

<sup>17</sup> Homepage der Intuitive Surgical, Inc., Stand: 17.10.2016:

<http://www.davincisurgery.com/da-vinci-head-and-neck/>

<sup>18</sup> Homepage der Intuitive Surgical, Inc., Stand: 17.10.2016:

<http://www.intuitivesurgical.com/company/indications-for-use.html>

<sup>19</sup> Richards, K.A., Kader, A.K., Otto, R., Pettus, J.A., Smith, J.J., and Hemal, A.K.

(2012). Is robot-assisted radical cystectomy justified in the elderly? A comparison of robotic versus open radical cystectomy for bladder cancer in elderly  $\geq 75$  years old. *J Endourol* 26, 1301-1306.

<sup>20</sup> Davison, B.J., Matthew, A., and Gardner, A.M. (2014). Prospective comparison of the impact of robotic-assisted laparoscopic radical prostatectomy versus open radical prostatectomy on health-related quality of life and decision regret. *Can Urol Assoc J* 8, E68-72.

<sup>21</sup> Akand, M., Erdogan, T., Avci, E., and Ates, M. (2015). Transperitoneal versus extraperitoneal robot-assisted laparoscopic radical prostatectomy: A prospective single surgeon randomized comparative study. *Int J Urol* 22, 916-921.

<sup>22</sup> Ross, J.W., and Preston, M.R. (2009). Update on laparoscopic, robotic, and minimally invasive vaginal surgery for pelvic floor repair. *Minerva Ginecol* 61, 173-186.a

<sup>23</sup> Bove, P., Iacovelli, V., Celestino, F., De Carlo, F., Vespasiani, G., and Finazzi Agrò, E. (2015). 3D vs 2D laparoscopic radical prostatectomy in organ-confined prostate cancer: comparison of operative data and pentafecta rates: a single cohort study. *BMC Urol* 15, 12.

<sup>24</sup> Winters, B.R., Bremjit, P.J., Gore, J.L., Lin, D.W., Ellis, W.J., Dalkin, B.L., Porter, M.P., Harper, J.D., and Wright, J.L. (2016). Preliminary Comparative Effectiveness of Robotic Versus Open Radical Cystectomy in Elderly Patients. *J Endourol* 30, 212-217.

<sup>25</sup> Zong, L., Seto, Y., Aikou, S., and Takahashi, T. (2014). Efficacy evaluation of subtotal and total gastrectomies in robotic surgery for gastric cancer compared with that in open and laparoscopic resections: a meta-analysis. *PLoS One* 9, e103312.

<sup>26</sup> Paek, J., Lee, M., Kim, B.W., and Kwon, Y. (2016b). Robotic or laparoscopic sacrohysteropexy versus open sacrohysteropexy for uterus preservation in pelvic organ prolapse. *Int Urogynecol J* 27, 593-599.

<sup>27</sup> Paek, J., Lee, J.D., Kong, T.W., Chang, S.J., and Ryu, H.S. (2016a). Robotic single- ii

---

site versus laparoendoscopic single-site hysterectomy: a propensity score matching study. *Surg Endosc* 30, 1043-1050.

<sup>28</sup> Lopez, S., Mulla, Z.D., Hernandez, L., Garza, D.M., Payne, T.N., and Farnam, R.W. (2016). A Comparison of Outcomes Between Robotic-Assisted, Single-Site Laparoscopy Versus Laparoendoscopic Single Site for Benign Hysterectomy. *J Minim Invasive Gynecol* 23, 84-88.

<sup>29</sup> Niegisch, G., Rabenalt, R., and Albers, P. (2011). [Robot-assisted radical cystectomy. Pilot study for the prospective evaluation of perioperative parameters compared to open radical cystectomy]. *Urologe A* 50, 1076-1082.

<sup>30</sup> Alemozaffar, M., Sanda, M., Yecies, D., Mucci, L.A., Stampfer, M.J., and Kenfield, S.A. (2015). Benchmarks for operative outcomes of robotic and open radical prostatectomy: results from the Health Professionals Follow-up Study. *Eur Urol* 67, 432-438.

<sup>31</sup> Wang, G.J., Barocas, D.A., Raman, J.D., and Scherr, D.S. (2008). Robotic vs open radical cystectomy: prospective comparison of perioperative outcomes and pathological measures of early oncological efficacy. *BJU Int* 101, 89-93.

<sup>32</sup> Asawabharuj, K., Ramart, P., Nualyong, C., Leewansangtong, S., Srinualnad, S., Taweemonkongsap, T., Chaiyaprasithi, B., Amornvesukit, T., Jitpraphai, S., and Soontrapa, S. (2014). Comparison of urinary continence outcome between robotic assisted laparoscopic prostatectomy versus laparoscopic radical prostatectomy. *J Med Assoc Thai* 97, 393-398.

<sup>33</sup> Miller, J., Smith, A., Kouba, E., Wallen, E., and Pruthi, R.S. (2007). Prospective evaluation of short-term impact and recovery of health related quality of life in men undergoing robotic assisted laparoscopic radical prostatectomy versus open radical prostatectomy. *J Urol* 178, 854-858; discussion 859.

<sup>34</sup> Piquion-Joseph, J.M., Nayar, A., Ghazaryan, A., Papanna, R., Klimek, W., and Laroia, R. (2009). Robot-assisted gynecological surgery in a community setting. *J Robot Surg* 3, 61.

<sup>35</sup> Bhama, A.R., Obias, V., Welch, K.B., Vandewarker, J.F., and Cleary, R.K. (2016). A comparison of laparoscopic and robotic colorectal surgery outcomes using the American College of Surgeons National Surgical Quality Improvement Program (ACS NSQIP) database. *Surg Endosc* 30, 1576-1584.

<sup>36</sup> Bao, P.Q., Mazirka, P.O., and Watkins, K.T. (2014). Retrospective comparison of robot-assisted minimally invasive versus open pancreaticoduodenectomy for



---

periampullary neoplasms. *J Gastrointest Surg* 18, 682-689.

<sup>37</sup> Saar, M., Ohlmann, C.H., Siemer, S., Lehmann, J., Becker, F., Stöckle, M., and Kamradt, J. (2013). Fast-track rehabilitation after robot-assisted laparoscopic cystectomy accelerates postoperative recovery. *BJU Int* 112, E99-106.

<sup>38</sup> Cohn, D.E., Castellon-Larios, K., Huffman, L., Salani, R., Fowler, J.M., Copeland, L.J., O'Malley, D.M., Backes, F.J., Eisenhauer, E.L., Abdel-Rasoul, M., *et al.* (2016). A Prospective, Comparative Study for the Evaluation of Postoperative Pain and Quality of Recovery in Patients Undergoing Robotic Versus Open Hysterectomy for Staging of Endometrial Cancer. *J Minim Invasive Gynecol* 23, 429-434.

<sup>39</sup> Parekh, D.J., Messer, J., Fitzgerald, J., Ercole, B., and Svatek, R. (2013). Perioperative outcomes and oncologic efficacy from a pilot prospective randomized clinical trial of open versus robotic assisted radical cystectomy. *J Urol* 189, 474-479.

<sup>40</sup> Froehner, M., Meinhardt, M., Parmentier, S., Hugo, C., and Wirth, M.P. (2016). Renal Sarcoidosis Mimicking Xanthogranulomatous Pyelonephritis. *Urology*.

<sup>41</sup> Kader, A.K., Richards, K.A., Krane, L.S., Pettus, J.A., Smith, J.J., and Hemal, A.K. (2013). Robot-assisted laparoscopic vs open radical cystectomy: comparison of complications and perioperative oncological outcomes in 200 patients. *BJU Int* 112, E290-294.

<sup>42</sup> Zargar, H., Allaf, M.E., Bhayani, S., Stifelman, M., Rogers, C., Ball, M.W., Larson, J., Marshall, S., Kumar, R., and Kaouk, J.H. (2015). Trifecta and optimal perioperative outcomes of robotic and laparoscopic partial nephrectomy in surgical treatment of small renal masses: a multi-institutional study. *Ibid.* 116, 407-414.

<sup>43</sup> Zhang, L., and Gao, S. (2015). Robot-assisted thoracic surgery versus open thoracic surgery for lung cancer: a system review and meta-analysis. *Int J Clin Exp Med* 8, 17804-17810.

<sup>44</sup> Koo, K.C., Tulliao, P., Yoon, Y.E., Chung, B.H., Hong, S.J., Yang, S.C., and Rha, K.H. (2014). Robot-assisted radical prostatectomy in the Korean population: a 5-year propensity-score matched comparative analysis versus open radical prostatectomy. *Int J Urol* 21, 781-785.

<sup>45</sup> Ritch, C.R., You, C., May, A.T., Herrell, S.D., Clark, P.E., Penson, D.F., Chang, S.S., Cookson, M.S., Smith, J.A., and Barocas, D.A. (2014). Biochemical recurrence-free survival after robotic-assisted laparoscopic vs open radical prostatectomy for intermediate- and high-risk prostate cancer. *Urology* 83, 1309-1315.

<sup>46</sup> Niegisch, G., Albers, P., and Rabenalt, R. (2014). Perioperative complications and

---

oncological safety of robot-assisted (RARC) vs. open radical cystectomy (ORC). *Urol Oncol* 32, 966-974.

<sup>47</sup> Nepple, K.G., Strobe, S.A., Grubb, R.L., and Kibel, A.S. (2013). Early oncologic outcomes of robotic vs. open radical cystectomy for urothelial cancer. *Ibid.* 31, 894-898.

<sup>48</sup> Cho, M.S., Kim, C.W., Baek, S.J., Hur, H., Min, B.S., Baik, S.H., Lee, K.Y., and Kim, N.K. (2015). Minimally invasive versus open total mesorectal excision for rectal cancer: Long-term results from a case-matched study of 633 patients. *Surgery* 157, 1121-1129.

<sup>49</sup> Lee, S.Y., Allen, P.J., Sadot, E., D'Angelica, M.I., DeMatteo, R.P., Fong, Y., Jarnagin, W.R., and Kingham, T.P. (2015). Distal pancreatectomy: a single institution's experience in open, laparoscopic, and robotic approaches. *J Am Coll Surg* 220, 18-27.

<sup>50</sup> Joubert, M., Thubert, T., Lefranc, J.P., Vaessen, C., Chartier-Kastler, É., Deffieux, X., and Rouprêt, M. (2014). Comparison of functional outcomes with purely laparoscopic sacrocolpopexy and robot-assisted sacrocolpopexy in obese women. *Prog Urol* 24, 1106-1113.

<sup>51</sup> Pan, K., Zhang, Y., Wang, Y., and Xu, H. (2016). A systematic review and meta-analysis of conventional laparoscopic sacrocolpopexy versus robot-assisted laparoscopic sacrocolpopexy. *Int J Gynaecol Obstet* 132, 284-291.

<sup>52</sup> Kim, T.H., Choi, C.H., Choi, J.K., Yoon, A., Lee, Y.Y., Kim, T.J., Lee, J.W., Bae, D.S., and Kim, B.G. (2014c). Robotic versus laparoscopic radical hysterectomy in cervical cancer patients: a matched-case comparative study. *Int J Gynecol Cancer* 24, 1466-1473.

<sup>53</sup> Zhou, J., Xiong, B.H., Ma, L., Cheng, Y., Huang, W., and Zhao, L. (2016). Robotic vs laparoscopic radical hysterectomy for cervical cancer: a meta-analysis. *Int J Med Robot* 12, 145-154.

<sup>54</sup> Gainsburg, D.M., Wax, D., Reich, D.L., Carlucci, J.R., and Samadi, D.B. (2010). Intraoperative management of robotic-assisted versus open radical prostatectomy. *JSL* 14, 1-5.

<sup>55</sup> Turner, T.B., Habib, A.S., Broadwater, G., Valea, F.A., Fleming, N.D., Ehrisman, J.A., Di Santo, N., and Havrilesky, L.J. (2015). Postoperative Pain Scores and Narcotic Use in Robotic-assisted Versus Laparoscopic Hysterectomy for Endometrial Cancer Staging. *J Minim Invasive Gynecol* 22, 1004-1010.

<sup>56</sup> Choo, S.H., Lee, S.Y., Sung, H.H., Jeon, H.G., Jeong, B.C., Jeon, S.S., Lee, H.M., Choi, H.Y., and Seo, S.I. (2014). Transperitoneal versus retroperitoneal robotic partial nephrectomy: matched-pair comparisons by nephrometry scores. *World J Urol* 32,

---

1523-1529.

<sup>57</sup> Gu, X., Araki, M., and Wong, C. (2014). Does elevated body mass index (BMI) affect the clinical outcomes of robot-assisted laparoscopic prostatectomy (RALP): a prospective cohort study. *Int J Surg* 12, 1055-1060.

<sup>58</sup> Styn, N.R., Montgomery, J.S., Wood, D.P., Hafez, K.S., Lee, C.T., Tallman, C., He, C., Crossley, H., Hollenbeck, B.K., and Weizer, A.Z. (2012). Matched comparison of robotic-assisted and open radical cystectomy. *Urology* 79, 1303-1308.

<sup>59</sup> Guillotreau, J., Miocinovic, R., Gamé, X., Forest, S., Malavaud, B., Kaouk, J., Rischmann, P., and Haber, G.P. *Ibid.* Outcomes of laparoscopic and robotic radical cystectomy in the elderly patients. 585-590.

<sup>60</sup> Ghezzi, T.L., Luca, F., Valvo, M., Corleta, O.C., Zuccaro, M., Cenciarelli, S., and Biffi, R. (2014). Robotic versus open total mesorectal excision for rectal cancer: comparative study of short and long-term outcomes. *Eur J Surg Oncol* 40, 1072-1079.

<sup>61</sup> Kim, J.C., Lim, S.B., Yoon, Y.S., Park, I.J., Kim, C.W., and Kim, C.N. (2014b). Completely abdominal intersphincteric resection for lower rectal cancer: feasibility and comparison of robot-assisted and open surgery. *Surg Endosc* 28, 2734-2744.

<sup>62</sup> Park, S.Y., Choi, G.S., Park, J.S., Kim, H.J., Ryuk, J.P., and Yun, S.H. (2014). Urinary and erectile function in men after total mesorectal excision by laparoscopic or robot-assisted methods for the treatment of rectal cancer: a case-matched comparison. *World J Surg* 38, 1834-1842.

<sup>63</sup> Beyer, B., Kühne, K., Böhm, K., Schiffmann, J., Heinzer, H., Michl, U., Huland, H., Graefen, M., Haese, A., and Steuber, T. (2015). [DaVinci robot-assisted laparoscopic prostatectomy: benefit for obese men? - A matched-pair analysis]. *Urologe A* 54, 34-40.

<sup>64</sup> Hung, C.F., Yang, C.K., and Ou, Y.C. (2014). Robotic assisted laparoscopic radical prostatectomy following transurethral resection of the prostate: perioperative, oncologic and functional outcomes. *Prostate Int* 2, 82-89.

<sup>65</sup> Chan, J.K., Gardner, A.B., Taylor, K., Thompson, C.A., Blansit, K., Yu, X., and Kapp, D.S. (2015). Robotic versus laparoscopic versus open surgery in morbidly obese endometrial cancer patients - a comparative analysis of total charges and complication rates. *Gynecol Oncol* 139, 300-305.

<sup>66</sup> Gala, R.B., Margulies, R., Steinberg, A., Murphy, M., Lukban, J., Jeppson, P., Aschkenazi, S., Olivera, C., South, M., Lowenstein, L., *et al.* (2014). Systematic review of robotic surgery in gynecology: robotic techniques compared with laparoscopy and laparotomy. *J Minim Invasive Gynecol* 21, 353-361.

- 
- <sup>67</sup> Nezhat, C.R., Stevens, A., Balassiano, E., and Soliemannjad, R. (2015). Robotic-assisted laparoscopy vs conventional laparoscopy for the treatment of advanced stage endometriosis. *Ibid.* 22, 40-44.
- <sup>68</sup> Widmann, G. (2007). Image-guided surgery and medical robotics in the cranial area. *Biomed Imaging Interv J* 3, e11.
- <sup>69</sup> Oysu, C., and Sahin-Yilmaz, A. (2013). En bloc resection of epiglottic tumors with transoral robotic approach - preliminary results. *Int J Med Robot* 9, 477-479.
- <sup>70</sup> Teo, E.H., Toh, S.T., Tay, H.N., and Han, H.J. (2013). Transoral robotic resection of lingual thyroid: case report. *J Laryngol Otol* 127, 1034-1037.
- <sup>71</sup> Moore, E.J., Olsen, S.M., Laborde, R.R., García, J.J., Walsh, F.J., Price, D.L., Janus, J.R., Kasperbauer, J.L., and Olsen, K.D. (2012). Long-term functional and oncologic results of transoral robotic surgery for oropharyngeal squamous cell carcinoma. *Mayo Clin Proc* 87, 219-225.
- <sup>72</sup> Genden, E.M., Kotz, T., Tong, C.C., Smith, C., Sikora, A.G., Teng, M.S., Packer, S.H., Lawson, W.L., and Kao, J. (2011). Transoral robotic resection and reconstruction for head and neck cancer. *Laryngoscope* 121, 1668-1674.
- <sup>73</sup> Byeon, H.K., Holsinger, F.C., Tufano, R.P., Chung, H.J., Kim, W.S., Koh, Y.W., and Choi, E.C. (2014). Robotic total thyroidectomy with modified radical neck dissection via unilateral retroauricular approach. *Ann Surg Oncol* 21, 3872-3875.
- <sup>74</sup> Vicini, C., Montevecchi, F., Pang, K., Bahgat, A., Dallan, I., Frassinetti, S., and Campanini, A. (2014). Combined transoral robotic tongue base surgery and palate surgery in obstructive sleep apnea-hypopnea syndrome: expansion sphincter pharyngoplasty versus uvulopalatopharyngoplasty. *Head Neck* 36, 77-83.
- <sup>75</sup> Wei, W.I., and Ho, W.K. (2010). Transoral robotic resection of recurrent nasopharyngeal carcinoma. *Laryngoscope* 120, 2011-2014.
- <sup>76</sup> Yin Tsang, R.K., Ho, W.K., and Wei, W.I. (2012). Combined transnasal endoscopic and transoral robotic resection of recurrent nasopharyngeal carcinoma. *Head Neck* 34, 1190-1193.
- <sup>77</sup> Leonardis, R.L., Duvvuri, U., and Mehta, D. (2013). Transoral robotic-assisted lingual tonsillectomy in the pediatric population. *JAMA Otolaryngol Head Neck Surg* 139, 1032-1036.
- <sup>78</sup> Eichhorn, K.W., and Bootz, F. (2011). Clinical requirements and possible applications of robot assisted endoscopy in skull base and sinus surgery. *Acta Neurochir Suppl* 109, 237-240.

- 
- <sup>79</sup> Sharma, V., and Meeks, J.J. (2014). Open conversion during minimally invasive radical prostatectomy: impact on perioperative complications and predictors from national data. *J Urol* 192, 1657-1662.
- <sup>80</sup> Weiner, A.B., Murthy, P., Richards, K.A., Patel, S.G., and Eggener, S.E. (2015). Population based analysis of incidence and predictors of open conversion during minimally invasive radical prostatectomy. *Ibid.* 193, 826-831.
- <sup>81</sup> Tam, M.S., Kaoutzanis, C., Mullard, A.J., Regenbogen, S.E., Franz, M.G., Hendren, S., Krapohl, G., Vandewarker, J.F., Lampman, R.M., and Cleary, R.K. (2016). A population-based study comparing laparoscopic and robotic outcomes in colorectal surgery. *Surg Endosc* 30, 455-463.
- <sup>82</sup> Autorino, R., Zargar, H., and Porpiglia, F. (2015). Reply to Francesco Montorsi and Giorgio Gandaglia's Letter to the Editor re: Riccardo Autorino, Homayoun Zagar, Mirandolino B. Mariano, et al. Perioperative Outcomes of Robotic and Laparoscopic Simple Prostatectomy: A European-American Multi-institutional Analysis. *Eur Urol* 2015;68:86-94; Re: Matthew Bultitude, Ben Challacombe. Simple Prostatectomy: A Step Too Far for Laparoscopy? *Eur Urol* 2015;68:95-6. *Eur Urol* 2015;68:e7-8. *Eur Urol* 68, e9-10.
- <sup>83</sup> Zattoni, F., Guttilla, A., Crestani, A., De Gobbi, A., Cattaneo, F., Moschini, M., Vianello, F., Valotto, C., and Dal Moro, F. (2015). The Value of Open Conversion Simulations During Robot-Assisted Radical Prostatectomy: Implications for Robotic Training Curricula. *J Endourol* 29, 1282-1288.
- <sup>84</sup> Friedman, D.C., Lendvay, T.S., and Hannaford, B. (2013). Instrument Failures for the da Vinci Surgical System: a Food and Drug Administration MAUDE Database Study. *Surg Endosc* 27, 1503-1508.
- <sup>85</sup> Collins, J.W., Patel, H., Adding, C., Annerstedt, M., Dasgupta, P., Khan, S.M., Artibani, W., Gaston, R., Piechaud, T., Catto, J.W., *et al.* (2016). Enhanced Recovery After Robot-assisted Radical Cystectomy: EAU Robotic Urology Section Scientific Working Group Consensus View. *Eur Urol* 70, 649-660.
- <sup>86</sup> Amodio, A., Linares Quevedo, A., Joseph, J.V., Belgrano, E., and Patel, H.R. (2009). Robotic laparoscopic surgery: cost and training. *Minerva Urol Nefrol* 61, 121-128.
- <sup>87</sup> Grover, S., Tan, G.Y., Srivastava, A., Leung, R.A., and Tewari, A.K. (2010). Residency training program paradigms for teaching robotic surgical skills to urology residents. *Curr Urol Rep* 11, 87-92.
- <sup>88</sup> Gustafson, M., Lescouflair, T., Kimball, R., and Daoud, I. (2016). A comparison of

---

robotic single-incision and traditional single-incision laparoscopic cholecystectomy. *Surg Endosc* 30, 2276-2280.

<sup>89</sup> Marino, P., Houvenaeghel, G., Narducci, F., Boyer-Chammard, A., Ferron, G., Uzan, C., Bats, A.S., Mathevet, P., Dessogne, P., Guyon, F., *et al.* (2015). Cost-Effectiveness of Conventional vs Robotic-Assisted Laparoscopy in Gynecologic Oncologic Indications. *Int J Gynecol Cancer* 25, 1102-1108.

<sup>90</sup> Lee, R., Ng, C.K., Shariat, S.F., Borkina, A., Guimento, R., Brumit, K.F., and Scherr, D.S. (2011). The economics of robotic cystectomy: cost comparison of open versus robotic cystectomy. *BJU Int* 108, 1886-1892.

<sup>91</sup> Pai, A., Marecik, S.J., Park, J.J., Melich, G., Sulo, S., and Prasad, L.M. (2015). Oncologic and Clinicopathologic Outcomes of Robot-Assisted Total Mesorectal Excision for Rectal Cancer. *Dis Colon Rectum* 58, 659-667.

<sup>92</sup> Herling, S.F., Palle, C., Møller, A.M., Thomsen, T., and Sørensen, J. (2016). Cost-analysis of robotic-assisted laparoscopic hysterectomy versus total abdominal hysterectomy for women with endometrial cancer and atypical complex hyperplasia. *Acta Obstet Gynecol Scand* 95, 299-308.

<sup>93</sup> Smith, A., Kurpad, R., Lal, A., Nielsen, M., Wallen, E.M., and Pruthi, R.S. (2010). Cost analysis of robotic versus open radical cystectomy for bladder cancer. *J Urol* 183, 505-509.

<sup>94</sup> Basto, M., Sathianathen, N., Te Marvelde, L., Ryan, S., Goad, J., Lawrentschuk, N., Costello, A.J., Moon, D.A., Heriot, A.G., Butler, J., *et al.* (2016). Patterns-of-care and health economic analysis of robot-assisted radical prostatectomy in the Australian public health system. *BJU Int* 117, 930-939.

<sup>95</sup> Coronado, P.J., Fasero, M., Magrina, J.F., Herraiz, M.A., and Vidart, J.A. (2014). Comparison of perioperative outcomes and cost between robotic-assisted and conventional laparoscopy for transperitoneal infrarenal para-aortic lymphadenectomy (TIPAL). *J Minim Invasive Gynecol* 21, 674-681.

<sup>96</sup> Zakhari, A., Czuzoj-Shulman, N., Spence, A.R., Gotlieb, W.H., and Abenhaim, H.A. (2016). Hysterectomy for Uterine Cancer in the Elderly: A Comparison Between Laparoscopic and Robot-Assisted Techniques. *Int J Gynecol Cancer* 26, 1222-1227.

<sup>97</sup> Koh, F.H., Tan, K.K., Lieske, B., Tsang, M.L., Tsang, C.B., and Koh, D.C. (2014). Endowrist versus wrist: a case-controlled study comparing robotic versus hand-assisted laparoscopic surgery for rectal cancer. *Surg Laparosc Endosc Percutan Tech* 24, 452-456.

- 
- <sup>98</sup> Owen, B., Simorov, A., Siref, A., Shostrom, V., and Oleynikov, D. (2014). How does robotic anti-reflux surgery compare with traditional open and laparoscopic techniques: a cost and outcomes analysis. *Surg Endosc* 28, 1686-1690.
- <sup>99</sup> Ben-Or, S., Nifong, L.W., and Chitwood, W.R. (2013). Robotic surgical training. *Cancer J* 19, 120-123.
- <sup>100</sup> Panait, L., Shetty, S., Shewokis, P.A., and Sanchez, J.A. (2014). Do laparoscopic skills transfer to robotic surgery? *J Surg Res* 187, 53-58.
- <sup>101</sup> Nelson, E.C., Gottlieb, A.H., Müller, H.G., Smith, W., Ali, M.R., and Vidovszky, T.J. (2014). Robotic cholecystectomy and resident education: the UC Davis experience. *Int J Med Robot* 10, 218-222.
- <sup>102</sup> Yim, G.W., Kim, S.W., Nam, E.J., Kim, S., and Kim, Y.T. (2013). Learning curve analysis of robot-assisted radical hysterectomy for cervical cancer: initial experience at a single institution. *J Gynecol Oncol* 24, 303-312.
- <sup>103</sup> Kim, I.K., Kang, J., Park, Y.A., Kim, N.K., Sohn, S.K., and Lee, K.Y. (2014a). Is prior laparoscopy experience required for adaptation to robotic rectal surgery?: Feasibility of one-step transition from open to robotic surgery. *Int J Colorectal Dis* 29, 693-699.
- <sup>104</sup> Nakamura, H. (2014). [Lobectomy for lung cancer using the Da Vinci surgical system]. *Nihon Geka Gakkai Zasshi* 115, 147-150.
- <sup>105</sup> Aghazadeh, M.A., Mercado, M.A., Pan, M.M., Miles, B.J., and Goh, A.C. (2016). Performance of robotic simulated skills tasks is positively associated with clinical robotic surgical performance. *BJU Int* 118, 475-481.
- <sup>106</sup> Sun, A.J., Aron, M., and Hung, A.J. (2014). Novel training methods for robotic surgery. *Indian J Urol* 30, 333-338.
- <sup>107</sup> Hung, A.J., Jayaratna, I.S., Teruya, K., Desai, M.M., Gill, I.S., and Goh, A.C. (2013). Comparative assessment of three standardized robotic surgery training methods. *BJU Int* 112, 864-871.
- <sup>108</sup> Whitehurst, S.V., Lockrow, E.G., Lendvay, T.S., Propst, A.M., Dunlow, S.G., Rosemeyer, C.J., Govern, J.M., White, L.W., Skinner, A., and Buller, J.L. (2015). Comparison of two simulation systems to support robotic-assisted surgical training: a pilot study (Swine model). *J Minim Invasive Gynecol* 22, 483-488.
- <sup>109</sup> Wang, W., Li, J., Wang, S., Su, H., and Jiang, X. (2016). System design and animal experiment study of a novel minimally invasive surgical robot. *Int J Med Robot* 12, 73-84.

- 
- <sup>110</sup> Smith, R., Truong, M., and Perez, M. (2015). Comparative analysis of the functionality of simulators of the da Vinci surgical robot. *Surg Endosc* 29, 972-983.
- <sup>111</sup> Bric, J.D., Lumbard, D.C., Frelich, M.J., and Gould, J.C. (2016). Current state of virtual reality simulation in robotic surgery training: a review. *Ibid.* 30, 2169-2178.
- <sup>112</sup> Jarc, A.M., and Curet, M. (2015). Face, content, and construct validity of four, inanimate training exercises using the da Vinci ® Si surgical system configured with Single-Site™ instrumentation. *Ibid.* 29, 2298-2304.
- <sup>113</sup> Vargas, M.V., Moawad, G., Denny, K., Happ, L., Misa, N.Y., Margulies, S., Opoku-Anane, J., Abi Khalil, E., and Marfori, C. (2016). The transferability of virtual reality simulation-based robotic suturing skills to a live porcine model in novice surgeons: a single blind randomized controlled trial(1). *J Minim Invasive Gynecol.*
- <sup>114</sup> Brown, K., Mosley, N., and Tierney, J. (2016). Battle of the bots: a comparison of the standard da Vinci and the da Vinci Surgical Skills Simulator in surgical skills acquisition. *J Robot Surg.*
- <sup>115</sup> Vaccaro, C.M., Crisp, C.C., Fellner, A.N., Jackson, C., Kleeman, S.D., and Pavelka, J. (2013). Robotic virtual reality simulation plus standard robotic orientation versus standard robotic orientation alone: a randomized controlled trial. *Female Pelvic Med Reconstr Surg* 19, 266-270.
- <sup>116</sup> Phé, V., Cattarino, S., Parra, J., Bitker, M.O., Ambrogi, V., Vaessen, C., and Rouprêt, M. (2016). Outcomes of a virtual-reality simulator-training programme on basic surgical skills in robot-assisted laparoscopic surgery. *Int J Med Robot.*
- <sup>117</sup> Egi, H., Hattori, M., Tokunaga, M., Suzuki, T., Kawaguchi, K., Sawada, H., and Ohdan, H. (2013). Face, content and concurrent validity of the Mimic® dV-Trainer for robot-assisted endoscopic surgery: a prospective study. *Eur Surg Res* 50, 292-300.
- <sup>118</sup> Cho, J.S., Hahn, K.Y., Kwak, J.M., Kim, J., Baek, S.J., Shin, J.W., and Kim, S.H. (2013). Virtual reality training improves da Vinci performance: a prospective trial. *J Laparoendosc Adv Surg Tech A* 23, 992-998.
- <sup>119</sup> Angell, J., Gomez, M.S., Baig, M.M., and Abaza, R. (2013). Contribution of laparoscopic training to robotic proficiency. *J Endourol* 27, 1027-1031.
- <sup>120</sup> Hassan, S.O., Dudhia, J., Syed, L.H., Patel, K., Farshidpour, M., Cunningham, S.C., and Kowdley, G.C. (2015). Conventional Laparoscopic vs Robotic Training: Which is Better for Naive Users? A Randomized Prospective Crossover Study. *J Surg Educ* 72, 592-599.
- <sup>121</sup> Smith, A.L., Scott, E.M., Krivak, T.C., Olawaiye, A.B., Chu, T., and Richard, S.D. xi



---

(2013). Dual-console robotic surgery: a new teaching paradigm. *J Robot Surg* 7, 113-118.

<sup>122</sup> Crusco, S., Jackson, T., and Advincula, A. (2014). Comparing the da Vinci si single console and dual console in teaching novice surgeons suturing techniques. *JLS* 18.

<sup>123</sup> Jarc, A.M., Stanley, A.A., Clifford, T., Gill, I.S., and Hung, A.J. (2016). Proctors exploit three-dimensional ghost tools during clinical-like training scenarios: a preliminary study. *World J Urol*.

<sup>124</sup> Attalla, K., Raza, S.J., Rehman, S., Din, R., Stegemann, A., Field, E., Curti, L., Sexton, S., Bienko, M., Bhandari, M., *et al.* (2013). Effectiveness of a dedicated robot-assisted surgery training program. *Can J Urol* 20, 7084-7090.

<sup>125</sup> Noureldin, Y.A., Stoica, A., Kassouf, W., Tanguay, S., Bladou, F., and Andonian, S. (2016). Incorporation of the da Vinci Surgical Skills Simulator at urology Objective Structured Clinical Examinations (OSCEs): a pilot study. *Ibid.* 23, 8160-8166.

<sup>126</sup> Volpe, A., Ahmed, K., Dasgupta, P., Ficarra, V., Novara, G., van der Poel, H., and Mottrie, A. (2015). Pilot Validation Study of the European Association of Urology Robotic Training Curriculum. *Eur Urol* 68, 292-299.

<sup>127</sup> Tergas, A.I., Sheth, S.B., Green, I.C., Giuntoli, R.L., Winder, A.D., and Fader, A.N. (2013). A pilot study of surgical training using a virtual robotic surgery simulator. *JLS* 17, 219-226.

<sup>128</sup> Ramos, P., Montez, J., Tripp, A., Ng, C.K., Gill, I.S., and Hung, A.J. (2014). Face, content, construct and concurrent validity of dry laboratory exercises for robotic training using a global assessment tool. *BJU Int* 113, 836-842.

<sup>129</sup> Schreuder, H.W., Wolswijk, R., Zweemer, R.P., Schijven, M.P., and Verheijen, R.H. (2012). Training and learning robotic surgery, time for a more structured approach: a systematic review. *BJOG* 119, 137-149.

<sup>130</sup> Nisky, I., Patil, S., Hsieh, M.H., and Okamura, A.M. (2013). Kinematic analysis of motor performance in robot-assisted surgery: a preliminary study. *Stud Health Technol Inform* 184, 302-308.

<sup>131</sup> Liu, M., and Curet, M. (2015). A review of training research and virtual reality simulators for the da Vinci surgical system. *Teach Learn Med* 27, 12-26.

<sup>132</sup> Issenberg, S.B., McGaghie, W.C., Petrusa, E.R., Lee Gordon, D., and Scalese, R.J. (2005). Features and uses of high-fidelity medical simulations that lead to effective learning: a BEME systematic review. *Med Teach* 27, 10-28.

<sup>133</sup> Hung, A.J., Zehnder, P., Patil, M.B., Cai, J., Ng, C.K., Aron, M., Gill, I.S., and Desai, xii

---

M.M. (2011). Face, content and construct validity of a novel robotic surgery simulator. *J Urol* 186, 1019-1024.

<sup>134</sup> Lyons, C., Goldfarb, D., Jones, S.L., Badhiwala, N., Miles, B., Link, R., and Dunkin, B.J. (2013). Which skills really matter? proving face, content, and construct validity for a commercial robotic simulator. *Surg Endosc* 27, 2020-2030.

<sup>135</sup> Schulz, K.F., and Grimes, D.A. (2002). Blinding in randomised trials: hiding who got what. *Lancet* 359, 696-700.

<sup>136</sup> Schulz, K.F., Chalmers, I., Grimes, D.A., and Altman, D.G. (1994). Assessing the quality of randomization from reports of controlled trials published in obstetrics and gynecology journals. *JAMA* 272, 125-128.

<sup>137</sup> Schulz, K.F., Chalmers, I., Hayes, R.J., and Altman, D.G. (1995). Empirical evidence of bias. Dimensions of methodological quality associated with estimates of treatment effects in controlled trials. *Ibid.* 273, 408-412.

<sup>138</sup> Lee, G.I., Lee, M.R., Green, I., Allaf, M., and Marohn, M.R. (2016). Surgeons' physical discomfort and symptoms during robotic surgery: a comprehensive ergonomic survey study. *Surg Endosc.*

<sup>139</sup> Akdemir, A., Zeybek, B., Oztugrel, B., Oztekin, M.K., and Sendag, F. (2015). Learning curve analysis of intracorporeal cuff suturing during robotic single-site total hysterectomy. *J Minim Invasive Gynecol* 22, 384-389.

<sup>140</sup> Brinkman, W.M., Luursema, J.M., Kengen, B., Schout, B.M., Witjes, J.A., and Bekkers, R.L. (2013). da Vinci skills simulator for assessing learning curve and criterion-based training of robotic basic skills. *Urology* 81, 562-566.

<sup>141</sup> Gomez, P.P., Willis, R.E., and Van Sickle, K.R. (2015). Development of a virtual reality robotic surgical curriculum using the da Vinci Si surgical system. *Surg Endosc* 29, 2171-2179.

<sup>142</sup> Kang, S.G., Ryu, B.J., Yang, K.S., Ko, Y.H., Cho, S., Kang, S.H., Patel, V.R., and Cheon, J. (2015). An effective repetitive training schedule to achieve skill proficiency using a novel robotic virtual reality simulator. *J Surg Educ* 72, 369-376.

<sup>143</sup> Kang, S.G., Ryu, B.J., Yang, K.S., Ko, Y.H., Cho, S., Kang, S.H., Patel, V.R., and Cheon, J. (2015). An effective repetitive training schedule to achieve skill proficiency using a novel robotic virtual reality simulator. *J Surg Educ* 72, 369-376.

<sup>144</sup> Wiener, S., Haddock, P., Shichman, S., and Dorin, R. (2015). Construction of a Urologic Robotic Surgery Training Curriculum: How Many Simulator Sessions Are Required for Residents to Achieve Proficiency? *J Endourol* 29, 1289-1293.

- 
- <sup>145</sup> Walliczek-Dworschak, U., Schmitt, M., Dworschak, P., Diogo, I., Ecke, A., Mandapathil, M., Teymoortash, A., and Güldner, C. (2016). The effect of different training exercises on the performance outcome on the da Vinci Skills Simulator. *Surg Endosc*.
- <sup>146</sup> Kang, S.G., Ryu, B.J., Yang, K.S., Ko, Y.H., Cho, S., Kang, S.H., Patel, V.R., and Cheon, J. (2015). An effective repetitive training schedule to achieve skill proficiency using a novel robotic virtual reality simulator. *J Surg Educ* 72, 369-376.
- <sup>147</sup> Kim, J.Y., Kim, S.B., Pyun, J.H., Kim, H.K., Cho, S., Lee, J.G., Kim, J.J., Cheon, J., Kang, S.H., and Kang, S.G. (2015). Concurrent and predictive validation of robotic simulator Tube 3 module. *Korean J Urol* 56, 756-761.
- <sup>148</sup> Lendvay, T.S., Brand, T.C., White, L., Kowalewski, T., Jonnadula, S., Mercer, L.D., Khorsand, D., Andros, J., Hannaford, B., and Satava, R.M. (2013). Virtual reality robotic surgery warm-up improves task performance in a dry laboratory environment: a prospective randomized controlled study. *J Am Coll Surg* 216, 1181-1192.
- <sup>149</sup> Meccariello, G., Faedi, F., AlGhamdi, S., Montevecchi, F., Firinu, E., Zanotti, C., Cavaliere, D., Gunelli, R., Turchini, M., Amadori, A., *et al.* (2016). An experimental study about haptic feedback in robotic surgery: may visual feedback substitute tactile feedback? *J Robot Surg* 10, 57-61.
- <sup>150</sup> Gomez, E.D., Aggarwal, R., McMahan, W., Bark, K., and Kuchenbecker, K.J. (2016). Objective assessment of robotic surgical skill using instrument contact vibrations. *Surg Endosc* 30, 1419-1431.
- <sup>151</sup> Guru, K.A., Esfahani, E.T., Raza, S.J., Bhat, R., Wang, K., Hammond, Y., Wilding, G., Peabody, J.O., and Chowriappa, A.J. (2015). Cognitive skills assessment during robot-assisted surgery: separating the wheat from the chaff. *BJU Int* 115, 166-174.
- <sup>152</sup> Brinkman, W.M., Luursema, J.M., Kengen, B., Schout, B.M., Witjes, J.A., and Bekkers, R.L. (2013). da Vinci skills simulator for assessing learning curve and criterion-based training of robotic basic skills. *Urology* 81, 562-566.
- <sup>153</sup> Vallabhajosula, S., Judkins, T.N., Mukherjee, M., Suh, I.H., Oleynikov, D., and Siu, K.C. (2013). Skills learning in robot-assisted surgery is benefited by task-specific augmented feedback. *Surg Innov* 20, 639-647.
- <sup>154</sup> Yang, K., Perez, M., Perrenot, C., Hubert, N., Felblinger, J., and Hubert, J. (2016). A new system for evaluation of armrest use in robotic surgery and validation of a new ergonomic concept - armrest load. *Int J Med Robot* 12, 604-612.
- <sup>155</sup> Mullen, P.M. (2003). Delphi: myths and reality. *J Health Organ Manag* 17, 37-52. xiv

- 
- <sup>156</sup> Stegemann, A.P., Ahmed, K., Syed, J.R., Rehman, S., Ghani, K., Autorino, R., Sharif, M., Rao, A., Shi, Y., Wilding, G.E., *et al.* (2013). Fundamental skills of robotic surgery: a multi-institutional randomized controlled trial for validation of a simulation-based curriculum. *Urology* 81, 767-774.
- <sup>157</sup> Suozzi, B.A., O'Sullivan, D.M., Finnegan, K.T., and Steinberg, A.C. (2013). Can visuospatial ability predict performance and learning curves on a robotic surgery simulator? *Female Pelvic Med Reconstr Surg* 19, 214-218.
- <sup>158</sup> Meier, M., Horton, K., and John, H. (2016). Da Vinci© Skills Simulator™: is an early selection of talented console surgeons possible? *J Robot Surg* 10, 289-296.
- <sup>159</sup> Rajanbabu, A., Drudi, L., Lau, S., Press, J.Z., and Gotlieb, W.H. (2014). Virtual reality surgical simulators- a prerequisite for robotic surgery. *Indian J Surg Oncol* 5, 125-127.
- <sup>160</sup> Zhang, N., and Sumer, B.D. (2013). Transoral robotic surgery: simulation-based standardized training. *JAMA Otolaryngol Head Neck Surg* 139, 1111-1117.
- <sup>161</sup> Moglia, A., Ferrari, V., Morelli, L., Melfi, F., Ferrari, M., Mosca, F., and Cuschieri, A. (2014). Distribution of innate ability for surgery amongst medical students assessed by an advanced virtual reality surgical simulator. *Surg Endosc* 28, 1830-1837.
- <sup>162</sup> Brinkman, W.M., Luursema, J.M., Kengen, B., Schout, B.M., Witjes, J.A., and Bekkers, R.L. (2013). da Vinci skills simulator for assessing learning curve and criterion-based training of robotic basic skills. *Urology* 81, 562-566.
- <sup>163</sup> Shee, K., Ghali, F.M., and Hyams, E.S. (2017). Practice Makes Perfect: Correlations Between Prior Experience in High-level Athletics and Robotic Surgical Performance Do Not Persist After Task Repetition. *J Surg Educ*.
- <sup>164</sup> Harbin, A.C., Nadhan, K.S., Mooney, J.H., Yu, D., Kaplan, J., McGinley-Hence, N., Kim, A., Gu, Y., and Eun, D.D. (2016). Prior video game utilization is associated with improved performance on a robotic skills simulator. *J Robot Surg*.
- <sup>165</sup> Finnerty, B.M., Afaneh, C., Aronova, A., Fahey, T.J., and Zarnegar, R. (2016). General surgery training and robotics: Are residents improving their skills? *Surg Endosc* 30, 567-573.
- <sup>166</sup> Tillou, X., Collon, S., Martin-Francois, S., and Doerfler, A. (2016). Robotic Surgery Simulator: Elements to Build a Training Program. *J Surg Educ* 73, 870-878.

---

## **Verzeichnis der akademischen Lehrer**

Meine akademischen Lehrer waren die Damen/Herren: Alter, Baarlink, Barth, Bartsch, Baum, Bauer, Baumann, Bien, Cetin, Czubayko, Daut, Dodel, Donner-Banzhoff, Duda, Eberhardt, Fendrich, Feuser, Fuchs-Winkelmann, Geks, Gerdes, Görg C, Görg K Gress, Grimm, Güldner, Hegele, Hertl, Hofmann, Höffken, Hoyer, Kann, Kill, Kinscherf, Klose, Köhler, König, Koolmann, Kühnert, Langer, Lill, Löffler, Lohoff, Maier, Mandrek, Meier, Maisch, Mittag, Moll, Moosdorf, Mueller, Mutters, Neubauer, Neumüller, Oertel, Pagenstecher, Plant, Renz, Richter, Rothmund, Ruchholtz, Schmidt, Seitz, Schäfer, Sommer, Steiniger, Stiller, Tackenberg, Teymoortash, Timmesfeld, Vogelmeier, Wagner, Weihe, Werner, Westermann, Wrocklage und Wulf in Marburg.

---

## **Danksagung**

Ich danke:

Herrn Prof. Dr. med. Boris A. Stuck und Herrn Prof. Dr. med. Afshin Teymoortash für die Möglichkeit unter Ihrer Leitung promovieren zu dürfen.

Herrn Priv.-Doz. Dr. med. Christian Güldner für die interessante Thematik dieser Arbeit, die konstruktiven Ideen zur Weiterentwicklung inhaltlicher Schwerpunkte, Hilfestellungen bei der statistischen Auswertung sowie für die stete Ansprechbarkeit; nicht zuletzt danke ich Herrn Priv.-Doz. Dr. med. Christian Güldner und Frau Dr. med. Ute Walliczek-Dworschak für die kritische Durchsicht dieses Manuskripts.

Den Mitarbeitern der OP-Pflege und der OP-Saalreinigung des Universitätsklinikums Marburg für die Kooperativität und Flexibilität, die mir das Arbeiten am *dVSkS*<sup>®</sup> erleichterte und eine konsequente Datenerhebung in einem angenehmen Umfeld ermöglichten.

---

## Eidesstattliche Erklärung

„Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die dem Fachbereich Medizin Marburg zur Promotionsprüfung eingereichte Arbeit mit dem Titel „Charakterisierung von Lernkurven am *Da Vinci Skills Simulator*“ im Institut / in der Klinik für Hals- Nasen -und Ohrenklinik, Phoniatrie und Pädaudiologie der Medizinischen Fakultät – Universitätsklinikum Marburg unter Leitung von Herrn Prof. Dr. med. Boris A. Stuck bzw. Herrn Prof. Dr. med. Afshin Teymoortash mit Unterstützung durch Priv.-Doz. Dr. med. Christian Güldner und Frau Dr. med. Ute Walliczek-Dworschak ohne sonstige Hilfe selbst durchgeführt und bei der Abfassung der Arbeit keine anderen als die in der Dissertation aufgeführten Hilfsmittel benutzt habe. Ich habe bisher an keinem in- oder ausländischen Medizinischen Fachbereich ein Gesuch um Zulassung zur Promotion eingereicht, noch die vorliegende oder eine andere Arbeit als Dissertation vorgelegt.

Ich versichere, dass ich sämtliche wörtlichen oder sinngemäßen Übernahmen und Zitate kenntlich gemacht habe.

Mit dem Einsatz von Software zur Erkennung von Plagiaten bin ich einverstanden.

Die vorliegende Arbeit wurde in folgenden Publikationsorganen (pubmed gelistet)

Walliczek-Dworschak, U., Mandapathil, M., Förtsch, A., Teymoortash, A., Dworschak, P., Werner, J.A., and Güldner, C., Structured training on the da Vinci Skills Simulator leads to improvement in technical performance of robotic novices. LID - 10.1111/coa.12666 [doi]. Clin Otolaryngol. 2017 Feb;42(1):71-80. doi: 10.1111/coa.12666. Epub 2016 May 15.

Walliczek, U., Förtsch, A., Dworschak, P., Teymoortash, A., Mandapathil, M., Werner, J., and Güldner, C., Effect of training frequency on the learning curve on the da Vinci Skills Simulator. Head Neck. 2016 Apr;38 Suppl 1:E1762-9. doi: 10.1002/hed.24312. Epub 2015 Dec 17.

veröffentlicht.

Marburg, den 12.08.2017,

Die Hinweise zur Erkennung von Plagiaten habe ich zur Kenntnis genommen.

Marburg, den 12.08.2017,