

Aus der Medizinischen Klinik und Poliklinik I  
der Universität Würzburg  
Direktor: Professor Dr. med. G. Ertl

# **Verbessert Virtual-Reality-Simulationstraining die Fertigkeiten interventioneller Kardiologen?**

**Eine stratifiziert randomisierte Studie**

Inaugural - Dissertation  
zur Erlangung der Doktorwürde der  
Medizinischen Fakultät  
der  
Julius-Maximilians-Universität Würzburg

vorgelegt von

Nils Petri  
aus München

Würzburg, Juli 2014

Referent: Prof. Dr. Wolfram Voelker

Korreferent bzw. Korreferentin: Prof. Dr. Thorsten Bley

Dekan: Prof. Dr. Matthias Frosch

Tag der mündlichen Prüfung: 03.07.2015

Der Promovend ist Arzt

# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2. Methodik</b>	<b>3</b>
2.1 Übersicht	3
2.2 Einschlusskriterien	4
2.3 Gruppeneinteilung mittels stratifizierter Randomisierung	4
2.4 Training	5
2.4.1 Ablauf des Trainings	5
2.4.2 Verwendete VR-Simulationssysteme	5
2.5 Durchführung der Prä- und Postevaluation	8
2.5.1 Auswertung der Prä- und Postevaluation	10
2.6 Definition der Einzelkriterien	11
2.7 Konstruktvalidität	15
2.8 Statistische Auswertung	15
<b>3. Ergebnisse</b>	<b>17</b>
3.1 Objektive Parameter	17
3.1.1 Kontrastmittelmenge	17
3.1.2 Durchleuchtungszeit	18
3.1.3 Flächendosisprodukt	20
3.1.4 Interventionszeit	21
3.2 Parameter des Skills Score	23
3.2.1 Führungskatheter	23
3.2.2 Koronardraht	26
3.2.3 Ballon	31
3.2.4 Stent	40
3.2.6 Skills Score	44
3.3 Ergebnisse der Konstruktvalidität	46
3.4 Lernpotential in Abhängigkeit zu den Ausgangsfertigkeiten der Probanden	51
<b>4. Diskussion</b>	<b>52</b>
<b>5. Zusammenfassung</b>	<b>60</b>
<b>6. Literaturverzeichnis</b>	<b>63</b>
<b>7. Abbildungsverzeichnis</b>	<b>67</b>
<b>8. Anhang</b>	<b>68</b>
<b>Danksagung</b>	<b>88</b>

Meiner lieben Mutter

## 1. Einleitung

Eine Herzkatheteruntersuchung erfordert vom durchführenden Arzt gute kognitive und manuelle Fertigkeiten. Um die Risiken für den Patienten so gering wie möglich zu halten, muss der Arzt gut trainiert sein. Bislang erfolgte diese Ausbildung nach der klassischen, als „apprenticeship model“ („Lehrlingsprinzip“) bezeichneten Form der Lehre direkt am Patienten. Dabei steht der Auszubildende neben seinem Lehrer, beobachtet ihn bei der Durchführung der einzelnen Schritte der Prozedur und übernimmt dann sukzessive unter Aufsicht die einzelnen Handgriffe. [1] Dieses Prinzip hat aber Nachteile. Es ist sehr zeit- und kostenintensiv, was heutzutage in Anbetracht von Personal-mangel, steigender Arbeitsverdichtung und finanziellem Druck problematisch ist. [2, 3] Ein weiterer Nachteil ist, dass die Lerninhalte vom Patientenspektrum abhängig sind und insbesondere seltene Konstellationen (Anomalien, Komplikationen und unerwartete Ereignisse) nicht systematisch geschult werden können. [3] Ein wichtiger Punkt ist auch, dass gerade bei Anfängern die Komplikationsrate höher ist und das Lernen am Patienten ein Risiko für diesen darstellt. [4]

Um die beschriebenen Probleme zu vermeiden, bietet sich ein ergänzendes Training abseits des Patienten an. Eine Möglichkeit hierfür ist das Virtual-Reality Simulations-training. Durch den Fortschritt in der Computertechnologie wurden in den letzten 15 Jahren fünf VR Simulatoren für das Herzkathetertraining entwickelt. [1, 3, 5]

Produkt	Firma	Land
CATHIS	Cathi-GmbH	Deutschland
VIST	Mentice	Schweden
Cath Lab VR	CAE	USA
ANGIO Mentor	Simbionix	Israel
SimSuite	MSC	USA

VR Simulatoren bieten einige Vorzüge: Sie ermöglichen ein verbessertes Verständnis der Anatomie durch virtuelle 3D Darstellungen, ein Training in stressfreiem Umfeld, das Lernen mit individuell angepasster Geschwindigkeit, beliebig häufig wiederholbares Üben, objektive Erfassung des Leistungsvermögens und -zuwachses und das Training von seltenen Konstellationen bzw. das Management von Komplikationen. [3]

Damit sich eine Trainingsmethode etablieren kann, muss ihre Effektivität wissenschaftlich bewiesen sein. Bislang gibt es wenige Evaluationsstudien, die den Effekt von VR-Training in der Kardiologie untersucht und ihren Einfluss auf die Fertigkeiten angehenden interventioneller Kardiologen überprüft haben. [6]

Das Ziel dieser Studie war es daher, den Effekt von Simulationstraining in der interventionellen Kardiologie zu untersuchen. Dazu wurde folgende Hypothese aufgestellt:

*„Simulationstraining führt im Vergleich zu theoretischem Training zu einer Verbesserung der Fertigkeiten von angehenden interventionellen Kardiologen bei der Durchführung einer standardisierten Koronarintervention“*

Zur Untersuchung der Hypothese *„Simulationstraining führt zur Stressreduktion“* wird auf die Doktorarbeit von Christoph Tönissen verwiesen.

## 2. Methodik

### 2.1 Übersicht

18 Teilnehmer nahmen an dieser Studie teil. Sie wurden stratifiziert aufgeteilt in zwei Gruppen mit jeweils 9 Personen. Eine Gruppe erhielt Simulationstraining, die andere eine theoretische Wissensvermittlung. Um den initialen Leistungstand der Probanden festzustellen, erfolgte an Tag 1 eine „Präevaluation“ im Herzkatheterlabor an dem pulsatilem Modell CoroSim. An Tag 2 wurden die Teilnehmer gemäß ihrer Gruppenzugehörigkeit trainiert. Die „Postevaluation“ wurde an Tag 3 durchgeführt.

Prä- und Postevaluation wurden auf Video aufgenommen und von 3 erfahrenen Kardiologen anhand eines Evaluationsbogens verblindet ausgewertet.

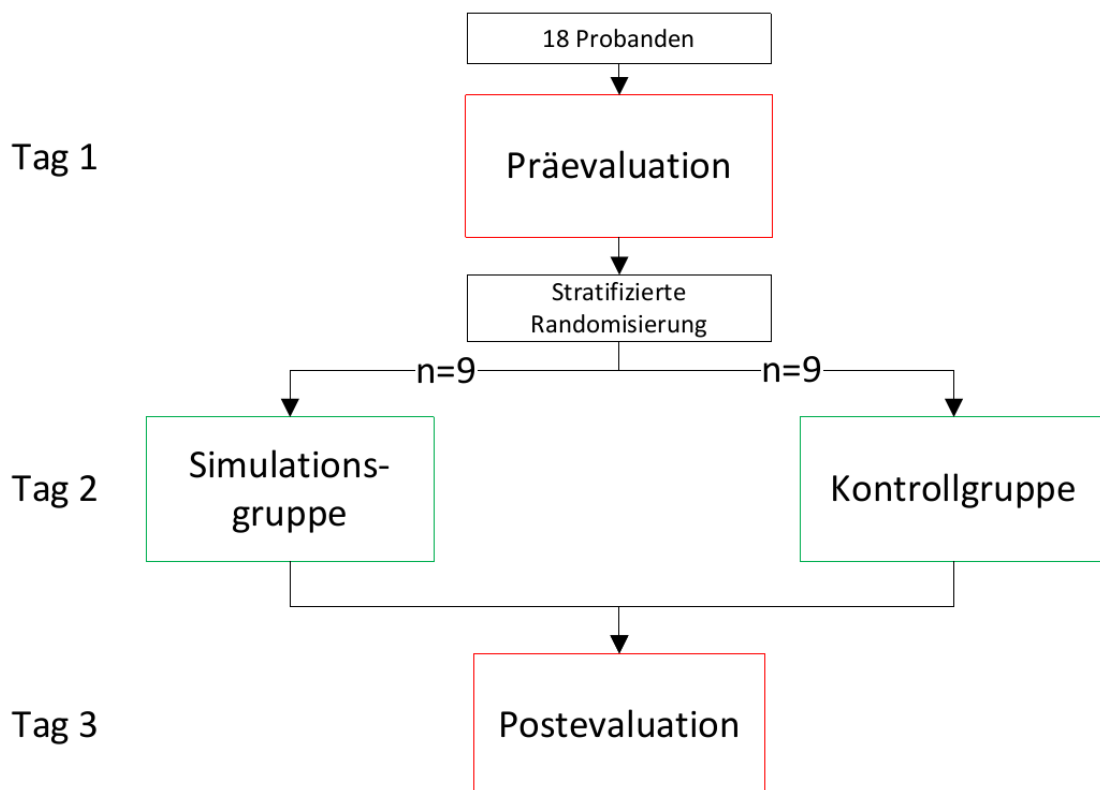


Abbildung 1: Studienablauf

## **2.2 Einschlusskriterien**

Zur Akquise der Probanden für diese Studie wurde eine Email über den Verteiler der Arbeitsgemeinschaft der interventionellen Kardiologen (AGIK) versandt. Die Probanden mussten folgende Kriterien erfüllen:

- $\geq 50$  diagnostische Herzkatheter selbstständig durchgeführt
- Keine Interventionen als Erstuntersucher
- Noch nicht zuvor an Simulationstraining teilgenommen

Insgesamt gingen 30 Bewerbungen ein. 18 Probanden wurden auf der Basis der Reihenfolge des Eingangs ihrer Bewerbung eingeschlossen.

## **2.3 Gruppeneinteilung mittels stratifizierter Randomisierung**

Um zwei Gruppen mit vergleichbarem Leistungsniveau zu erhalten, wurden die Probanden anhand ihres Abschneidens bei der Präevaluation mittels einer stratifizierten Randomisierung aufgeteilt. Dabei wurde zunächst eine Rangliste der Probanden basierend auf dem Ergebnis ihrer Präevaluation erstellt. Anhand der Rangliste wurden neun Zweier-Blocks gebildet (1 und 2, 3 und 4, 5 und 6 usw.). Die beiden Probanden jedes Blocks wurden randomisiert der Simulations- oder der Kontrollgruppe zugeteilt. Die Evaluation der Probanden zum Zweck der Gruppeneinteilung erfolgte durch den zuständigen Beobachter des jeweiligen Probanden während der Präevaluation (Evaluationsbogen für die Gruppeneinteilung siehe Anhang).



## **2.4 Training**

### **2.4.1 Ablauf des Trainings**

Nach der Gruppeneinteilung erhielten die Probanden ihr spezifisches Training. Die Simulationsgruppe erhielt ein insgesamt 7 ½ stündiges Training an drei unterschiedlichen Virtual-Reality Simulatoren (s. unten). Dieses Training wurde in 2 ½ Stundenblöcke aufgeteilt. Es wurden jeweils 3 Probanden von einem Dozenten an einem Simulator trainiert. Die Probanden wechselten zum nächsten Simulator nach Beendigung ihrer Trainingseinheit, so dass jeder Teilnehmer an jedem der drei Simulatoren und von jedem der drei Dozenten trainiert wurde.

Die Kontrollgruppe erhielt eine „theoretische Wissensvermittlung“, diese umfasste Präsentationen zu den Themen „Projektionsebenen“, „Führungskatheter, Führungsdrahte und Stents“ und „Fallbeispiele“. Diese Schulung dauerte insgesamt 4 ½ Stunden und wurde von zwei Dozenten durchgeführt.

### **2.4.2 Verwendete VR-Simulationssysteme**

Die drei Virtual-Reality Simulatoren, die für das Simulationstraining verwendet wurden, waren der ANGIO Mentor Express der Firma Symbionix (Israel), das VIST-C der Firma Mentice (Schweden) und das Cath Lab VR der Firma CAE (USA).

Sowohl das VIST-C System als auch der ANGIO Mentor Express sind portable Systeme, die ein passives Force-Feedback besitzen. Passives Force-Feedback bedeutet, dass der Draht oder Führungskatheter bei Auftreffen auf eine virtuelle Obstruktion vom Simulator lediglich gebremst wird. Im Gegensatz dazu steht das aktive Force-Feedback, welches beim Cath Lab VR zu finden ist. Bei aktivem Force-Feedback kann der Draht oder Führungskatheter vom System auch geschoben werden. Simulatoren mit passivem Force-Feedback eignen sich für Geräte, die für den mobilen Einsatz konzipiert sind, da

dieses Force-Feedback System kleiner ist und sich eine Eichung nach jedem Transport erübrigt.

Alle drei Simulatoren enthalten Fälle mit unterschiedlichem Schwierigkeitsgrad. Bei den komplexen Fällen kann auch die Behandlung von Komplikationen wie Koronar-  
spasmen, Dissektionen und Perforationen trainiert werden. Zudem kann bei diesen Simulatoren ein virtuelles 3D-Bild zur Veranschaulichung der anatomischen Verhältnisse eingestellt werden. [7-9]



Abbildung 2: Mentice VIST-C



Abbildung 3: ANGIO Mentor Express



Abbildung 4: Cath Lab VR

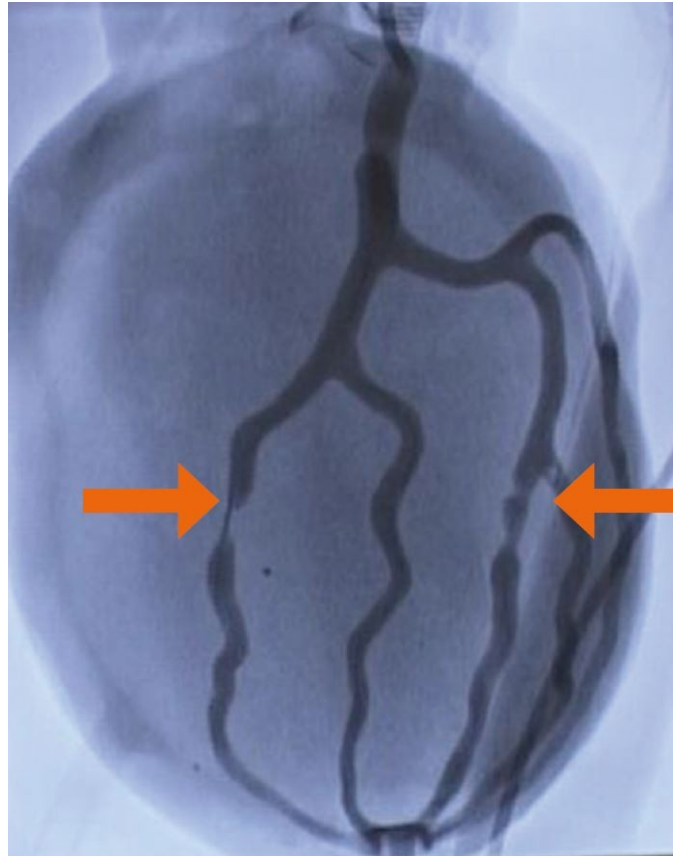
## 2.5 Durchführung der Prä- und Postevaluation

Zur Evaluation der Probanden wurde das mechanische Koronarmodell CoroSim der Firma Mecora (Deutschland) benutzt. CoroSim ist ein anatomisches Modell aus Silikon. Dieses Modell bietet maßstabsgetreue Koronararterien, einen Ventrikel und die Aorta inklusive Iliakalarterien. Das Modell verfügt über eine Pumpe, so dass das Modell pulsatil mit Wasser durchströmt wird. [10]



Abbildung 5: CoroSim von Mecora®

Das CoroSim Modell hat drei Stenosen. Eine Stenose im simulierten Ramus interventricularis anterior (RIVA, linker Pfeil), eine Bifurkationsstenose am R. marg. I des Ramus circumflexus (RCX, rechter Pfeil) und eine Stenose der rechten Kranzarterie (im Abbildung 6 nicht dargestellt). Alle Probanden führten am ersten Tag eine Intervention am RIVA durch. Bei der Postevaluation wurde die RCX behandelt. Die Probanden erhielten ein Zeitlimit von 25 Minuten für die Intervention. Nach Erreichen dieses Zeitlimits wurde die Prozedur abgebrochen.



**Abbildung 6: Röntgenaufnahme des CoroSim (RIVA linker Pfeil, RCX rechter Pfeil)**

Das CoroSim wurde im Herzkatheterlabor aufgebaut und mit einem Tuch abgedeckt. Wie in der Realität erfolgt die Darstellung der Koronararterien über Röntgenstrahlen. Die Probanden benutzen für die Intervention Originalmaterialien (Einführdrähte, 6-F-Führungskatheter, 0,014 Koronardrähte und Ballons). Da die Entfernung von Stents aus dem Modell sehr schwierig ist, wurde die Stentimplantation mit Ballondilatation simuliert.

Nach einer kurzen Einweisung durch den Beobachter führten die Probanden selbstständig eine PCI durch. Da einige der Probanden im heimateigenen Herzkatheterlabor eine andere Anlage benutzen, wurde die Bedienung der Katheteranlage vom Beobachter übernommen, um so die gleichen Bedingungen für alle Probanden zu gewährleisten. Während der Prozedur wurden sämtliche Aktionen des Probanden und die mit Hilfe von Fluoroskopie und Angiographie dokumentierten Filmsequenzen auf Video aufgenommen.



Abbildung 7: Aufbau des CoroSim im Herzkatheterlabor

### 2.5.1 Auswertung der Prä- und Postevaluation

Die Evaluation der Probanden erfolgte verblindet. Drei interventionell erfahrene Kardiologen (jeder > 5.000 Koronarinterventionen) analysierten die Videoaufzeichnungen und bewerteten die Probanden hinsichtlich 14 vor-definierter Kriterien unter Verwendung einer Likert-Skala (5 = optimal, 4 = überdurchschnittlich, 3 = durchschnittlich, 2 = unterdurchschnittlich, 1 = unzureichend). Bei einer Abweichung der Bewertungen der drei Auswerter um mehr als 2 Punkte wurden die entsprechenden Videoabschnitte erneut betrachtet und ein Konsens für diese Parameter gebildet. Der Skills Score ist die Summe der oben aufgeführten 14 Einzelkriterien. Zudem wurden die Parameter erfasst: Benötigte Menge Kontrastmittel, Zeit benötigt für die Intervention, Durchleuchtungszeit und Flächendosisprodukt.





Abbildung 8: Simultane Videodokumentation des Angiographiebildes und des Katheterhandlings des Probanden

## 2.6 Definition der Einzelkriterien

### Führungskatheter

Kriterium 1: Risikobewusste Katheterbewegungen

5	4	3	2	1
<ul style="list-style-type: none"> <li>Katheter kontrolliert vorgeschoben</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Vorschieben des Katheters unter unzureichender Kontrolle</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>unkontrollierte Katheterbewegungen mit Anstellen des Katheters</li> </ul>

Kriterium 2: Positionierung im Ostium in koaxialer Lage

5	4	3	2	1
<ul style="list-style-type: none"> <li>koaxiale Katheterlage</li> <li>keine Dissektionsgefahr</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>tangentiale Lage mit geringer Dissektionsgefahr</li> <li>instabile ostiale Lage</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Zu tiefe Intubation (&gt;1cm)</li> <li>stark tangentielle Lage mit Dissektionsgefahr</li> <li>Ostium nicht erreicht</li> </ul>

## Koronardraht

### Kriterium 3: Technik der Präparation der Drahtspitze

5	4	3	2	1
<ul style="list-style-type: none"> <li>Kontrollierte und präzise Präparation der Drahtspitze</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Mäßig kontrollierte Präparation der Drahtspitze mit unzureichender Formung der exakten Drahtspitze</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Fehlen des Präparierens der Drahtspitze</li> <li>ungeschickte und unkontrollierte Präparation der Drahtspitze mit resultierendem Knick oder Loop</li> </ul>

### Kriterium 4: Manipulation/Steuerung des Drahtes

5	4	3	2	1
<ul style="list-style-type: none"> <li>Kontrolliertes Manövrieren des Drahtes durch die Stenose</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Mäßig kontrolliertes Vorschieben mit Traumapotential</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Durschieben des Drahtes durch die Stenose mit einer Loop</li> </ul>

### Kriterium 5: Position des Koronardrahtes nach Passage der Stenose/vor Ballon

5	4	3	2	1
<ul style="list-style-type: none"> <li>Draht in optimaler Position distal der Stenose</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Draht weit in der Peripherie</li> <li>Draht nicht weit genug über die Stenose vorgeschoben (geringe Gefahr des „Drahtverlustes“)</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Extrem periphere Lage mit Perforationsgefahr</li> <li>Positionierung der Drahtspitze unmittelbar distal der Stenose (Gefahr des „Drahtverlustes“)</li> </ul>



## **Ballon:**

### Kriterium 6: Position des Koronardrahtes nach Einbringung des Ballons

5	4	3	2	1
<ul style="list-style-type: none"><li>keine/sehr geringe Positionsänderung des Drahtes</li></ul>		<ul style="list-style-type: none"><li>Positionsänderung der Drahtspitze von geringerem Ausmaß als unter Punkt 1</li></ul>		<ul style="list-style-type: none"><li>Draht aus der Stenose zurückgezogen</li><li>Draht weit in die Peripherie vorgeschoben</li></ul>

### Kriterium 7: Ballondiameter

5	4	3	2	1
<ul style="list-style-type: none"><li>2,0-3,0 mm</li></ul>		<ul style="list-style-type: none"><li>1,5 mm</li><li>3,5 mm</li></ul>		<ul style="list-style-type: none"><li>4,0 mm</li></ul>

### Kriterium 8: Ballonlänge

5	4	3	2	1
<ul style="list-style-type: none"><li>Präevaluation: 15-20 mm</li><li>Postevaluation: 18-20 mm</li></ul>		<ul style="list-style-type: none"><li>Präevaluation: 12 mm</li><li>Postevaluation: 18-13-15 mm</li></ul>		<ul style="list-style-type: none"><li>Präevaluation: &lt;12, &gt;20 mm</li><li>Postevaluation: ≤12, &gt;20 mm</li></ul>

### Kriterium 9: Ballonplatzierung

5	4	3	2	1
<ul style="list-style-type: none"><li>Ballon mittig in der Stenose platziert</li></ul>		<ul style="list-style-type: none"><li>Stenose nur teilweise erfasst</li></ul>		<ul style="list-style-type: none"><li>Stenose verpasst (miss-match)</li><li>Gefährdung von Seitengefäßen</li></ul>

## **Stent:**

### Kriterium 10: Technik des Ballon/Stent-Wechsels

5	4	3	2	1
<ul style="list-style-type: none"><li>Geschickt</li></ul>		<ul style="list-style-type: none"><li>mäßig geschickt</li></ul>		<ul style="list-style-type: none"><li>ungeschickt</li></ul>

Kriterium 11: Position des Koronarbrahtes nach Wechsel von Ballon auf Stent (Teil 1: Ballonrückzug, Teil 2: Stent Vorschub)

5	4	3	2	1
<ul style="list-style-type: none"> <li>keine/sehr geringe Positionsänderung des Drahtes</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Positionsänderung der Drahtspitze von geringerem Ausmaß als unter Punkt 1</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Draht aus der Stenose zurückgezogen</li> <li>Draht weit in die Peripherie vorgeschoben</li> </ul>

Kriterium 12: Stentdiameter

5	4	3	2	1
<ul style="list-style-type: none"> <li>3,5 mm</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>3,0 mm</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>≤2,5</li> <li>≥4,0 mm</li> </ul>

Kriterium 13: Stentlänge

5	4	3	2	1
<ul style="list-style-type: none"> <li>15 mm</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>12-14 mm</li> <li>18-20 mm</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>≤10 mm</li> <li>&gt;20 mm</li> </ul>

Kriterium 14: Stentplatzierung

5	4	3	2	1
<ul style="list-style-type: none"> <li>Stent optimal in der Stenose platziert</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Stenose nur teilweise erfasst</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Stenose verpasst (miss-match)</li> <li>Gefährdung von Seitengefäßen</li> </ul>

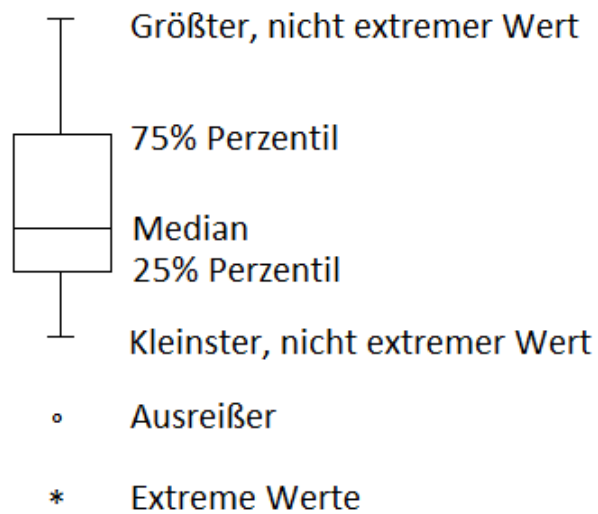
## **2.7 Konstruktvalidität**

Zur Überprüfung der Konstruktvalidität führten fünf interventionell erfahrene Ärzte (jeder mehr als 1.000 Koronarinterventionen selbstständig durchgeführt) einen Eingriff am CoroSim durch. Wie bei der Evaluation der Teilnehmer wurde auch die Katheterprozedur der erfahrenen Ärzte auf Video aufgenommen und verblindet von den drei Beobachtern anhand des Evaluationsbogens bewertet.

## **2.8 Statistische Auswertung**

Die Box-Whisker-Plots wurden mit IBM SPSS 20 erstellt und die Signifikanz durch eine Kovarianzanalyse (ANCOVA, analysis of covariance) ermittelt. Als Kovariate wurden die Bewertungen aus der Präevaluation genommen, die abhängige Variable war die Veränderung der Bewertung von Prä- zur Postevaluation und als Faktor diente die Gruppenzugehörigkeit (Simulationsgruppe oder Kontrollgruppe).

Die horizontale Linie in der Mitte des Box-Whisker-Plots markiert den Median. Die Grenzen der Box markieren die 25%- bzw. 75%-Perzentile und die Whisker die Minimal- und Maximalwerte. Da die Whisker nur bis zum 1,5-fachen des Interquartilsabstands reichen, werden Werte außerhalb als Kreis dargestellt (Ausreißer). Werte außerhalb des 3-fachen Interquartilsabstands werden als Stern dargestellt (Extremwerte).



**Abbildung 9: Box-Whisker-Plot**

Die Mittelwerte und die Standardabweichungen der Parameter wurden mit Microsoft Excel 2007 berechnet und die Mittelwertplots wurden mit Statistica 10 von der Firma Statsoft erstellt. Bei den Mittelwertplots verbindet die Linie die Mittelwerte, die jede Gruppe in der Präevaluation und der Postevaluation erreicht hat. Die Whisker markieren die einfache Standardabweichung.

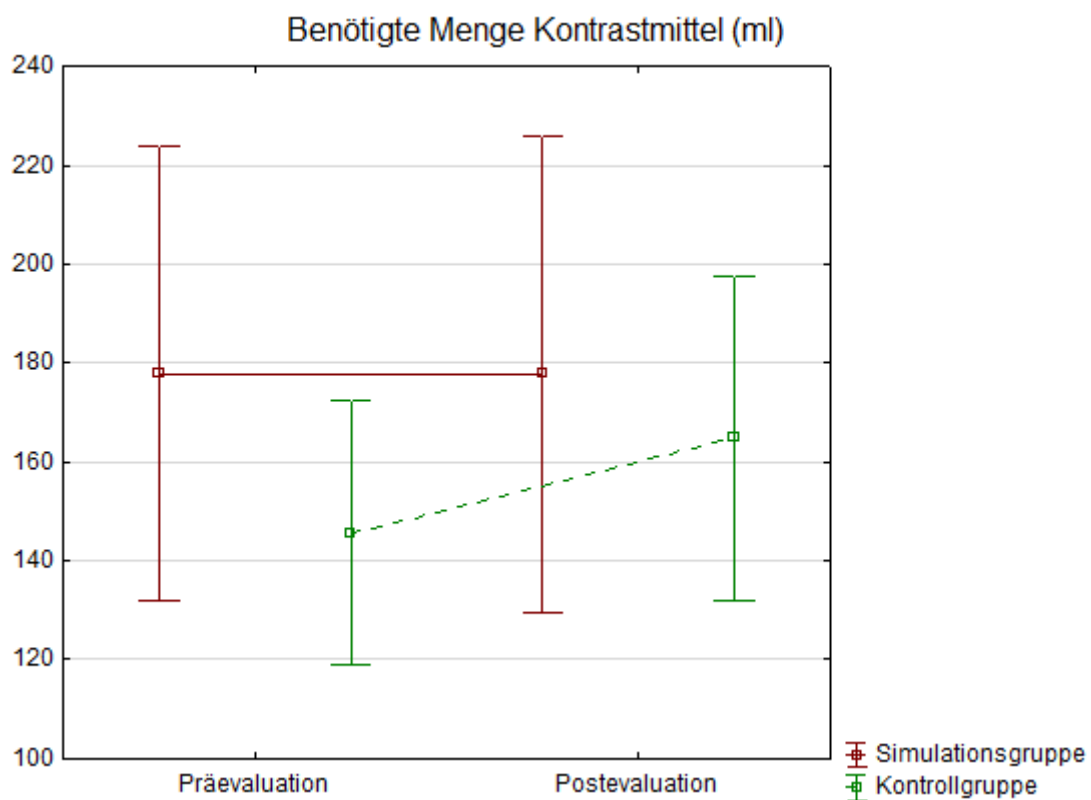
### 3. Ergebnisse

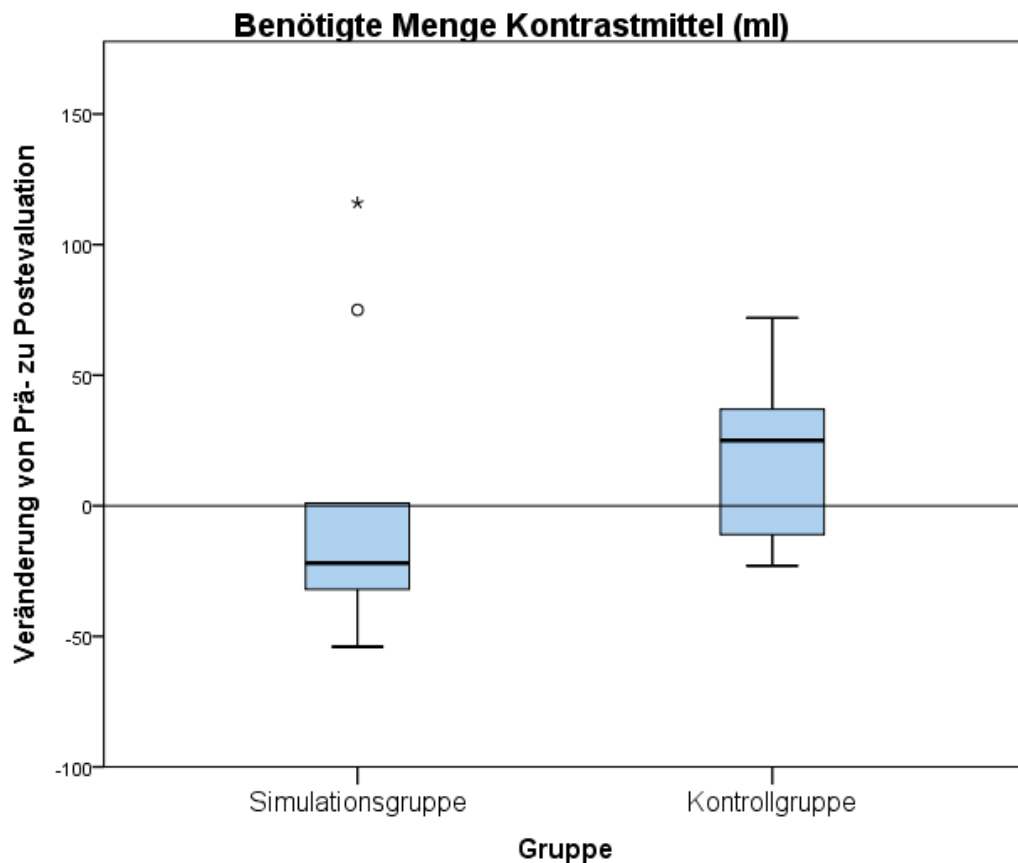
Der folgende Ergebnisteil der Probanden umfasst die vier Parameter „Kontrastmittelmenge“, „Durchleuchtungszeit“, „Flächendosisprodukt und „Interventionszeit“ sowie den Skills Score mit seinen 14 Einzelkriterien.

#### 3.1 Objektive Parameter

##### 3.1.1 Kontrastmittelmenge

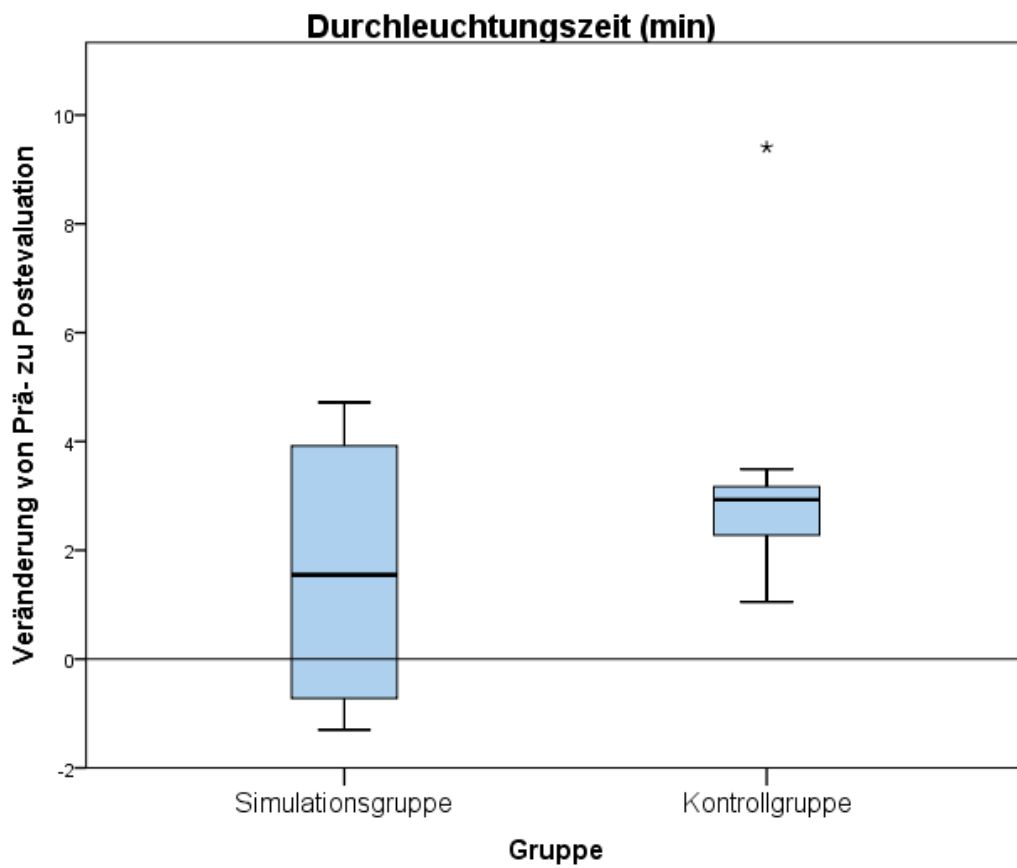
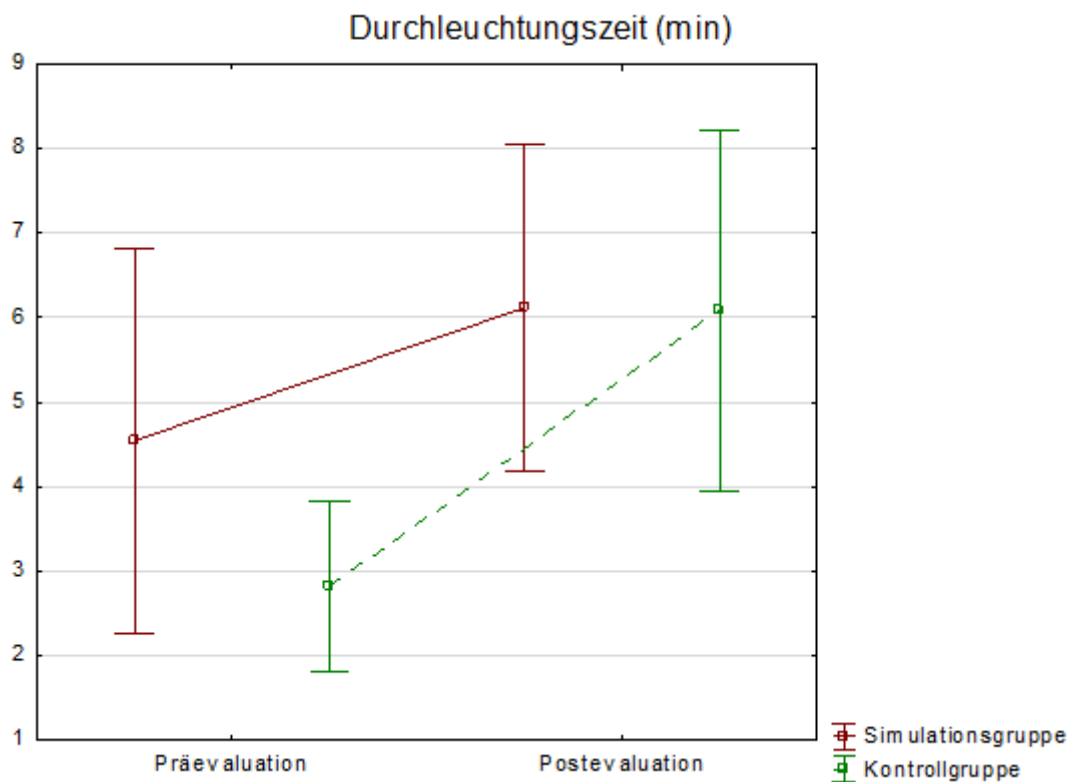
Der mittlere Kontrastmittelverbrauch in der Simulationsgruppe zeigte sich mit  $177,9 \pm 45,9$  ml (prä) vs.  $177,8 \pm 48,2$  ml (post) unverändert, während er in der Kontrollgruppe von  $145,7 \pm 26,9$  ml auf  $164,8 \pm 32,7$  ml anstieg. Es zeigte sich kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen (p-Wert = 0,891).





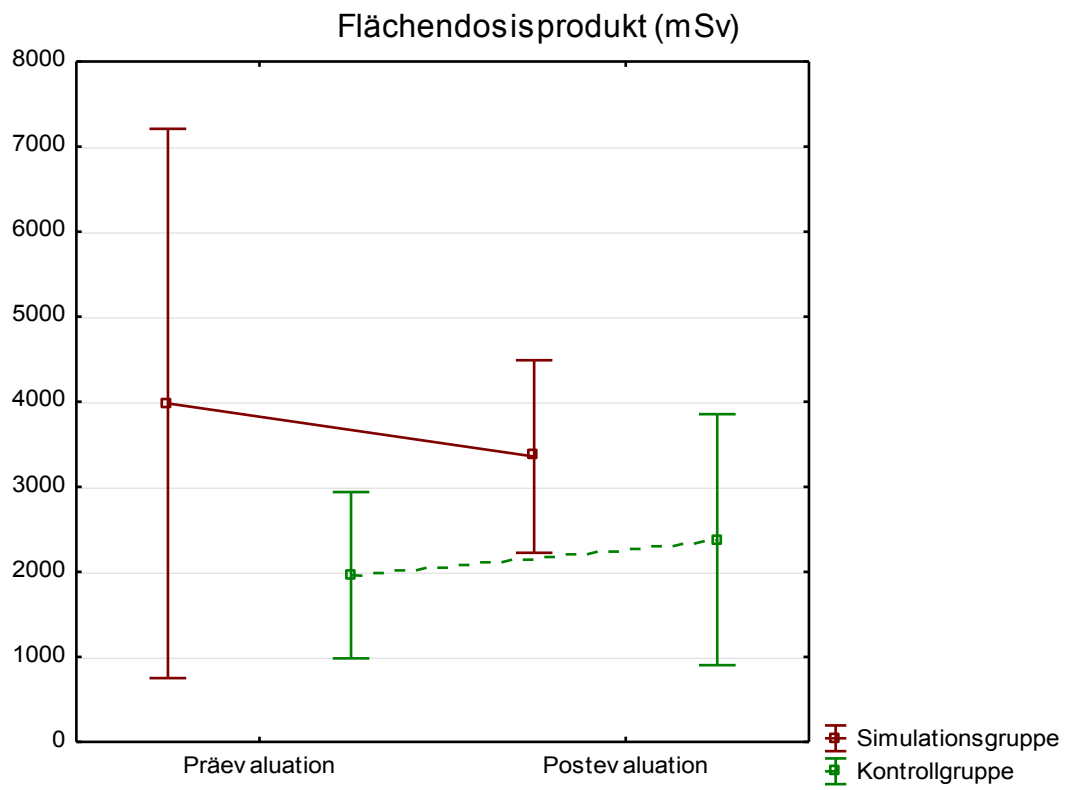
### 3.1.2 Durchleuchtungszeit

Die Simulationsgruppe benötigte  $4,5 \pm 2,3$  min (Präevaluation) bzw.  $6,1 \pm 1,9$  min (Postevaluation). Die Kontrollgruppe kam bei diesem Parameter auf  $2,8 \pm 1,0$  min (Präevaluation) und  $6,1 \pm 2,1$  min (Postevaluation). Die Änderung der Durchleuchtungszeit unterschied sich zwischen den beiden Gruppen nicht signifikant ( $p = 0,744$ ).

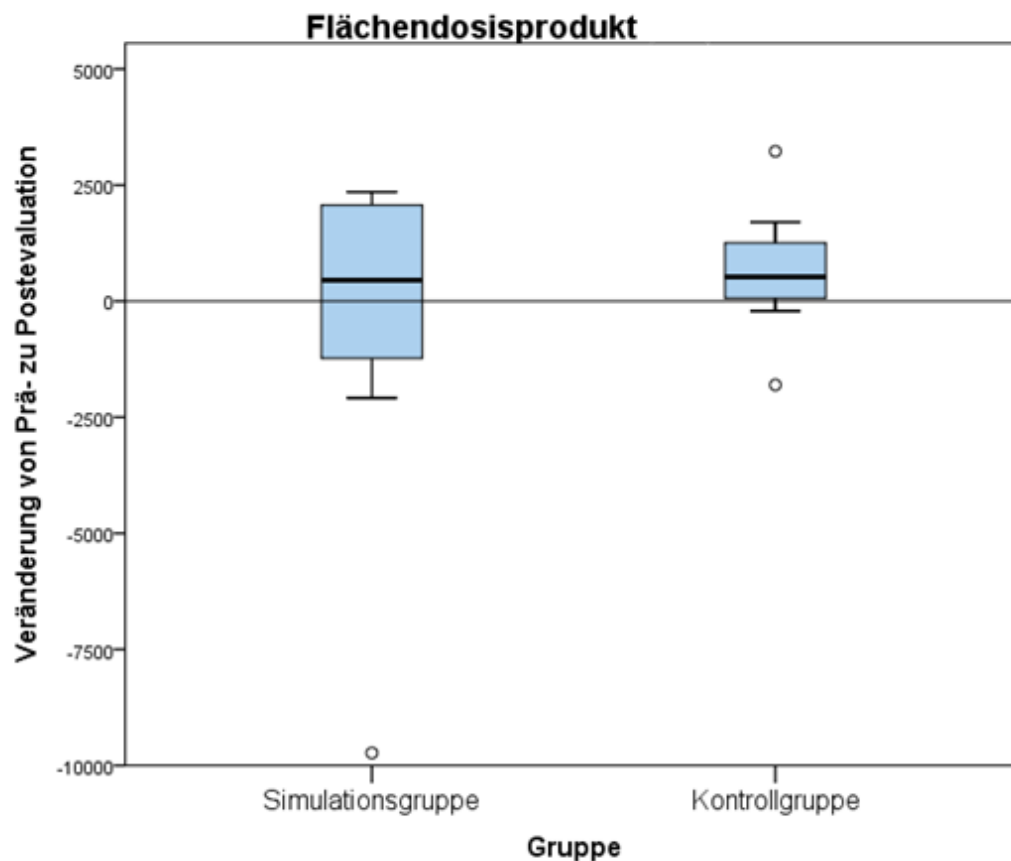


### 3.1.3 Flächendosisprodukt

Das Flächendosisprodukt veränderte sich in beiden Gruppen nicht wesentlich (p-Wert=0,156).



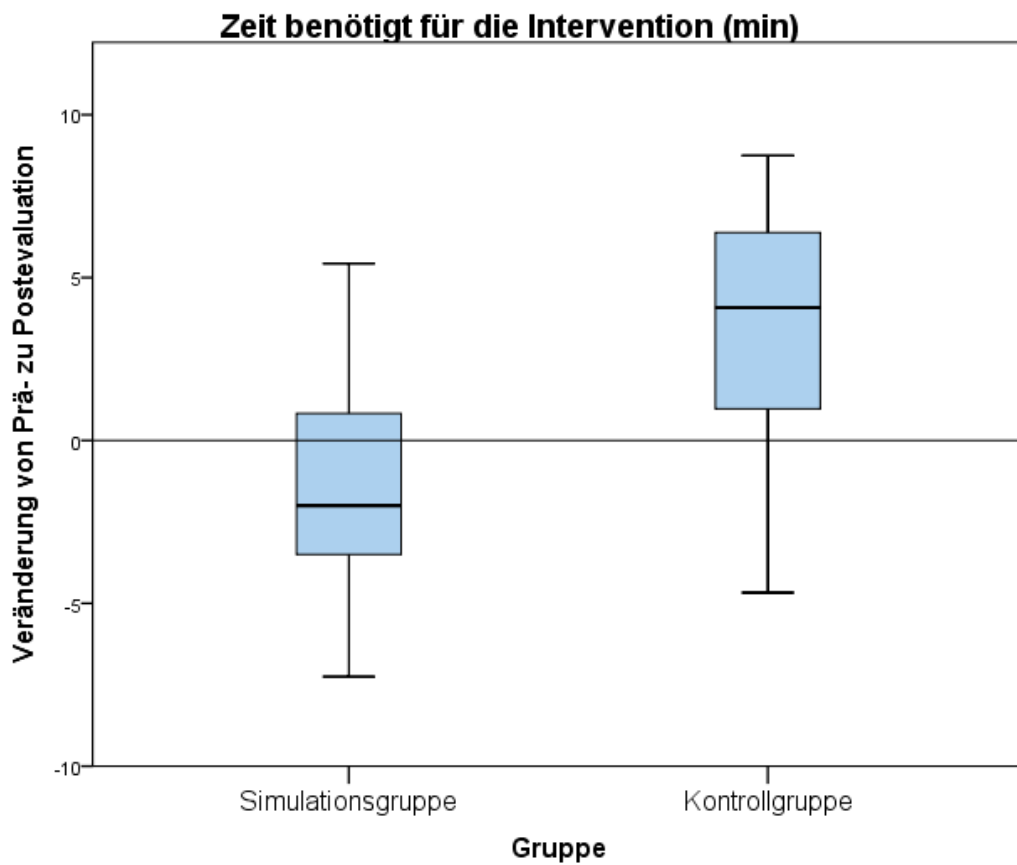
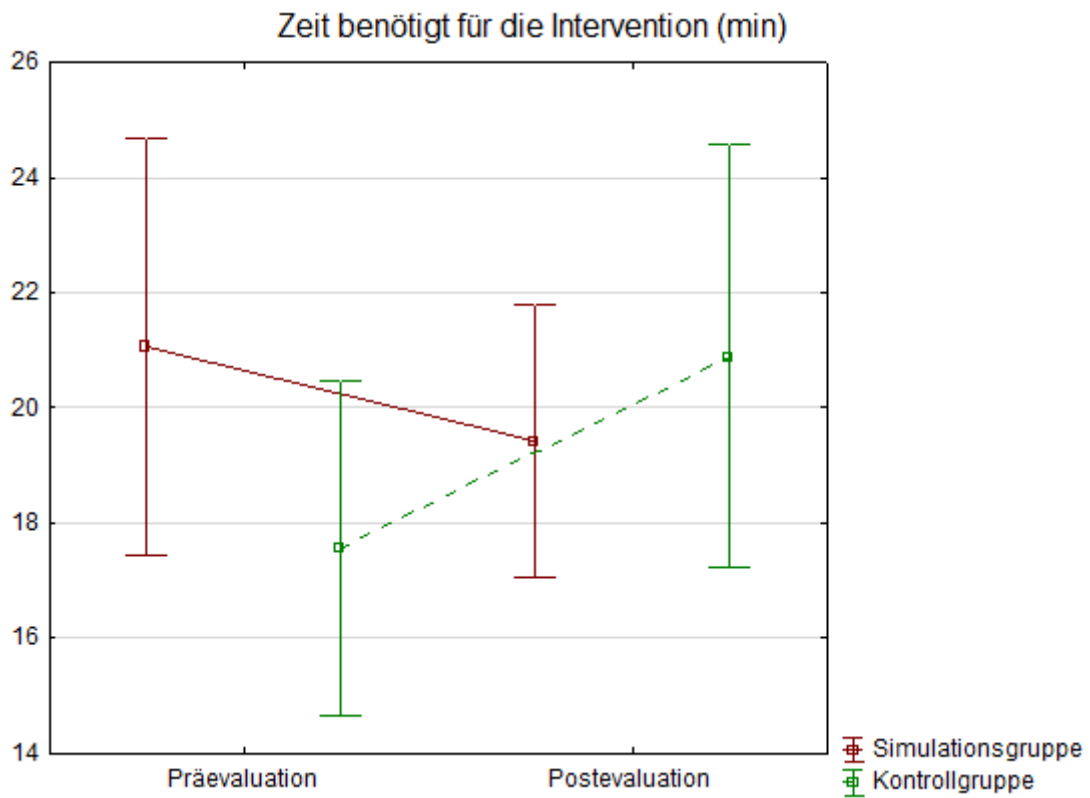




### 3.1.4 Interventionszeit

Für die Durchführung der gesamten Prozedur war ein Zeitlimit von 25 Minuten gesetzt. Drei Probanden der Kontrollgruppe überschritten das Zeitlimit, für sie wurde die Zeitdauer für die Intervention mit 25 Minuten festgelegt.

Die Simulationsgruppe benötigte bei der Präevaluation im Mittel  $21,1 \pm 3,6$  min und bei der Postevaluation  $19,4 \pm 2,4$  min. Im Gegensatz dazu verhielt sich die Interventionszeit in der Kontrollgruppe gegenläufig und stieg von  $17,6 \pm 2,9$  min auf  $20,9 \pm 3,7$  min an.

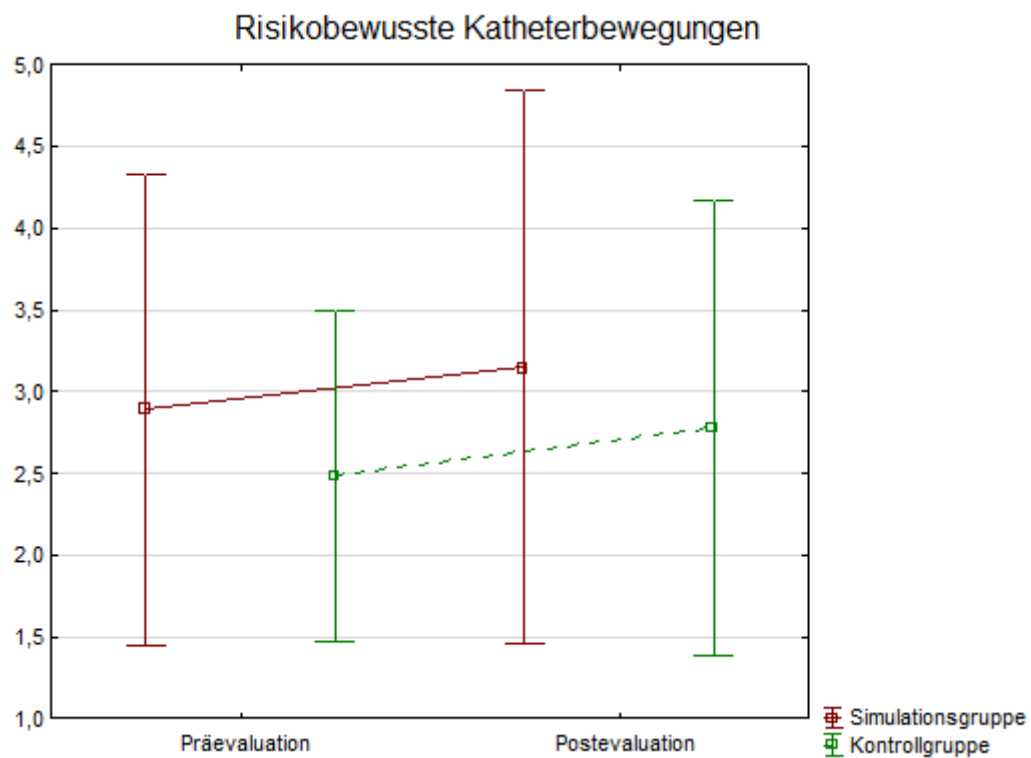


## 3.2 Parameter des Skills Score

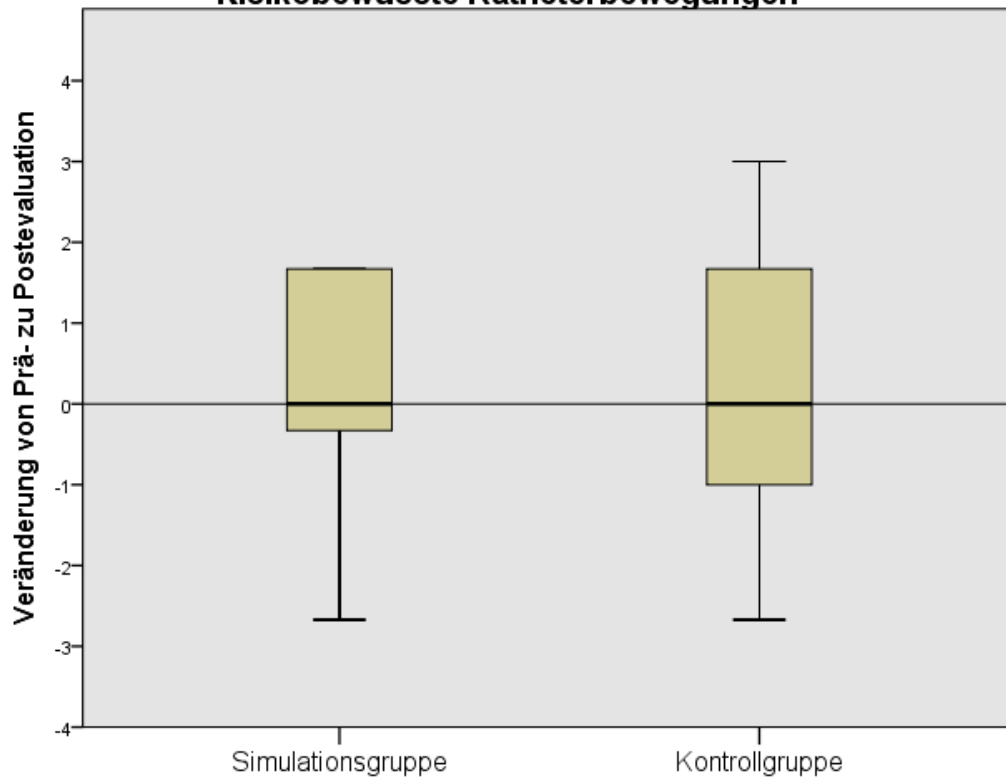
### 3.2.1 Führungskatheter

#### 3.2.1.1 Risikobewusste Katheterbewegungen

Die Simulations- und Kontrollgruppe zeigten bezüglich dieses Parameters keinen statistisch signifikanten Unterschied ( $p=0,749$ ).

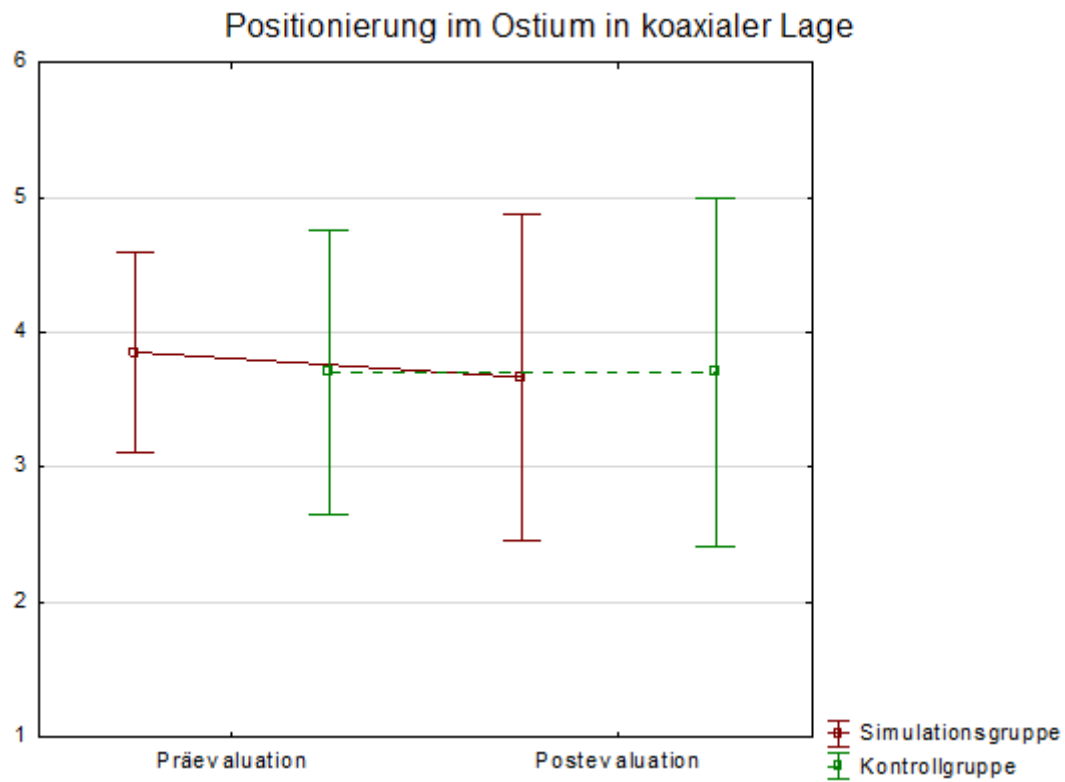


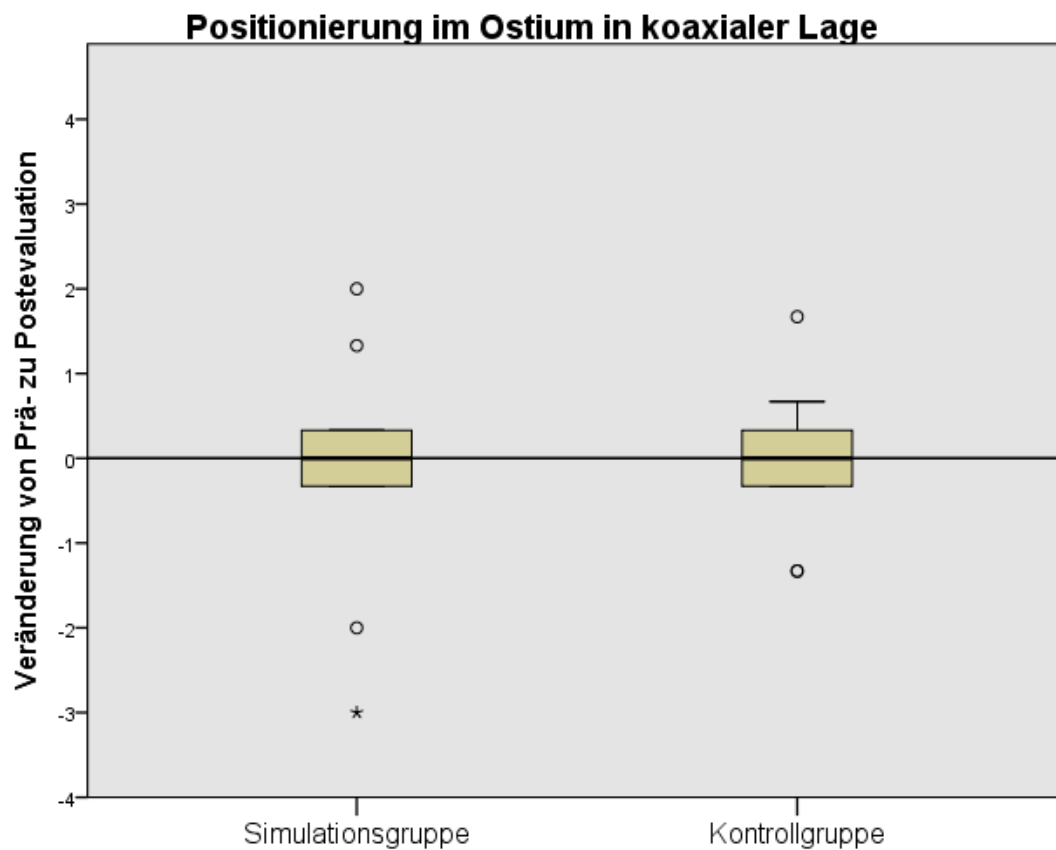
### Risikobewusste Katheterbewegungen



### 3.2.1.2 Positionierung in koaxialer Lage

Auch für diesen Parameter zeigten beide Gruppen keine Veränderung von der Prä- zur Postevaluation. Ein signifikanter Unterschied zwischen der Simulations- und der Kontrollgruppe ließ sich nicht feststellen ( $p=0,856$ ).

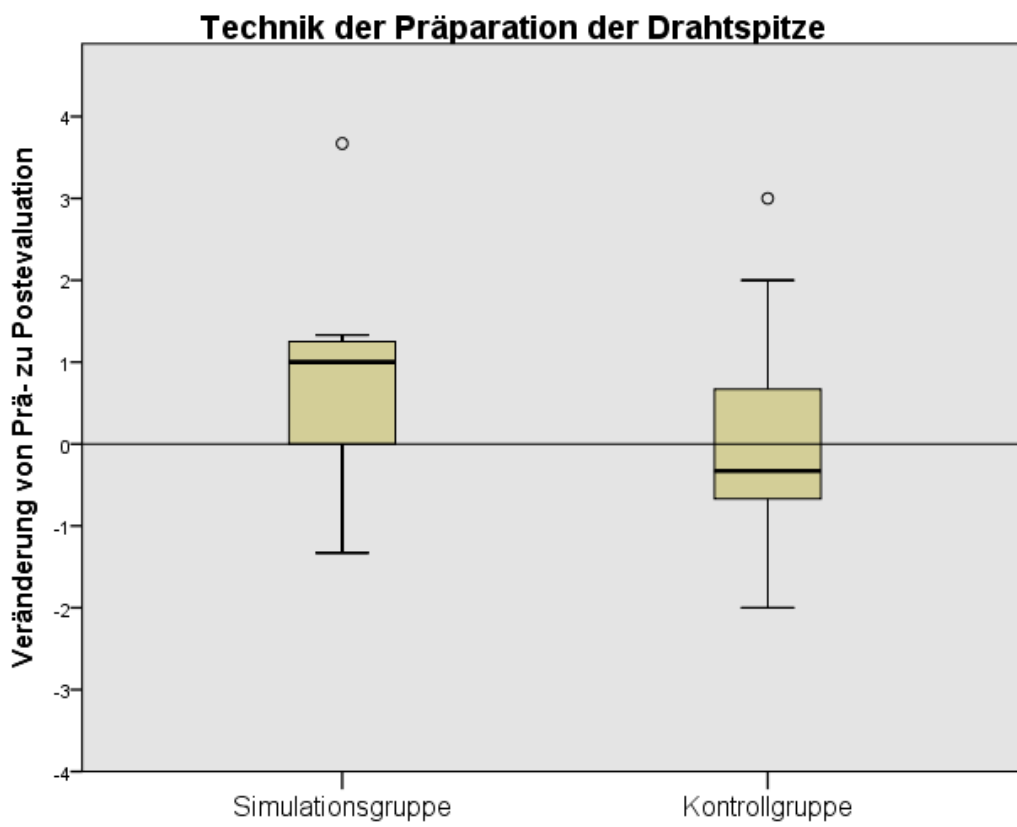
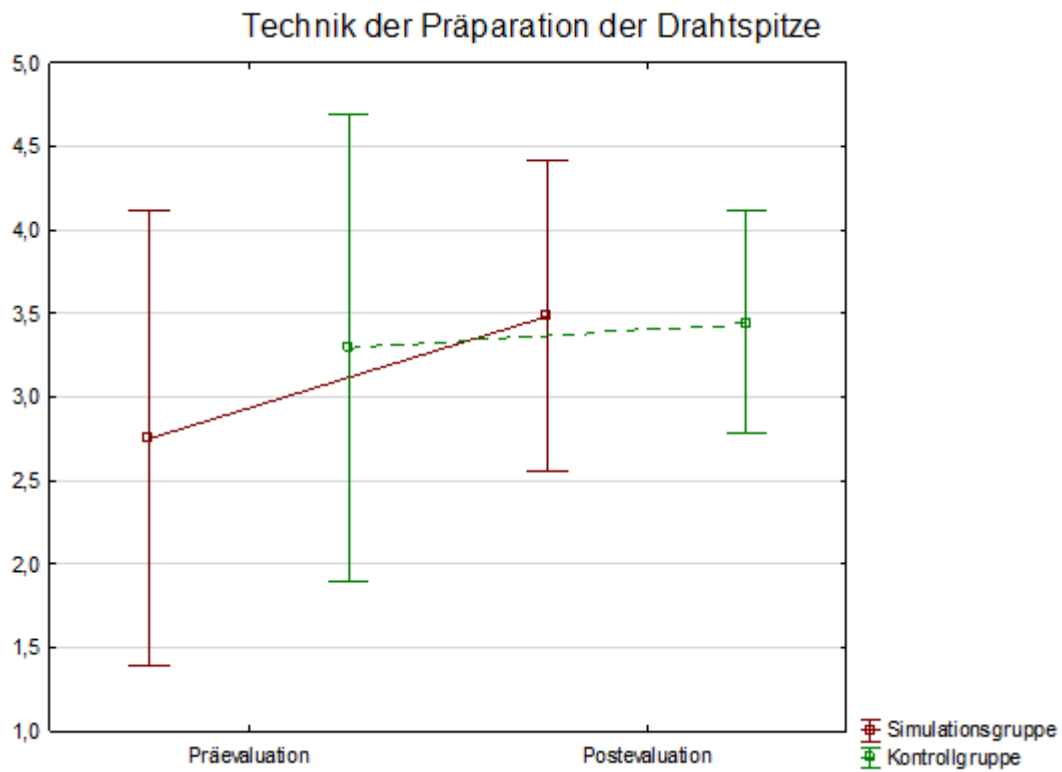




### 3.2.2 Koronardraht

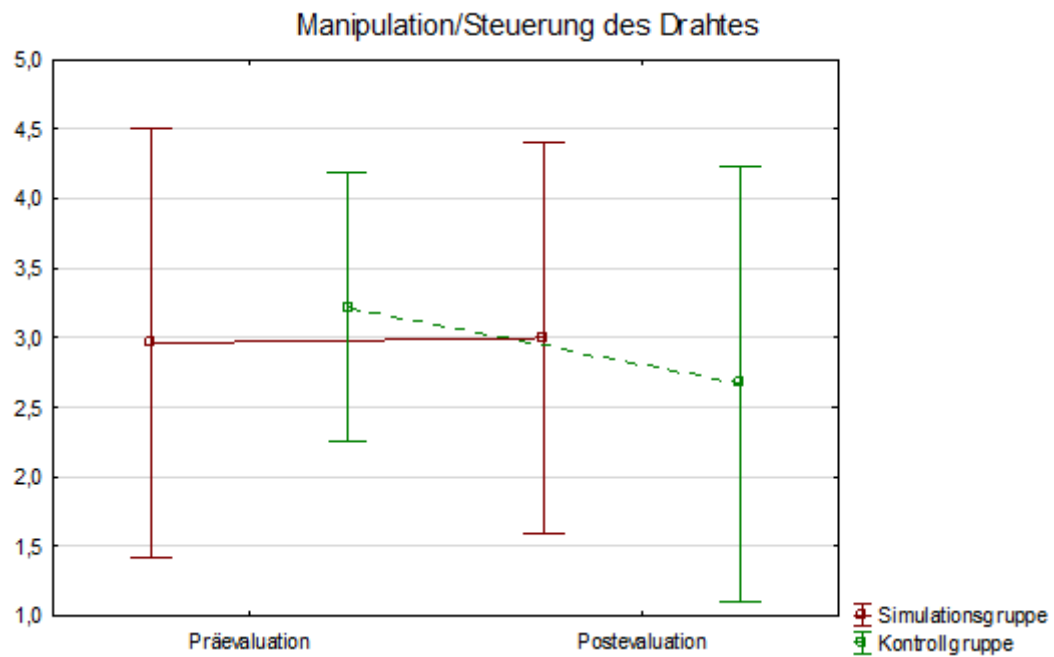
#### 3.2.2.1 Technik der Präparation der Drahtspitze

Bei der Technik der Präparation der Drahtspitze verbesserte sich die Simulationsgruppe von  $2,8 \pm 1,4$  auf  $3,5 \pm 0,9$ . Die Probanden, die ein theoretisches Training erhielten, verbesserten sich geringfügig von  $3,3 \pm 1,4$  auf  $3,4 \pm 0,7$ . Es ist kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen nachweisbar ( $p=0,936$ ).

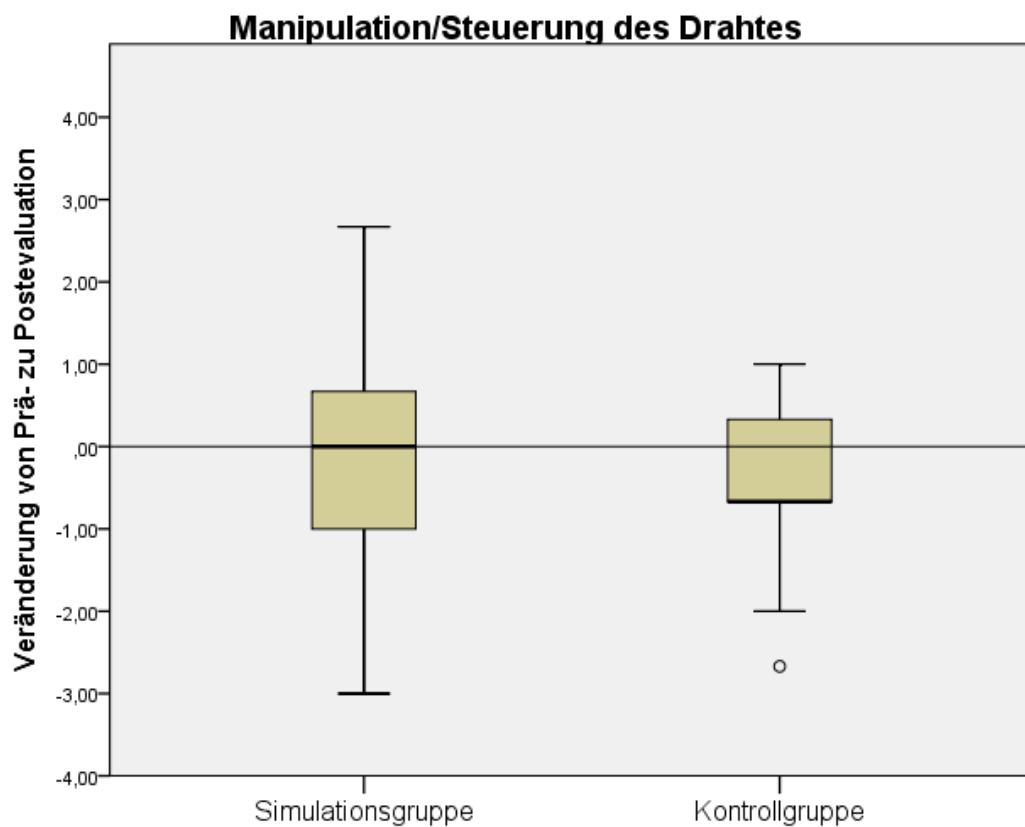


### 3.2.2.2 Manipulation/Steuerung des Drahtes

Für diesen Parameter ergab sich sowohl für die Simulations- als auch die Kontrollgruppe kaum eine Veränderung von Prä- nach Post-Evaluation. Es liegt somit kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen vor ( $p=0,475$ ).

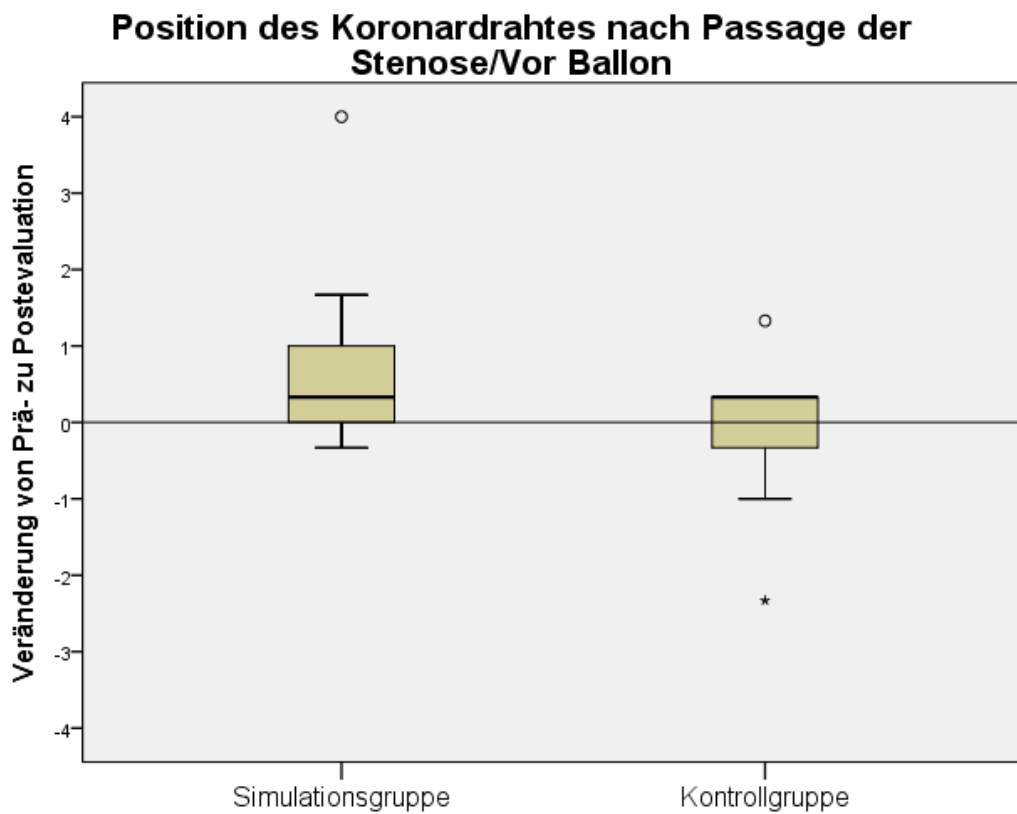
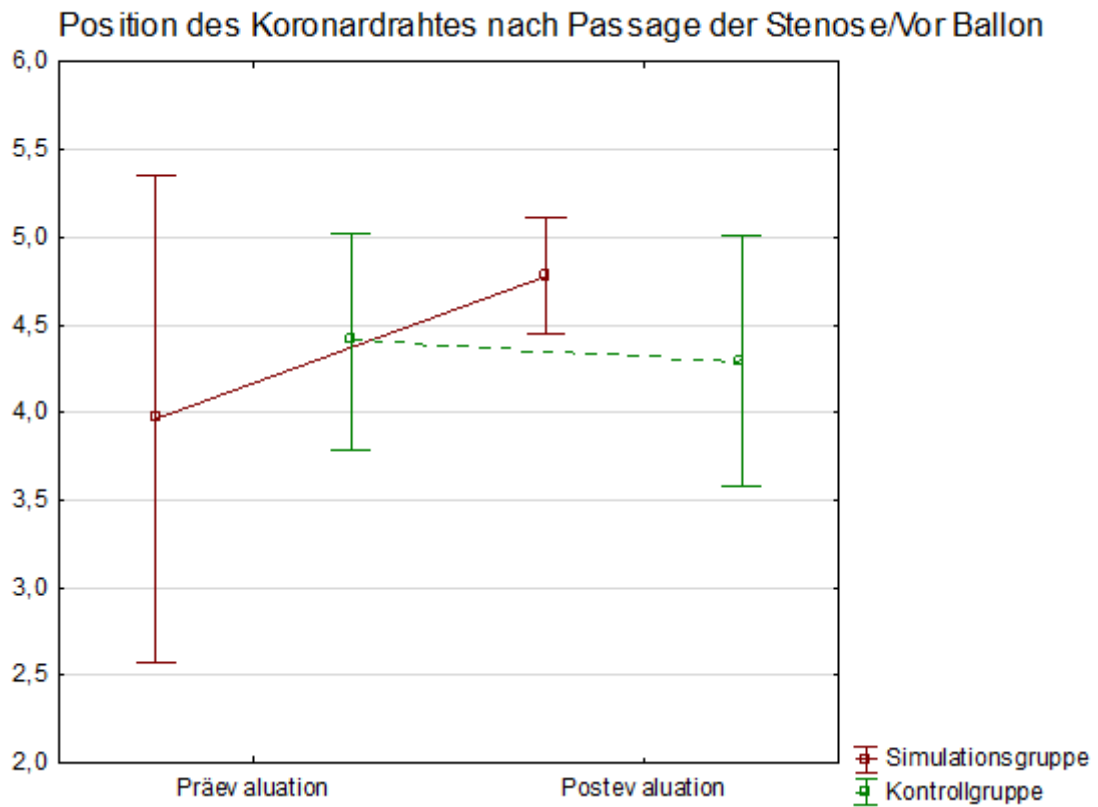






### ***3.2.2.3 Position des Koronardrahtes nach Passage der Stenose/Vor Ballon***

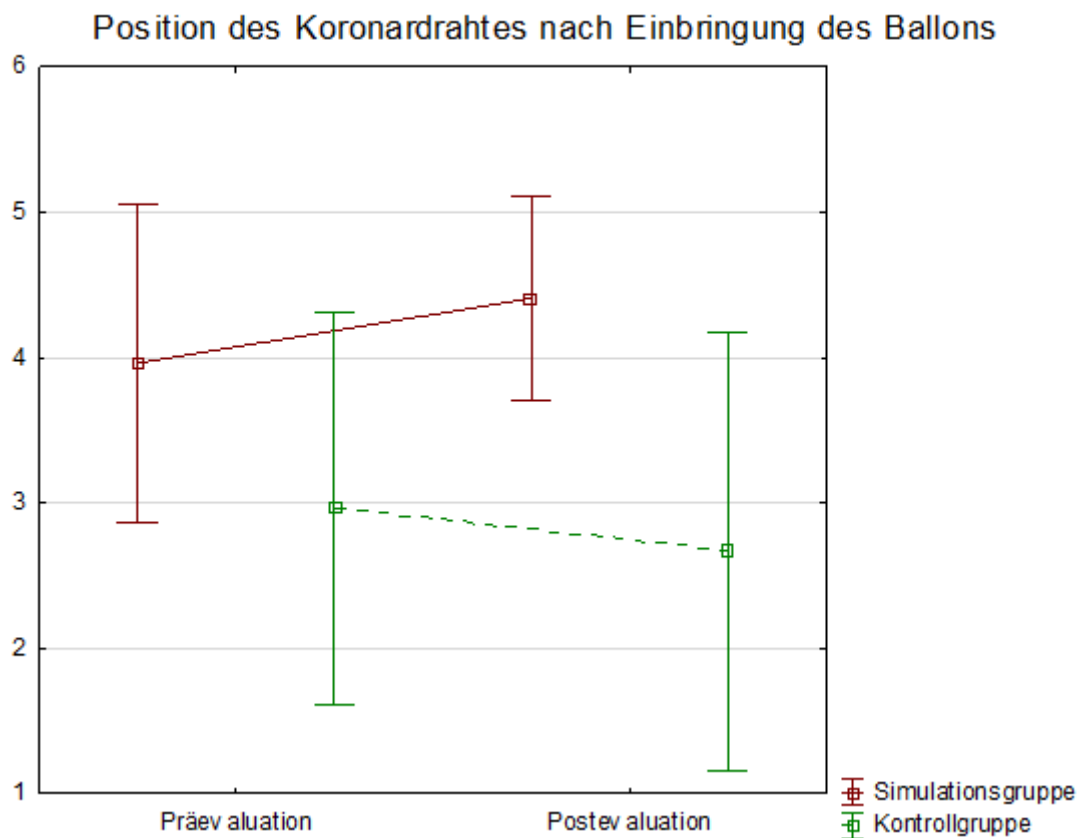
Die Simulationsgruppe verbessert sich für diesen Parameter von  $4,0 \pm 1,4$  (Prä-) auf  $4,8 \pm 0,3$ ), während die Kontrollgruppe keine wesentliche Änderung zeigte. Der p-Wert beträgt 0,105 und ist somit statistisch nicht signifikant.



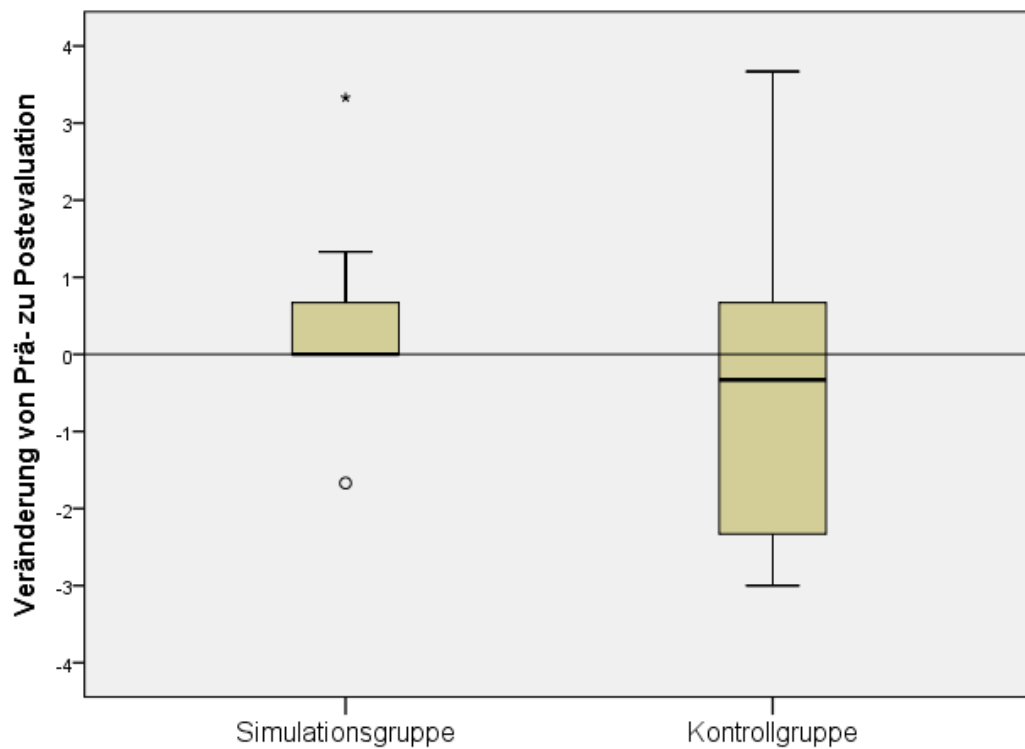
### 3.2.3 Ballon

#### 3.2.3.1 Position des Koronardrahtes nach Einbringung des Ballons

Die Gruppe, die Simulationstraining erhalten hat, verbesserte sich von  $4,0 \pm 1,1$  auf  $4,4 \pm 0,7$  während die Probanden der Kontrollgruppe sich von  $3,0 \pm 1,3$  auf  $2,7 \pm 1,5$  verschlechterten, somit unterschieden sich die Änderungen dieses Parameters in den beiden Gruppen signifikant ( $p=0,008$ ).

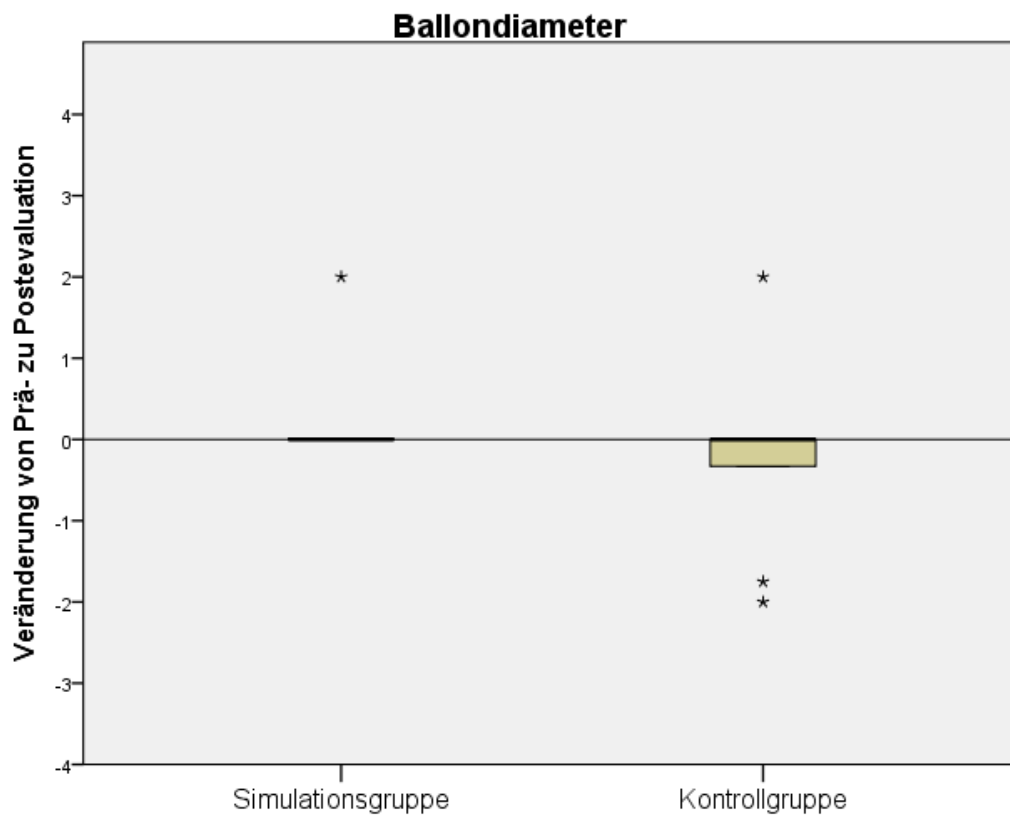
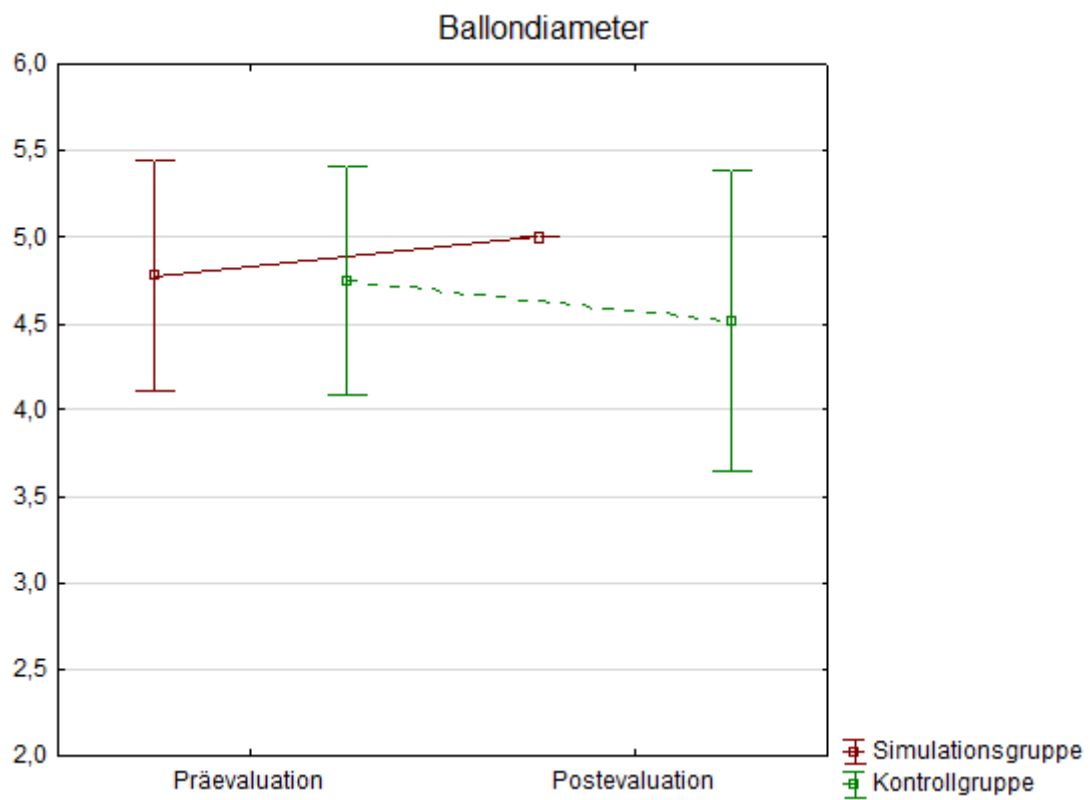


### Position des Koronardrahtes nach Einbringung des Ballons



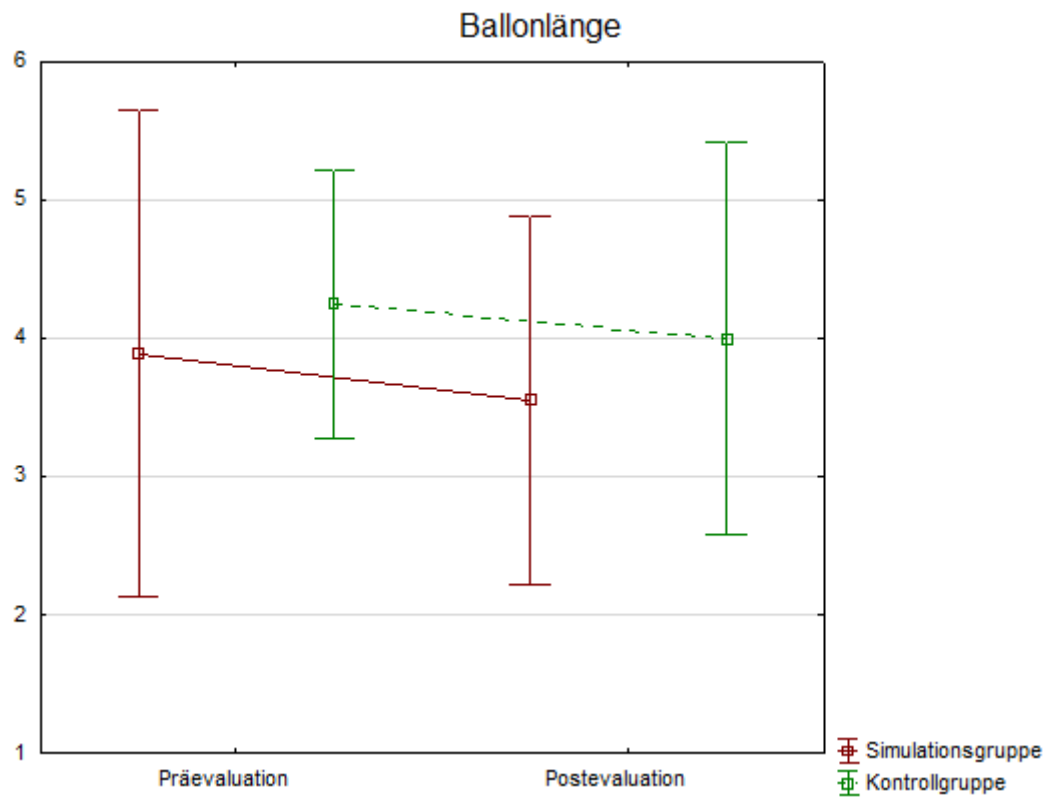
#### 3.2.3.2 *Ballondiameter*

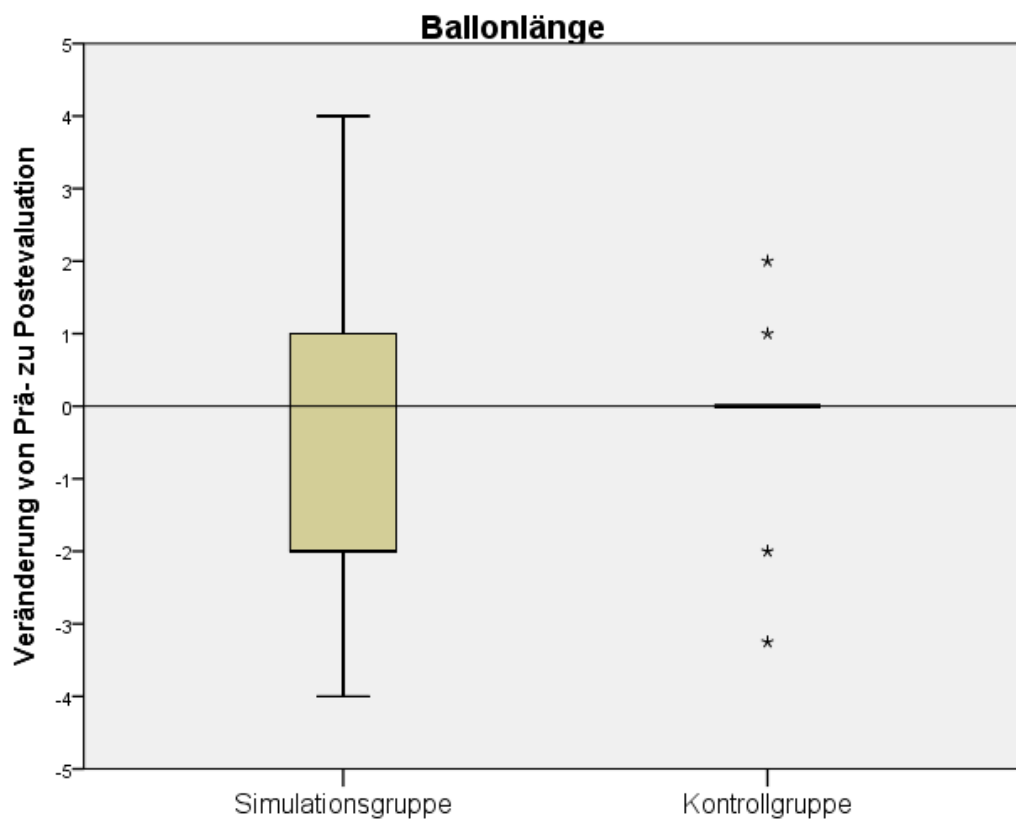
Bei der Auswahl des Ballondiameters verbesserte sich die Simulationsgruppe von  $4,8 \pm 0,7$  auf  $5,0 \pm 0,0$ , während sich die Kontrollgruppe von  $4,8 \pm 0,7$  auf  $4,5 \pm 0,9$  verschlechterte, der Unterschied war allerdings nicht signifikant ( $p=0,239$ ).



### 3.2.3.3 Ballonlänge

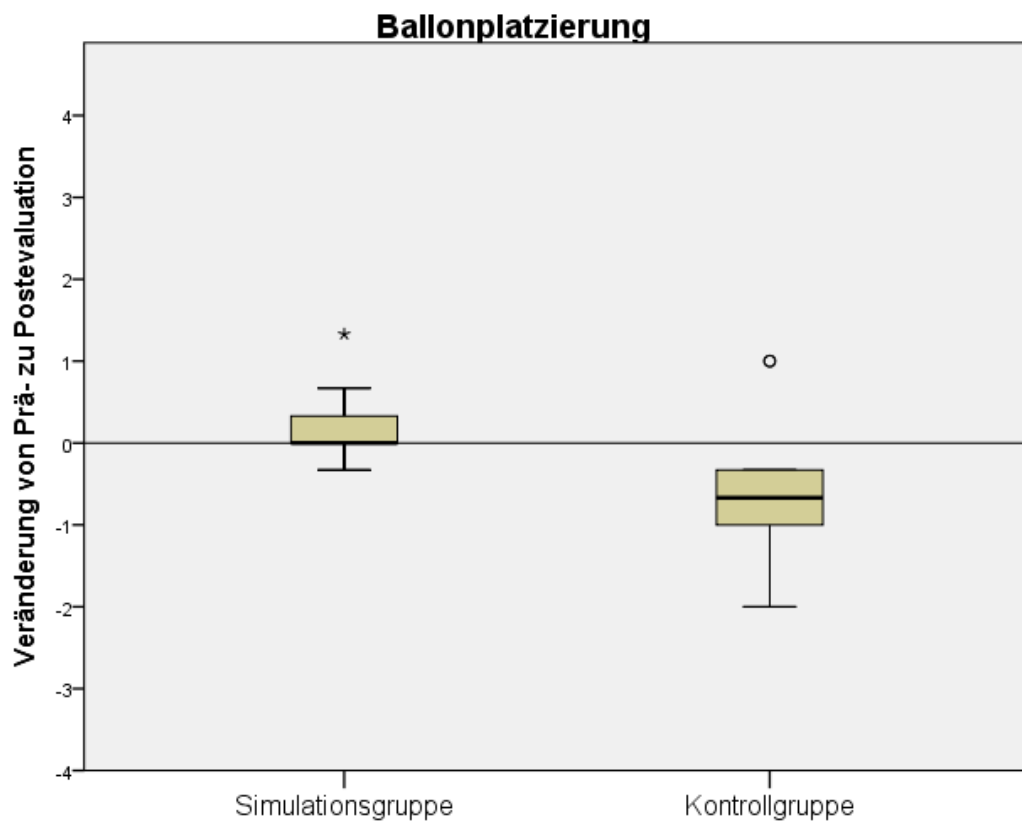
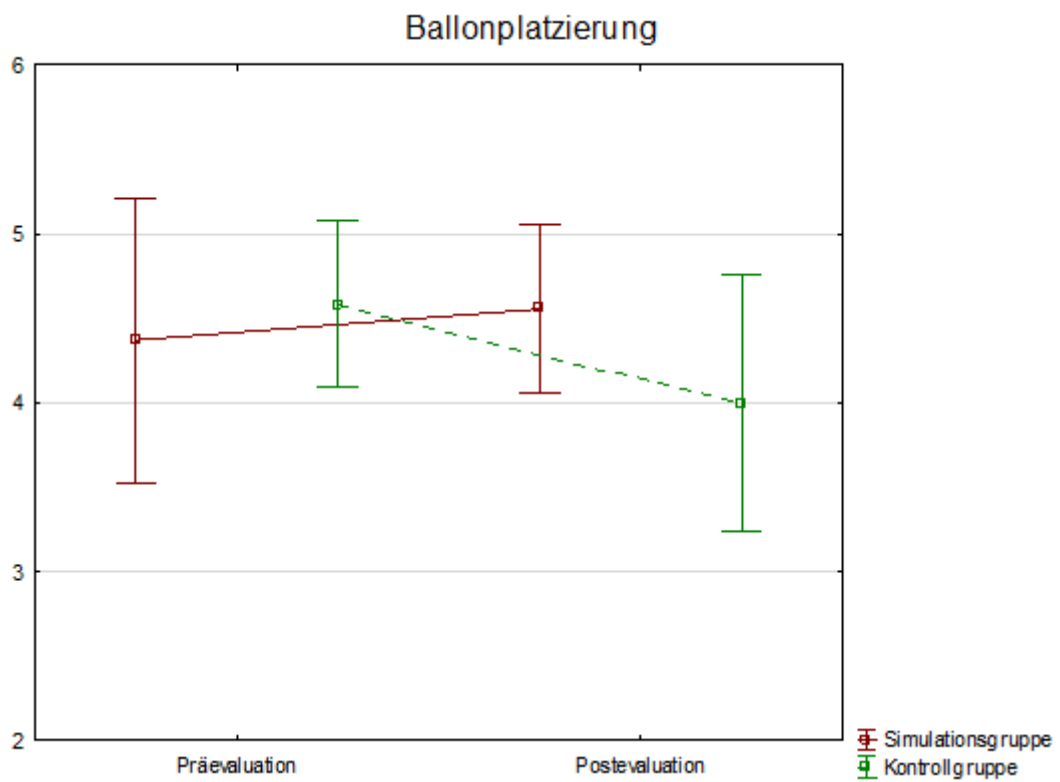
Im Hinblick auf die richtige Einschätzung der Ballonlänge war für beide Gruppen keine Verbesserung von Prä- nach Postevaluation festzustellen ( $p=0,105$ ).





### ***3.2.3.4 Ballonplatzierung***

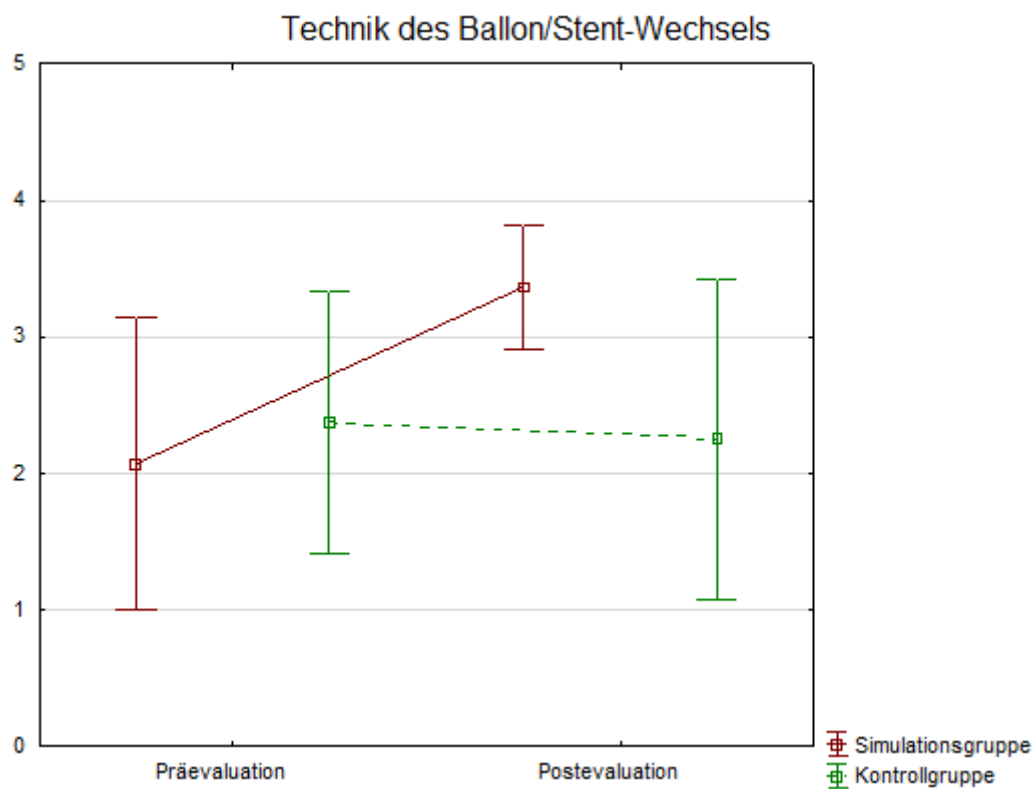
Die Simulationsgruppe verbesserte sich bei der Ballonplatzierung von  $4,4 \pm 0,8$  auf  $4,6 \pm 0,5$ , während sich die Kontrollgruppe von  $4,6 \pm 0,5$  auf  $4,0 \pm 0,8$  verschlechterte, der Unterschied war allerdings erneut nicht signifikant ( $p=0,144$ ).

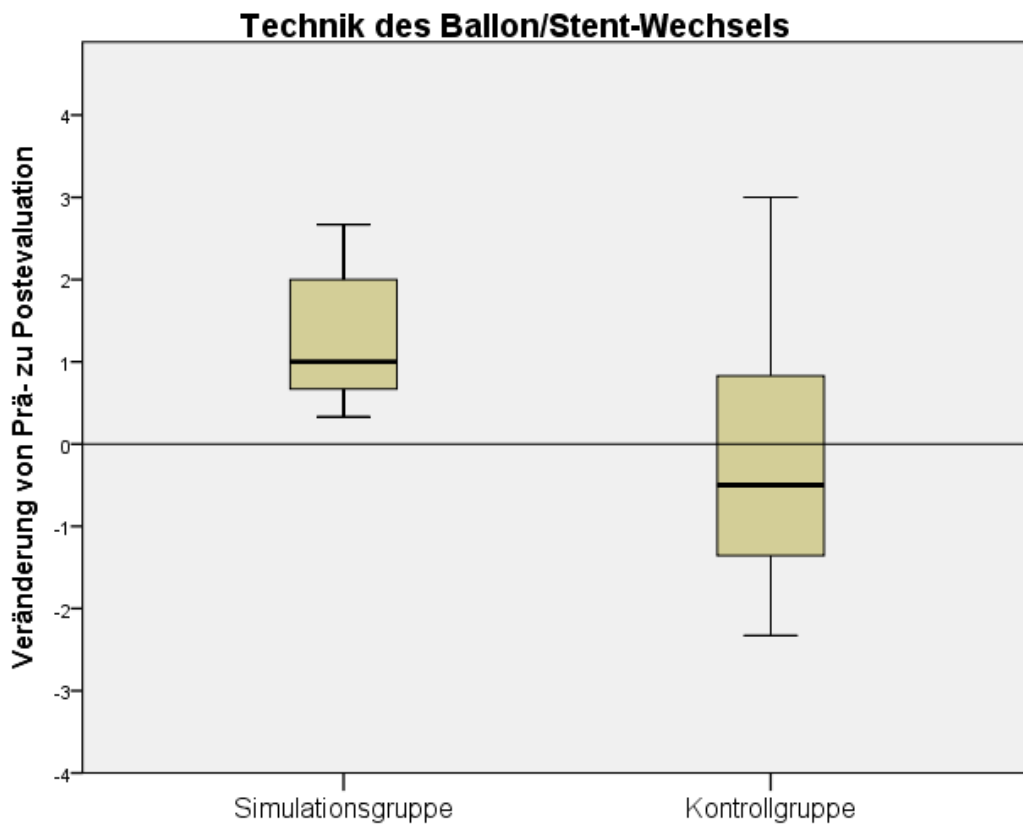




### 3.2.3.5 Technik des Ballon/Stent Wechsels

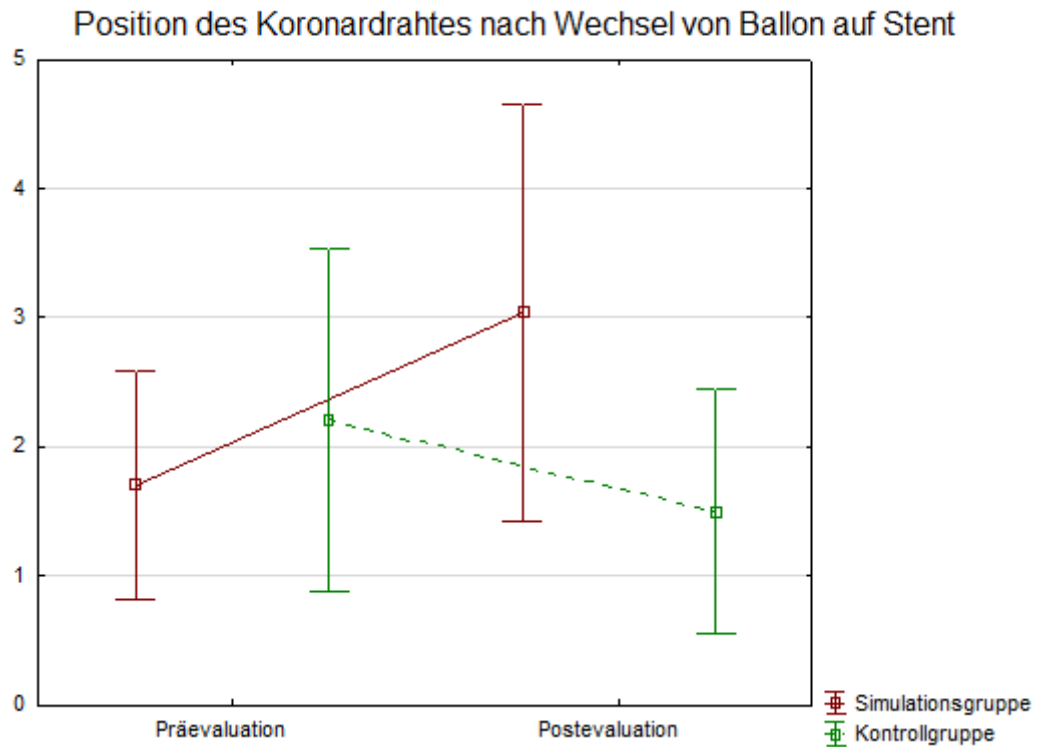
Die Probanden, die das Training an den VR-Simulatoren erhielten, verbesserten sich von  $2,1 \pm 1,1$  auf  $3,4 \pm 0,5$ , während sich die Teilnehmer der Kontrollgruppe geringfügig von  $2,4 \pm 1,0$  auf  $2,3 \pm 1,2$  verschlechterten. Der p-Wert ist mit 0,044 signifikant.



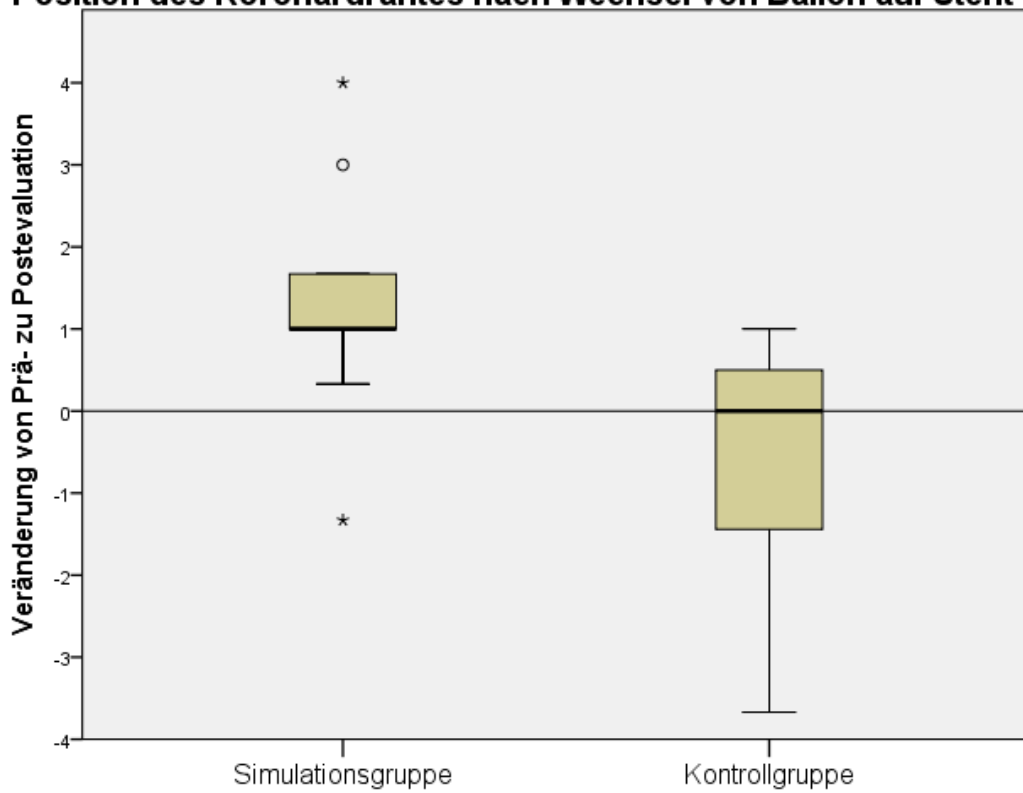


### ***3.2.3.6 Position des Koronardrahtes nach Wechsel von Ballon auf Stent***

Die Simulationsgruppe zeigte eine Verbesserung des Mittelwertes von  $1,7 \pm 0,9$  auf  $2,2 \pm 1,3$  und die Kontrollgruppe eine Verschlechterung von  $3,0 \pm 1,6$  auf  $1,5 \pm 0,9$ . Dieser Unterschied war statistisch signifikant ( $p=0,046$ ). 9 von 18 Probanden zogen den Draht versehentlich komplett über die Stenose zurück oder schoben ihn deutlich zu weit in die Peripherie vor.



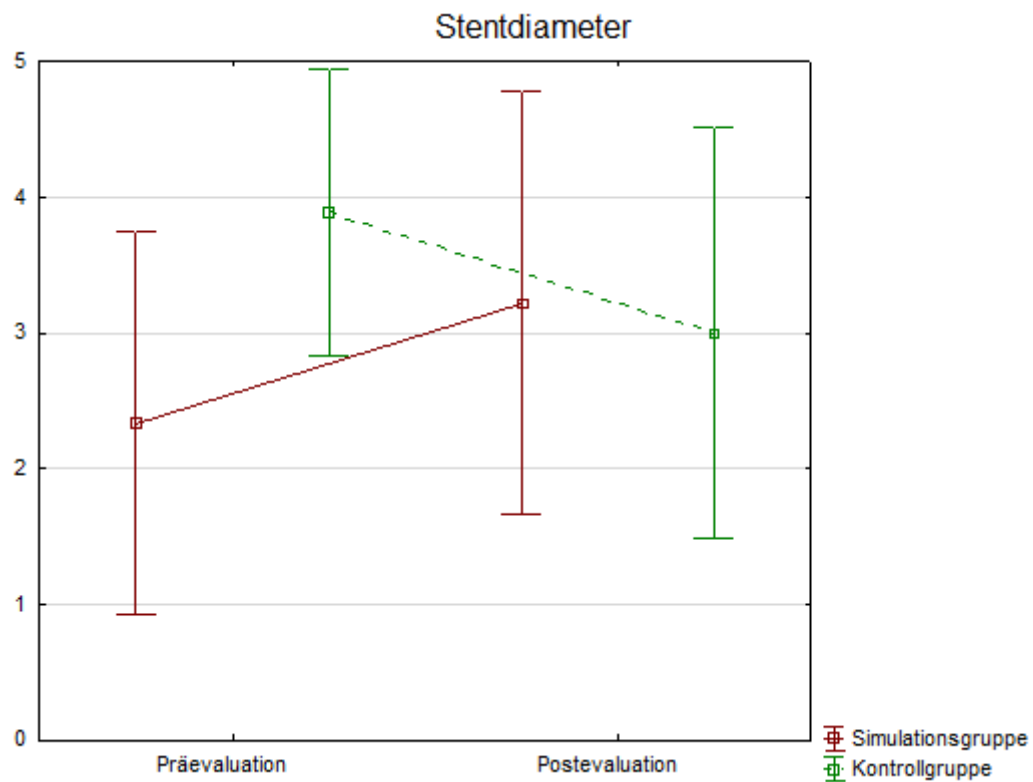
**Position des Koronardrahtes nach Wechsel von Ballon auf Stent**

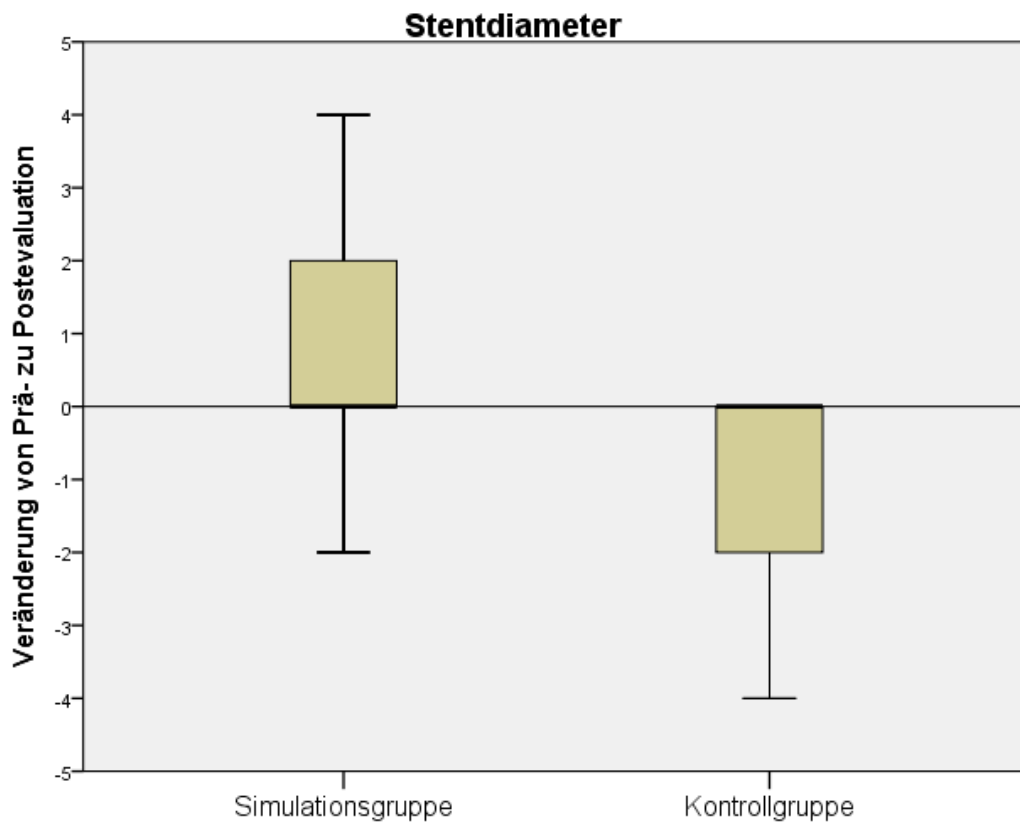


### 3.2.4 Stent

#### 3.2.4.1 Stentdiameter

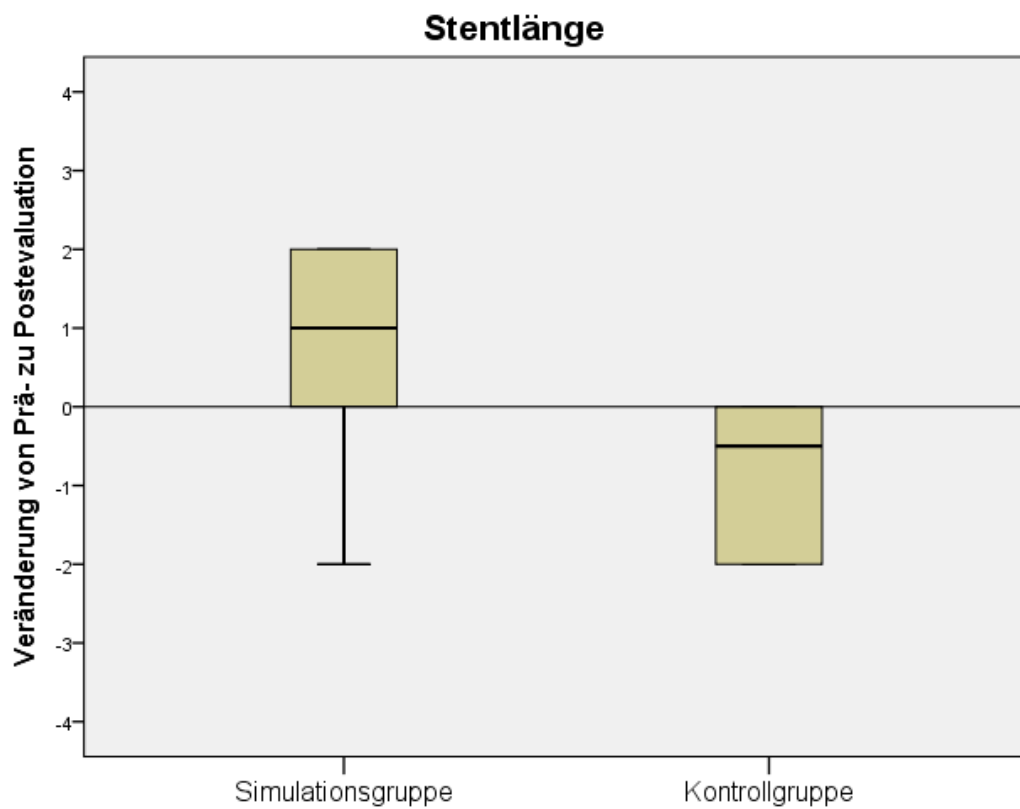
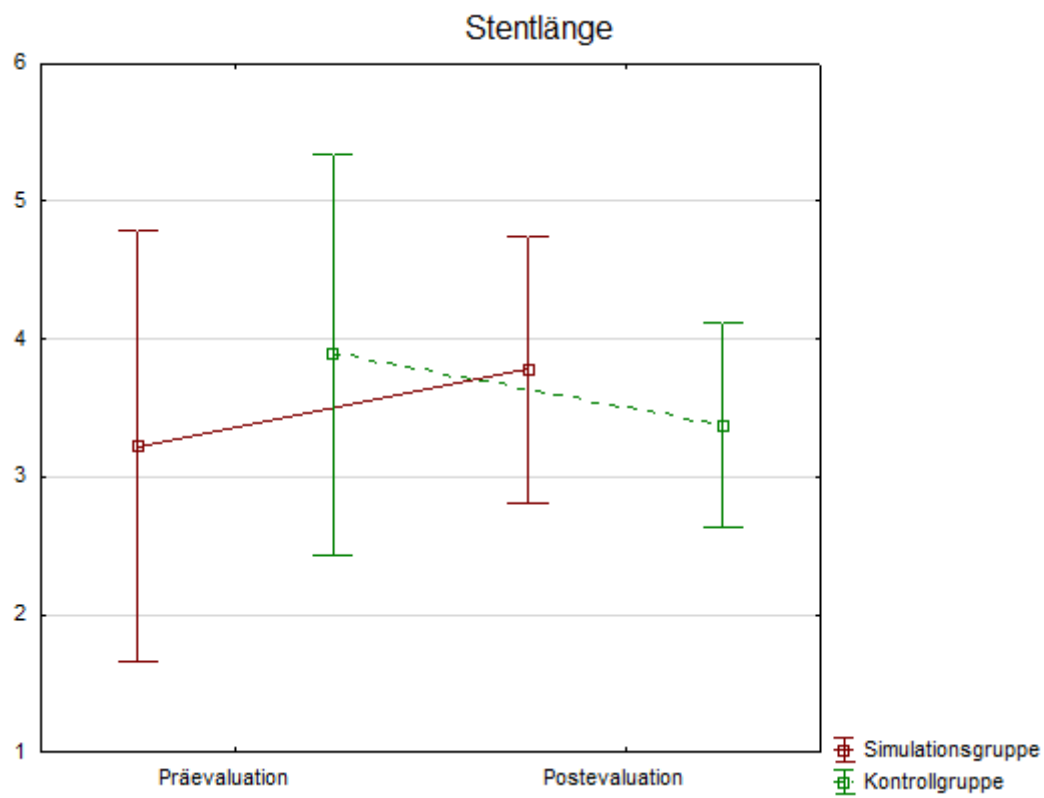
Bei der korrekten Auswahl des Stentdiameters verbesserte sich die Simulationsgruppe von  $2,3 \pm 1,4$  auf  $3,2 \pm 1,6$ , während sich die Kontrollgruppe von  $3,9 \pm 1,1$  auf  $3,0 \pm 1,5$  verschlechterte ( $p=0,969$ ). Allerdings lag der Ausgangswert für diesen Parameter bei der Kontrollgruppe deutlich höher als bei der Simulationsgruppe.





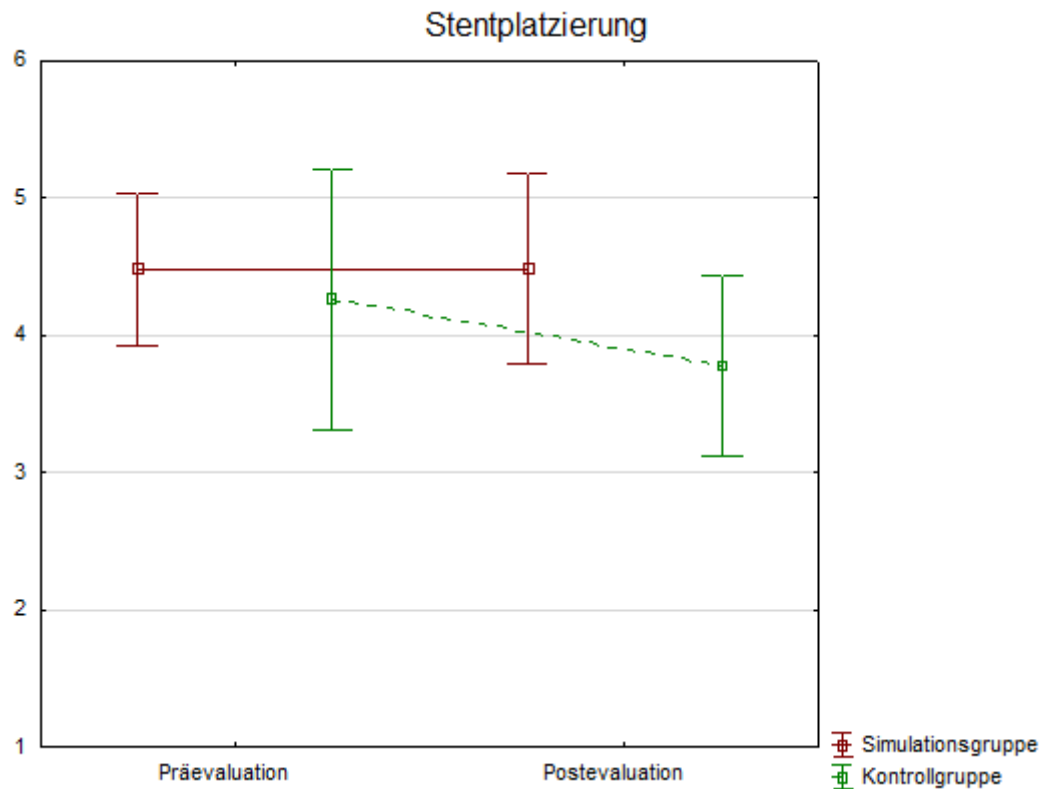
### **3.2.4.1 Stentlänge**

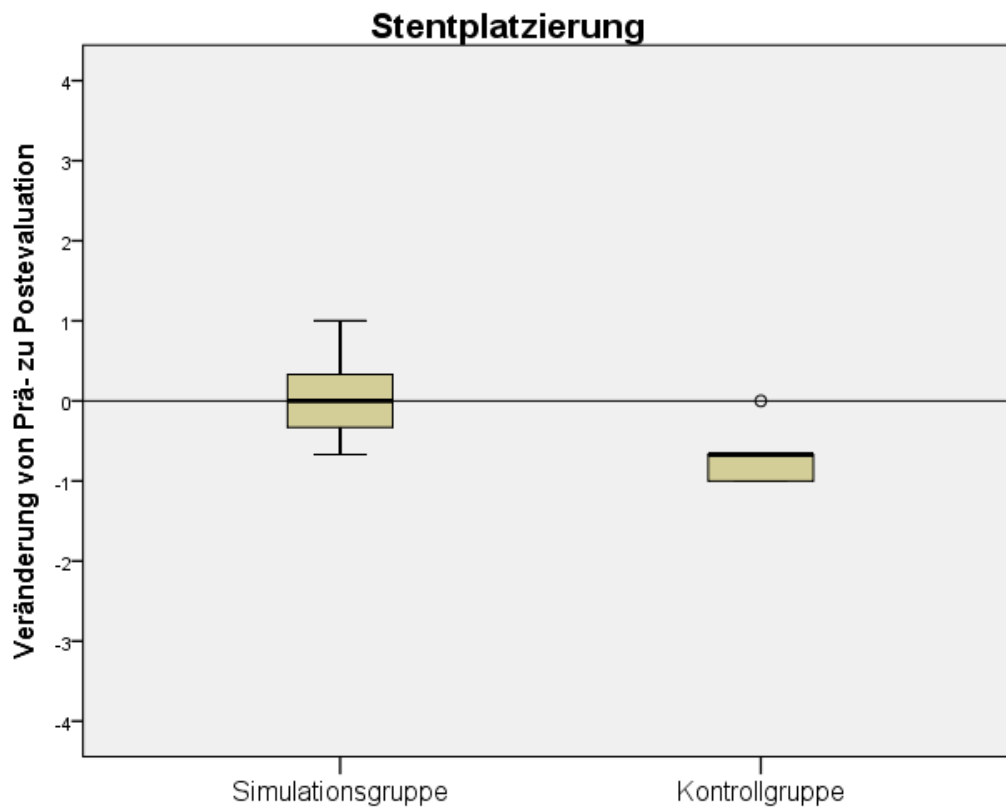
Während sich die Simulationsgruppe von  $3,2 \pm 1,6$  auf  $3,8 \pm 1,0$  steigerte, nahm der Wert in der Kontrollgruppe von  $3,9 \pm 1,5$  auf  $3,4 \pm 0,7$  ab. Der Unterschied zwischen den beiden Gruppen war nicht signifikant ( $p=0,224$ ).



### 3.2.4.2 Stentplatzierung

Der Parameter „korrekte Stentplatzierung“ blieb in der Simulationsgruppe unverändert, während er in der Kontrollgruppe von  $4,3 \pm 1,0$  auf  $3,8 \pm 0,7$  abnahm. Dieser Unterschied ist statistisch signifikant ( $p=0,023$ ).

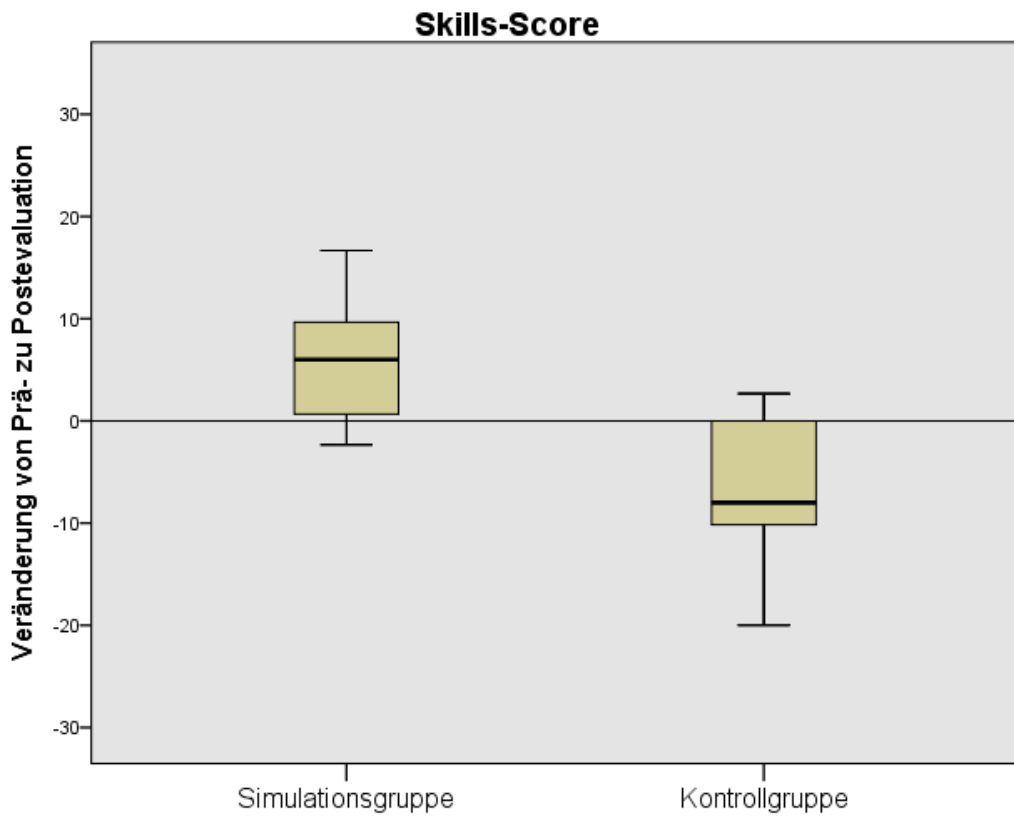
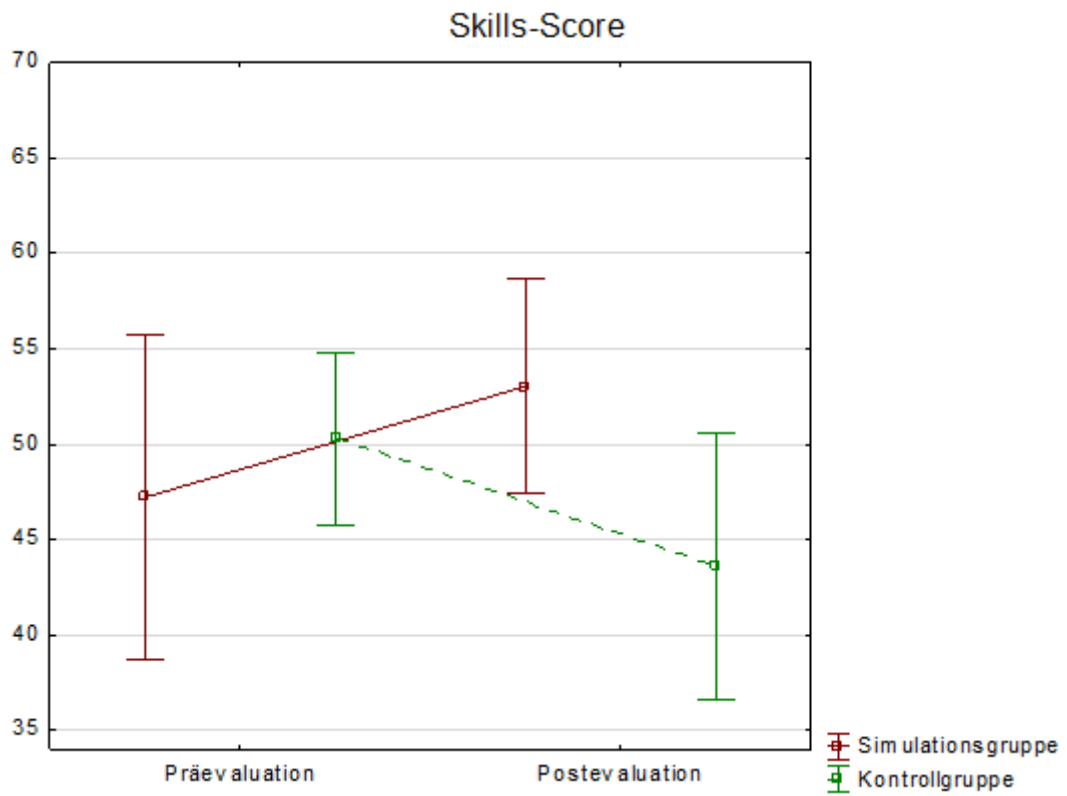




### 3.2.6 Skills Score

Der Skills Score, der sich aus den 14 oben aufgeführten Parameter zusammensetzt, stieg in der Simulationsgruppe von  $47,2 \pm 8,5$  auf  $53,0 \pm 5,6$  an (mittlere Änderung:  $5,8 \pm 6,1$ ), während er in der Kontrollgruppe von  $50,3 \pm 4,5$  auf  $43,6 \pm 7,0$  abfiel (mittlere Änderung  $-6,7 \pm 8,4$ ). Der mit der ANCOVA errechnete p-Wert von 0,003 zeigt, dass der Unterschied zwischen den Gruppen signifikant ist.





### 3.3 Ergebnisse der Konstruktvalidität

Die Experten verwendeten  $98,8 \pm 46,3$  ml Kontrastmittel, die Interventionsdauer betrug  $17 \pm 5,8$  min. Bei einer Durchleuchtungszeit von  $4,8 \pm 1,4$  min erreichten sie ein Flächendosisprodukt von  $3356 \pm 1452$  mSv.

Die Expertengruppe erzielte beim Skills Score  $59,9 \pm 5,4$  Punkte von 70 maximal erreichbaren Punkten und lag damit über den Werten, die die Simulationsgruppe ( $53,0 \pm 5,6$ ) und die Kontrollgruppe ( $43,6 \pm 7,0$ ) in der Postevaluation erreichten (s. Abb. Nr. 10).

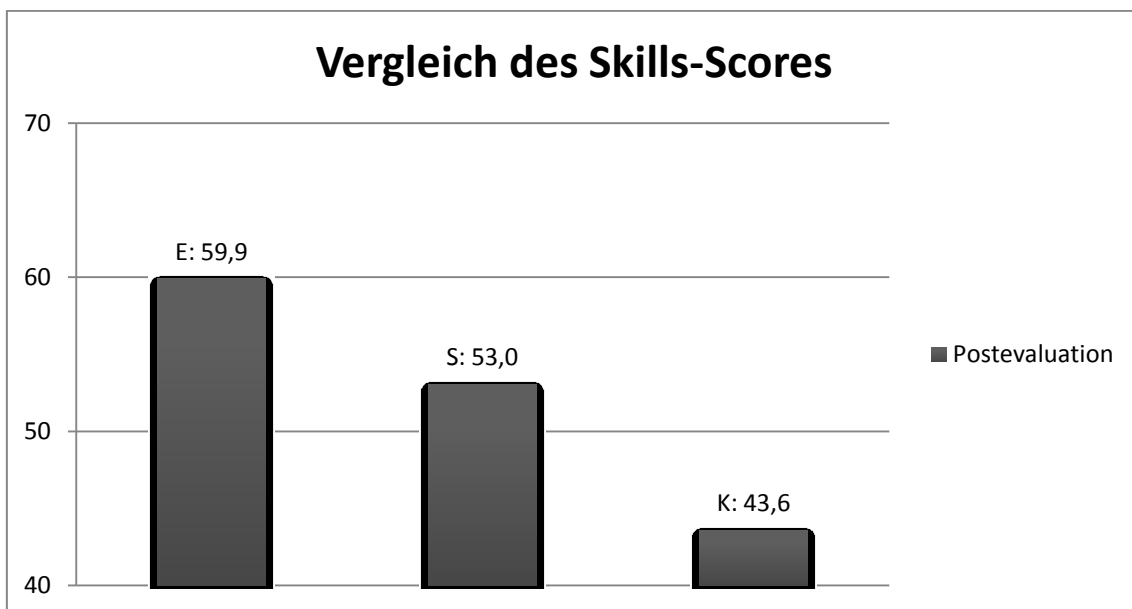


Abbildung 10: Skills Scores im Vergleich

Parameter	Simulationsgruppe	Kontrollgruppe	Konstruktvalidität
<b>Benötigte Menge Kontrastmittel (ml)</b>			
Präevaluation	177,9 (45,9)	145,7 (26,9)	
Postevaluation	177,8 (48,2)	164,8 (32,7)	98,8 (46,3)
p-Wert	0,891		
<b>Durchleuchtungszeit (min)</b>			
Präevaluation	4,5 (2,3)	2,8 (1,0)	
Postevaluation	6,1 (1,9)	6,1 (2,1)	4,8 (1,4)
p-Wert	0,744		
<b>Flächendosisprodukt (mSv)</b>			
Präevaluation	3980 (3228)	1961 (978)	
Postevaluation	3356 (1132)	2378 (1475)	3356 (1452)
p-Wert	0,209		
<b>Zeit benötigt für die Intervention (min)</b>			
Präevaluation	21,1 (3,6)	17,6 (2,9)	
Postevaluation	19,4 (2,4)	20,9 (3,7)	17,0 (5,8)
p-Wert	0,216		

Parameter	Simulationsgruppe	Kontrollgruppe	Konstruktvalidität
<b>1. Risikobewusste Katheterbewegungen</b>			
Präevaluation	2,9 (1,4)	3,2 (1,7)	
Postevaluation	2,5 (1,0)	2,8 (1,4)	4,5 (0,6)
p-Wert	0,749		
<b>2. Positionierung im Ostium in koaxialer Lage</b>			
Präevaluation	3,9 (0,7)	3,7 (1,2)	
Postevaluation	3,7 (1,1)	3,7 (1,3)	4,5 (0,8)
p-Wert	0,856		
<b>3. Technik der Präparation der Drahtspitze</b>			
Präevaluation	2,8 (1,4)	3,3 (1,4)	
Postevaluation	3,5 (0,9)	3,4 (0,7)	5,0 (0,0)
p-Wert	0,936		
<b>4. Manipulation/Steuerung des Drahtes</b>			
Präevaluation	3,0 (1,5)	3,2 (1,0)	
Postevaluation	3,0 (1,4)	2,7 (1,6)	4,8 (0,4)
p-Wert	0,475		
<b>5. Position des Koronardrahtes nach Passage der Stenose/vor Ballon</b>			
Präevaluation	4,0 (1,4)	4,4 (0,6)	
Postevaluation	4,8 (0,3)	4,3 (0,7)	4,9 (0,3)
p-Wert	0,105		
<b>6. Position des Koronardrahtes nach Einbringung des Ballons</b>			
Präevaluation	4,0 (1,1)	3,0 (1,3)	
Postevaluation	4,4 (0,7)	2,7 (1,5)	3,8 (1,2)
p-Wert	0,008		

<b>7. Ballondiameter</b>			
Präevaluation	4,8 (0,7)	4,8 (0,7)	
Postevaluation	5,0 (0,0)	4,5 (0,9)	4,6 (0,8)
p-Wert	0,239		
<b>8. Ballonlänge</b>			
Präevaluation	3,9 (1,8)	4,3 (1,0)	
Postevaluation	3,6 (1,3)	4,0 (1,4)	3,0 (1,3)
p-Wert	0,105		
<b>9. Ballonplatzierung</b>			
Präevaluation	4,4 (0,8)	4,6 (0,5)	
Postevaluation	4,6 (0,5)	4,0 (0,8)	4,5 (0,7)
p-Wert	0,144		
<b>10. Technik des Ballon/Stent-Wechsels</b>			
Präevaluation	2,1 (1,1)	2,4 (1,0)	
Postevaluation	3,4 (0,5)	2,3 (1,2)	4,3 (0,9)
p-Wert	<b>0,044</b>		
<b>11. Position des Koronardrahtes nach Wechsel von Ballon auf Stent</b> (Teil 1: Ballonrückzug, Teil 2: Stent Vorschub)			
Präevaluation	1,7 (0,9)	3,0 (1,6)	
Postevaluation	2,2 (1,3)	1,5 (0,9)	3,5 (1,6)
p-Wert	<b>0,046</b>		
<b>12. Stentdiameter</b>			
Präevaluation	2,3 (1,4)	3,9 (1,1)	
Postevaluation	3,2 (1,6)	3,0 (1,5)	3,4 (0,8)
p-Wert	0,969		

<b>13. Stentlänge</b>			
Präevaluation	3,2 (1,6)	3,9 (1,5)	
Postevaluation	3,8 (1,0)	3,4 (0,7)	4,2 (0,8)
p-Wert	0,224		
<b>14. Stentplatzierung</b>			
Präevaluation	4,5 (0,6)	4,3 (1,0)	
Postevaluation	4,5 (0,7)	3,8 (0,7)	4,7 (0,6)
p-Wert	<b>0,023</b>		
<b>Skills Score der 14 Parameter</b>			
Präevaluation	47,2 (8,5)	50,3 (4,5)	
Postevaluation	53,0 (5,6)	43,6 (7,0)	59,9 (5,4)
p-Wert	<b>0,003</b>		

Die obige Tabelle zeigt die Zusammenfassung der Mittelwerte und Standardabweichungen für jeden einzelnen Parameter. Der p-Wert bezieht sich auf die Veränderung von der Prä- zur Postevaluation der Teilnehmer. Die signifikanten Ergebnisse sind fettgedruckt.

### 3.4 Lernpotential in Abhängigkeit zu den Ausgangsfertigkeiten der Probanden

Die Abbildung zeigt, dass die Probanden der Simulationsgruppe, die bei der Präevaluation gut abschnitten (> 50 Punkte) eine geringere Verbesserung ihres Skills Score aufwiesen als Probanden mit initial geringerer Punktzahl.

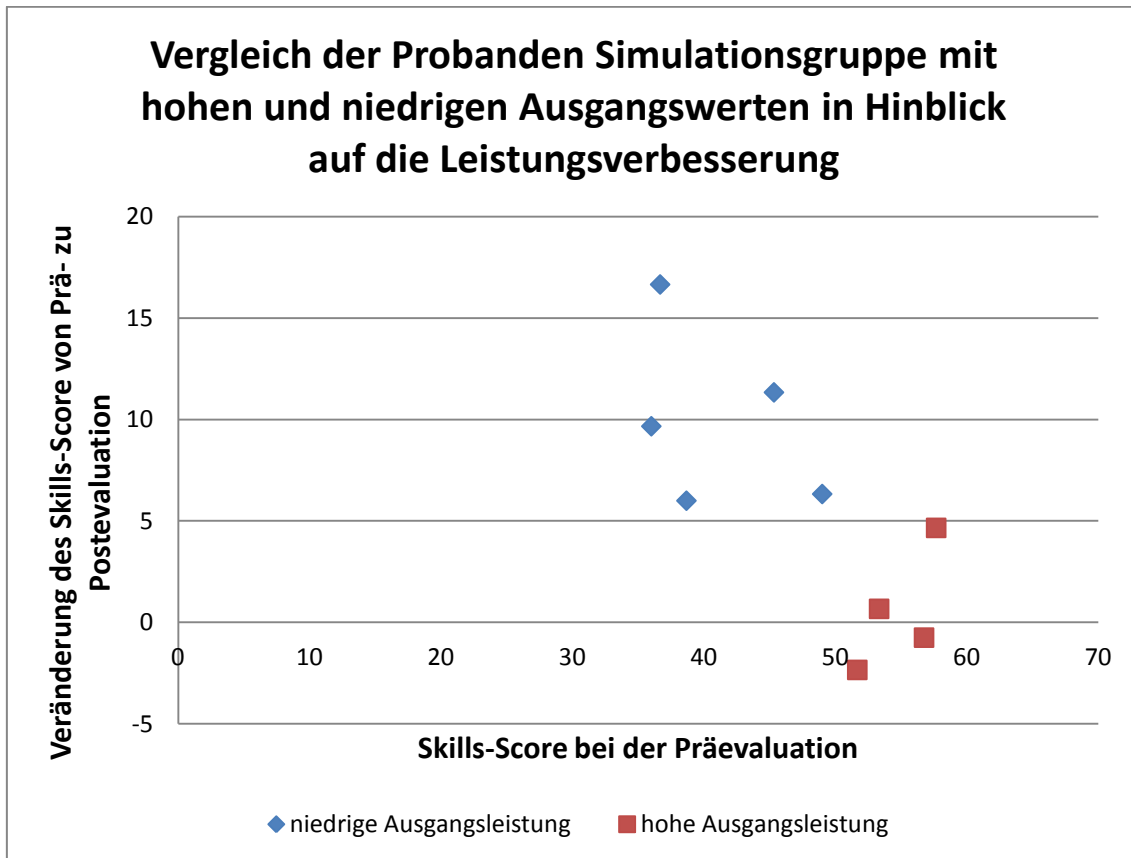


Abbildung 11: Vergleich der Probanden in Hinblick auf die Leistungsverbesserung

## 4. Diskussion

Virtual-Reality Simulationstraining ist in der Luftfahrt ein Standard zur Ausbildung von Piloten. So können zum Beispiel komplizierte Landungen oder auch Manöver zur Beherrschung von Notfallsituationen geübt werden. [11] Nach diesem Vorbild werden Simulatoren auch in der Medizin eingesetzt. Sie erlauben effektives Üben ohne Gefährdung von Menschenleben und bieten die Möglichkeit, Komplikationen und spezifische Situationen zu trainieren. [12] Für viele Fachrichtungen der Medizin gibt es bereits VR-Simulatoren (Chirurgie, Gastroenterologie, Ophthalmologie und für Katheterbasierte Verfahren, wie Eingriffe an den Karotiden, Cerebralgefäßen und den Koronarien). [13-22] Für den systematischen Einsatz von VR-Simulationstraining ist eine Validierung der Methode essentiell. Der Einsatz von VR-Training zum Training katheterbasierter Verfahren wurde bislang in mehreren Studien validiert. So konnte die Effektivität der Methode für Carotisinterventionen gezeigt werden. [20, 21] Die Studien von Chaer et al., Berry et al. und Van Herzeele haben den Einfluss von Simulationstraining auf die Leistung der Probanden beim Durchführen von Interventionen an Iliakalgefäßen untersucht. Es zeigte sich, dass das Simulationstraining die Leistung der Probanden verbessert. [23-25] Auch die Studien von De Ponti et al., die sich mit VR-Training für die transeptale Punktion und für die elektrophysiologische Untersuchung befassen, haben eine Leistungsverbesserung der Teilnehmer der Simulationsgruppe gezeigt. [26, 27] Der Einfluss des Simulationstrainings auf das Nierenarterienstenting wurde durch Aggarwal et al. untersucht. [28] Auch diese Arbeit zeigte den positiven Einfluss von Simulationstraining. Zur Untersuchung des Effekts von Simulationstraining auf die Qualität einer diagnostischen Herzkatheteruntersuchung existieren die Arbeiten von Jensen et al. und von Bagai et al.. [29-31] Die Arbeit von Jensen et al. hat die Konstruktvalidität des VR-Simulators Mentice VIST überprüft und bestätigen können. Bagai et al. haben zeigen können, dass die durch VR-Simulationstraining geschulten Fertigkeiten auch die Qualität einer diagnostischen Herzkatheteruntersuchung am Menschen verbessert. Die folgende Tabelle stellt vergleichend die Methodik der Studien dar, die den Einfluss von VR-Simulationstraining auf katheterbasierte Verfahren untersucht haben. [32]



Studie	Gebiet	VR-Simulator	Konstruktvalidität bestimmt	Wissensübertragung vom VR-Simulator getestet	Auswertungsverfahren	Mehrere Auswerter	Videoauswertung	Erfahrung der Probanden
Dayal R, et al. (n=21) [21]	Karotiden	Mentice VIST	Ja	Nein	Verblindet, Evaluationsbogen + procedure report des Simulators	Nein	Nein	16 Anfänger, 5 Experten
Hsu JH, et al. (n=29) [20]	Karotiden	Mentice VIST	Ja	Nein	procedure report des Simulators	-	-	16 Anfänger, 13 Experten
Patel AD et al (n=20) [19]	Karotiden	Mentice VIST	Nein	Nein	procedure report des Simulators	-	-	20 Interventionelle Kardiologen
Chaer RA et al. (n=20) [24]	Illiakalgefäße	Mentice VIST	Nein	Ja, Mensch	Verblindet, Evaluationsbogen	Nein	Nein	20 Anfänger
Van Herzeele et al. (n=47) [33]	Illiakalgefäße	Mentice VIST	Ja	Nein	procedure report des Simulators	-	-	20 Anfänger, 27 Fortgeschrittene/Experten
Berry M et al. (n=12) [23]	Illiakalgefäße	Mentice VIST	Nein	Ja, Tiermodell	Nicht verblindet, Evaluationsbogen	Ja, 2	Ja	12 Anfänger
Dawson (n=9) [34]	Illiakalgefäße, Karotiden, Nierenarterien	SimSuite	Nein	Nein	procedure report des Simulators	-	-	9 Anfänger

Studie	Gebiet	VR-Simulator	Konstruktvalidität	Wissensübertragung vom VR-Simulator getestet	Auswertungsverfahren	Mehrere Auswerter	Videoauswertung	Erfahrung der Probanden
Aggarwal R et al. (N=20) [28]	Nierenarterien	Mentice VIST	Ja	Nein	procedure report des Simulators	-	-	20 Anfänger
De Ponti et al. (n=14) [26]	Transseptale Punktion	Mentice VIST	Nein	Ja, Mensch	Verblindet, Evaluationsbogen	Nein	Nein	Elektrophysiologen ohne Erfahrung in TSP
De Ponti et al (n=7) [27]	Elektrophysiologie	modifizierter Mentice VIST	Nein	Ja, Mensch	Nicht verblindet, Evaluationsbogen	Nein	Nein	7 Anfänger
Jensen (n=24) [30]	Koronarien (Diagnostik)	Mentice VIST	Ja	Nein	Verblindet, Evaluationsbogen + procedure report	Ja, 2	Ja	10 Anfänger, 4 Fortgeschrittene, 10 Experten
Bagai (n=27) [31]	Koronarien (Diagnostik)	Mentice VIST	Nein	Ja, Mensch	Nicht verblindet, Evaluationsbogen	Nein	Nein	27 Anfänger
Voelker, Petri et al. (n=23)	Koronarien (Intervention)	Mentice VIST-C Symbionix AngioMentor Express CAE Cath Lab VR	Ja	Ja, mechanisches Modell	Verblindet, Evaluationsbogen	Ja, 3	Ja	≥50 Diagnostische Katheter, 18 Anfänger, 5 Experten

Einige dieser Studien haben allerdings methodische Einschränkungen. So fand bei den Studien von Dayal, Hsu, Aggarwal, Patel, Jensen und Van Herzelee sowohl das Training als auch die Evaluation der Probanden am VR-Simulator statt. [19-21, 28, 30, 33] Die Studien von Chaer [24], De Ponti [26, 27] und Bagai [31] sind dadurch limitiert, dass die Probanden nur von einem einzigen Beobachter evaluiert und anhand eines Fragebogens beurteilt wurden. Diese Art der Evaluation birgt den Nachteil der Subjektivität. In der Studie von Berry et al. waren die Beobachter nicht verblindet, was die Wertigkeit der Evaluation beeinträchtigt. [23]

Bislang gibt es nur vier Studien, die den Einsatz von VR-Simulation im Bereich der Koronarintervention untersucht haben: Gallagher und Lipner konnten die Konstruktvalidität des VIST-Simulators bestätigen und zeigen, dass erfahrene interventionelle Kardiologen in den objektiven Auswertungskriterien des Simulators besser abschneiden als Anfänger. [35, 36] Der Lerneffekt von VR-Training auf die kathetertechnischen Fähigkeiten von Probanden wurde in diesen Studien nicht untersucht. Die Studie von Coburger hat zur Evaluation des damals neuen VR-Simulators CATHI, den Trainingseffekt an 13 Medizinstudenten untersucht. In dieser Studie wurde zur Evaluation auch das mechanische Herzmodell CoroSim benutzt. Die Probanden wurden allerdings von einem einzigen, verblindeten Beobachter beurteilt. [37] In der Studie von Backhaus wurde der Trainingseffekt von den 2 VR-Simulatoren, CATHI und Cath Lab VR, an 33 angehenden interventionellen Kardiologen untersucht. Die Probanden führten eine Prä- und eine Postevaluation am CoroSim durch. Die Bewertung der Probanden fand auch in dieser Studie durch einen einzigen Beobachter statt, der zudem nicht verblindet war. [22]

In unserer Studie wurde, in Übereinstimmung mit der Studie von Backhaus, der Effekt von VR-Simulationstraining auf die Fertigkeiten von angehenden interventionellen Kardiologen untersucht. Es wurde allerdings darauf geachtet, die methodischen Einschränkungen dieser Studie zu minimieren. So erfolgte eine Videoaufzeichnung der Prä- und Postevaluationen von jedem Teilnehmer, sodass eine verblindete Evaluation erfolgen konnte. Die Auswertung der Videoaufzeichnungen wurde zudem durch drei Beobachter durchgeführt. Eine weitere Limitation in der Studie von Backhaus war, dass

die Teilnehmer, die der Kontrollgruppe zugeteilt wurden, möglicherweise darüber enttäuscht waren, dass sie kein Simulations-Training erhalten haben. Es wurde in der Arbeit diskutiert, ob dies eventuell zu einer Beeinträchtigung der Leistung geführt habe. [22] Um diese mögliche Fehlerquelle zu beseitigen, wurde allen Teilnehmern dieser Studie am Anfang mitgeteilt, dass sie alle, unabhängig vom Randomisierungsergebnis, ein komplettes Simulationstraining erhalten haben.

Die Leistungsbeurteilung der Probanden erfolgte auf der Basis einer realitätsnahen Intervention im Herzkatheterlabor, die unter Verwendung von Originalinstrumentarien und Geräten am pulsatilen mechanischen Herzmodell CoroSim durchgeführt wurde. Eine Evaluation im Rahmen einer Koronarintervention am Menschen wurde dagegen aus mehreren Gründen nicht durchgeführt:

1) Ethische Aspekte:

So ist der Eingriff durch unerfahrene Untersucher mit einem erhöhten Risiko verbunden, insbesondere wenn der Supervisor zu Evaluationszwecken nicht eingreifen darf.

2) Methodische Gründe:

Bei einer Studie an Patienten erschweren interindividuelle Unterschiede den Vergleich der Evaluationsergebnisse, dies kann nur durch die deutlich erhöhte Patientenzahlen kompensiert werden. Im Gegensatz hierzu wurden in unserer Studie die Rahmenbedingungen für jeden Probanden möglichst konstant gehalten. Um Objektivität zu gewährleisten, erfolgte die Auswertung der Probanden anhand von Videoaufnahmen. Diese Videoaufnahmen wurden von 3 erfahrenen interventionellen Kardiologen unabhängig voneinander und verblindet ausgewertet. In seltenen Fällen fand sich eine Diskrepanz der Bewertung von >2 Punkten. In diesen Fällen wurde das einzelne Item reevaluiert und ein Konsens zwischen den Observern gebildet.

Die Probanden unserer Studie waren Ärzte, die bereits mindestens 50 diagnostische Koronarangiographien, dagegen noch keine Koronarinterventionen selbstständig durchgeführt haben. Wir führten eine Präevaluation, also eine Evaluation der Probanden vor dem Training durch, um den initialen Leistungsstand der Probanden zu erfassen. Es ist bekannt, dass Probanden mit geringen Ausgangsfertigkeiten beim Simulati-

onstraining häufig mehr profitieren als Probanden mit initial höheren Vorkenntnissen. [21, 31] Auch in unserer Studie haben wir diese Abhängigkeit beobachtet (siehe Kapitel 3.5). Um vergleichbar starke Gruppen zu erhalten, wurden die Probanden mithilfe einer stratifizierten Randomisierung auf die Simulations- und Kontrollgruppe aufgeteilt. Diese initiale Beurteilung erfolgte zunächst direkt und nur durch einen Beobachter. Diese Beurteilung diente lediglich zur Gruppeneinteilung, wurde aber für die finale Leistungsbeurteilung der Probanden nicht verwendet. Das Ziel war es, durch diese Einteilungsmethode zwei vergleichbar starke Gruppen zu bekommen.

Das Training der Probanden wurde an 3 unterschiedlichen VR-Simulatoren mit jeweils einem zugeteilten Tutor durchgeführt, sodass jeder Proband an jedem der Simulatoren und von verschiedenen Tutoren trainiert wurde. Somit wurde im Rahmen unserer Studie nicht die Leistungsfähigkeit eines einzelnen Simulators oder Dozenten untersucht oder die Leistungsfähigkeiten der Simulatoren verglichen, sondern der Effekt des Simulationstrainings evaluiert, das drei unterschiedliche Simulatoren mit einbezieht. Das Simulationstraining wurde unter Beachtung der Qualitätskriterien und Inhalte für DGK-Simulationskurse in der invasiven/interventionellen Kardiologie der Arbeitsgemeinschaft der Interventionellen Kardiologie (AGIK) durchgeführt. [38]

Zur Leistungserfassung der Probanden, verwendeten wir den sog. Skills score, der 14 Parameter umfasst. 10 Parameter wurden anhand einer fünfstufigen Likert-Skala subjektiv beurteilt. 4 Parameter wurden anhand vordefinierter Grenzen quantitativ festgelegt (Länge und Diameter von Ballon und Stent). Die Stufen der Likert-Skala waren vordefiniert worden, um eine einheitliche Bewertung durch die 3 Beobachter zu erreichen. Bei 5 pro Parameter erreichbaren Punkten errechnet sich eine Maximalpunktzahl von 70. Bei insgesamt vergleichbaren Ausgangswerten beider Gruppen (S:  $47,2 \pm 8,5$  K:  $50,3 \pm 4,5$ ) verbesserte sich die Simulationsgruppe um 5,8 Punkte auf  $53,0 \pm 5,6$  Punkte, während sich die Kontrollgruppe um 6,7 Punkte auf  $43,6 \pm 7,0$  verschlechterte. Das Simulationstraining führte also zu einer signifikanten Verbesserung des Skills Score.

Für die Einzelparameter „Position des Koronardrahtes nach Einbringung des Ballons“, „Technik des Wechsels von Ballon auf Stent“ und „Position des Koronardrahtes nach Wechsel von Ballon auf Stent“ fanden sich signifikante Unterschiede zwischen Simula-

tions- und Kontrollgruppe. Dies ist ein wichtiger Effekt des Simulationstrainings, denn eine stabile Position des Koronardrahtes verhindert das Auftreten einer Draht-induzierten Perforation und zum anderen den „Drahtverlust“ (Rückzug des Drahtes über die Stenose). Auch für den Parameter der Stentplatzierung ergab sich ein signifikanter Unterschied zwischen der Simulations- und Kontrollgruppe ( $p=0,023$ ).

In Ergänzung zu den 14 Parametern des Skills Score, wurden zusätzlich 4 weitere quantitative Parameter erfasst: 1. benötigte Menge Kontrastmittel 2. Durchleuchtungszeit 3. Flächendosisprodukt 4. Zeit benötigt für die Intervention. Ein signifikanter Unterschied zeigte sich in keinem dieser Parameter.

Die Studie weist folgende Limitationen auf:

#### 1: Niedrige Probandenzahl

Zur Rekrutierung der 18 Probanden wurde über den Verteiler der AGIK eine Einladung verschickt. Der Grund für diese niedrige Zahl sind die eng gefassten Einschlusskriterien.

#### 2: Dauer des Trainings

Die Simulationsgruppe erhielt 7 ½ h Training und die Kontrollgruppe 4 ½ h theoretische Wissensvermittlung an einem Tag. Um das Trainingspotential der VR-Simulatoren besser zu untersuchen, wäre eine Studie mit einem Simulationstraining über einen längeren Zeitraum von großem Interesse.

#### 3: Gruppeneinteilung

Die primäre Beurteilung der Probanden zur stratifizierten randomisierten Aufteilung auf die zwei Gruppen erfolgte durch einen anwesenden Beobachter. Diese Beurteilung ist nicht so objektiv wie die finale Beurteilung durch die Auswertung der Videoaufnahmen durch die 3 verblindeten Beobachter. Da das Training bereits am Folgetag begann, war eine verblindete Auswertung durch 3 unabhängige Untersucher aus Zeitgründen nicht möglich.

#### 4: Unterschiedliche Instruktoren

Die Evaluation im Herzkatheterlabor wurde von 3 unterschiedlichen Instruktoren durchgeführt. Diese leisteten nur Unterstützung bei der Bedienung des Tisches und C-Bogens, aber dennoch waren dadurch die Bedingungen nicht für alle gleich und könnte daher das Abschneiden der Probanden beeinflusst haben.

#### 5: CoroSim zur Evaluation

Zur Evaluation wurde das pulsatile Modell CoroSim benutzt. Dieses Modell ist sehr realitätsgetreu, aber nur eine Annäherung an die Realität. Eine Evaluation am Menschen wäre allerdings ethisch nicht vertretbar gewesen. Auch die unterschiedliche Anatomie jedes Probanden hätte die Anforderungen an die Teilnehmer zu unterschiedlich gemacht, um einen Vergleich der Leistungen zuzulassen.

#### 6. Parameter „Flächendosisprodukt“

Für den quantitativen Parameter „Flächendosisprodukt“ ist anzumerken, dass das CoroSim ein geschlossenes System ist und das Kontrastmittel nicht abfließt, sondern lediglich durchmischt wird und die Flüssigkeit des Systems aus Zeitgründen nur nach jedem zweiten Durchgang gewechselt wurde. Somit musste jeder zweite Proband die Intervention an einem röntgendichteren Herzen durchführen. Das Röntgensystem passt die Strahlendosis automatisch an das röntgendichtere Material an und dies wiederum führt zu einem erhöhten Flächendosisprodukt. Auch der Umstand, dass einige Probanden Cine-Sequenzen erstellten, welche mit einer höheren Strahlendosis einhergehen, während andere nur kurze Durchleuchtungen bei der Intervention durchführten, beeinflusste das Flächendosisprodukt.

Insgesamt lässt sich aus dieser Studie folgern, dass ein durch Virtual Reality gestütztes Training die Fertigkeiten angehender interventioneller Kardiologen beim Durchführen einer Koronarintervention signifikant verbessert. Es ergibt sich daraus die Empfehlung, dass VR-Simulationstraining vermehrt in der Ausbildung zukünftiger interventioneller Kardiologen einzusetzen.

## 5. Zusammenfassung

### **Verbessert Virtual-Reality-Simulationstraining die kathetertechnischen Fertigkeiten angehender interventioneller Kardiologen?**

#### **Eine stratifiziert randomisierte Studie**

Im Rahmen dieser Studie sollte der Effekt von Virtual-Reality (VR)-Simulation auf die Untersuchungsqualität angehender interventioneller Kardiologen untersucht werden. Hierzu wurden 18 Studienteilnehmer rekrutiert, die mindestens 50 diagnostische Herzkatheteruntersuchungen, aber noch keine Intervention eigenständig durchgeführt hatten.

Die Hälfte der Teilnehmer erhielt ein 7 ½ stündiges Training an drei VR-Simulatoren: Cath Lab VR (CAE), VIST-C (Mentice) und AngioMentor Express (Symbionix) (Gruppe S). Die andere Hälfte diente als Kontrollgruppe (Gruppe K) und erhielt lediglich eine theoretische Wissensvermittlung.

Die Evaluation der Probanden fand an einem pulsatilen Herzmodell im Katheterlabor statt (CoroSim™, Mecora). Das Modell weist eine hohe Konstruktvalidität auf, was im Rahmen dieser Studie dokumentiert werden konnte.

Jeder Teilnehmer musste initial (Prä) und abschließend (Post) eine Intervention an diesem Modell durchführen, wobei die Komplexität der zu behandelnden Koronarstenose von Prä zu Post anstieg. Jede Prozedur wurde auf Video aufgezeichnet und von 3 erfahrenen interventionellen Kardiologen verblindet ausgewertet. Um die Leistung der Teilnehmer zu beurteilen, wurde ein Skills Score ermittelt, der 14 Einzelparameter umfasste (s. Tabelle, 5er Likert-Skala, Maximalpunktzahl 70). Zudem wurden die Kontrastmittelmenge, die benötigte Zeit für die Intervention, die Durchleuchtungszeit und das Flächendosisprodukt gemessen. Zur Bestimmung der Konstruktvalidität nahmen 5 Experten an der Postevaluation teil.

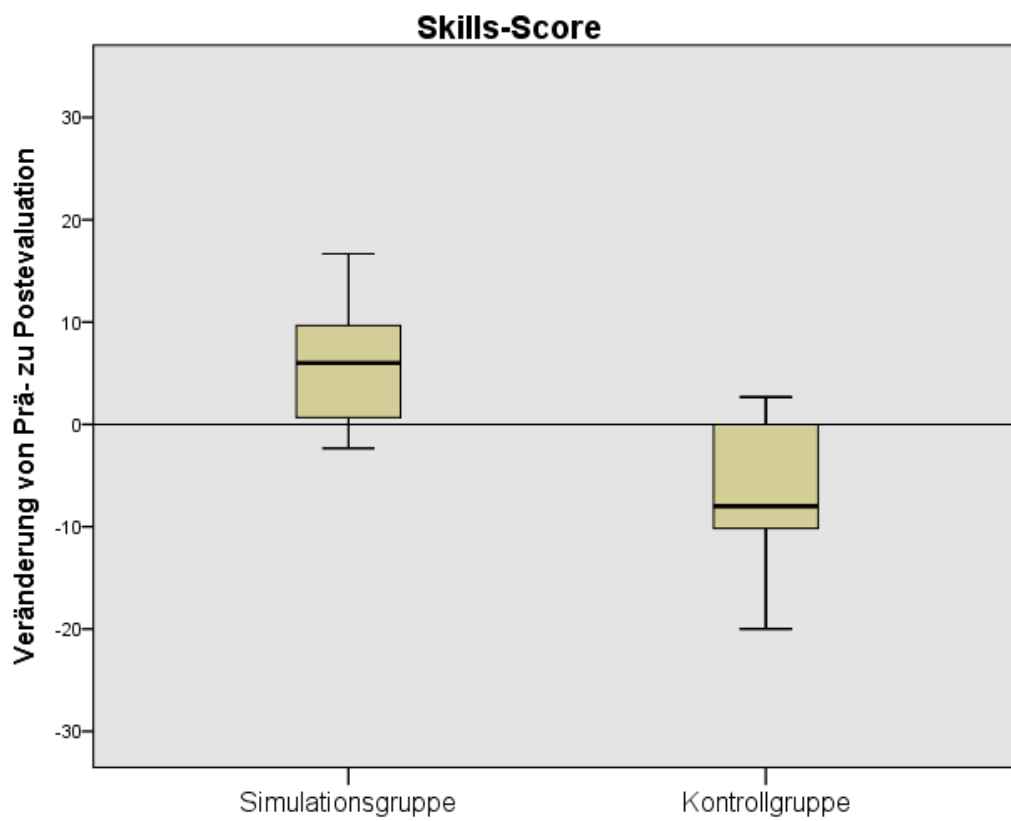
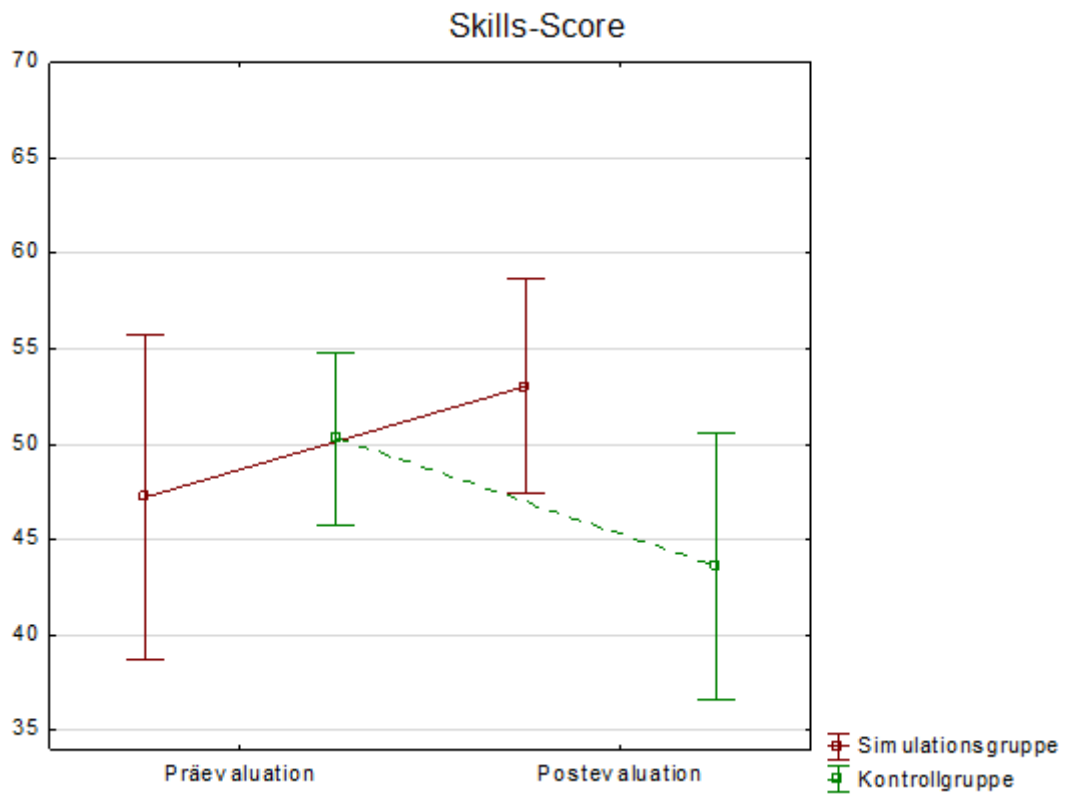


Bei vergleichbaren Ausgangswerten im Skills Score (S: 47,2±8,5 K: 50,3±4,5) verbesserte sich die Simulationsgruppe um 5,8 Punkte auf 53,0±5,6, während sich die Kontrollgruppe um 6,7 Punkte verschlechterte (K: 43,6±7,0). Dieser Unterschied zeigte sich statistisch signifikant (p=0,003) ANCOVA, abhängige Variable = Veränderung von Prä- zu Postevaluation; Gruppe als Faktor, Ausgangswerte als Kovariate.

**Schlussfolgerung: VR-Simulationstraining verbessert die kathetertechnischen Fertigkeiten angehender interventioneller Kardiologen.**

<b>Skills Score</b>
<b>Führungskatheter</b>
1. Risikobewusste Katheterbewegungen
2. Positionierung im Ostium in koaxialer Lage
<b>Koronardraht</b>
3. Technik der Präparation der Drahtspitze
4. Manipulation/Steuerung des Drahtes
5. Position des Koronardrahtes nach Passage der Stenose/Vor Ballon
<b>Ballon</b>
6. Position des Koronardrahtes nach Einbringung des Ballons
7. Ballondiameter
8. Ballonlänge
9. Ballonplatzierung
<b>Stent</b>
10. Technik des Ballon/Stent-Wechsels
11. Position des Koronardrahtes nach Wechsel von Ballon auf Stent
12. Stentdiameter
13. Stentlänge
14. Stentplatzierung

5er Likert Skala (5 = optimal, 1 = unzureichend)



## 6. Literaturverzeichnis

1. Voelker, W., *Computer Simulation as Training Tool for Coronary Interventions*, 2013.
2. Bridges, M. and D.L. Diamond, *The financial impact of teaching surgical residents in the operating room*. Am J Surg, 1999. **177**(1): p. 28-32.
3. Voelker, W., et al., *Improved quality of coronary diagnostics and interventions by virtual reality simulation*. Herz, 2011. **36**(5): p. 430-5.
4. Randy S. Haluck, M.T.M.K., MD, *Computers and Virtual Reality for Surgical Education in the 21st Century*. Arch Surg. 2000;135:786-792.
5. Green, S.M., et al., *The current state of medical simulation in interventional cardiology: a clinical document from the Society for Cardiovascular Angiography and Intervention's (SCAI) Simulation Committee*. Catheter Cardiovasc Interv, 2014. **83**(1): p. 37-46.
6. Gallagher, A.G. and C.U. Cates, *Virtual reality training for the operating room and cardiac catheterisation laboratory*. The Lancet, 2004. **364**(9444): p. 1538-1540.
7. *Flyer ANGIO Mentor von Simbionix*. Available from:  
<http://www.simbionix.com/wp-content/uploads/2011/01/ANGIOMentorBrochure02-04-2012-WEB.pdf>.
8. *Flyer VIST von Mentice* Available from:  
<http://www.mentice.com/wp-content/uploads/2012/10/Mentice-A4-ver1202-lowres.pdf>.
9. *Flyer Cath Lab VR*. Available from:  
<http://caehealthcare.com/home//images/uploads/brochures/CathLab.pdf>.
10. *Flyer CoroSim von Mecora*. Available from:  
<http://www.mecora.de/pdf/Flyer-CoroSim-de.pdf>.
11. Hays, R.T., et al., *Flight Simulator Training Effectiveness: A Meta-Analysis*. Military Psychology, 1992. **4**(2): p. 63-74.
12. Neequaye, S.K., et al., *Endovascular skills training and assessment*. J Vasc Surg, 2007. **46**(5): p. 1055-64.

13. Khalifa, Y.M., et al., *Virtual reality in ophthalmology training*. *Surv Ophthalmol*, 2006. **51**(3): p. 259-73.
14. Aggarwal, R., et al., *Proving the effectiveness of virtual reality simulation for training in laparoscopic surgery*. *Ann Surg*, 2007. **246**(5): p. 771-9.
15. Seymour, N.E., et al., *Virtual reality training improves operating room performance: results of a randomized, double-blinded study*. *Ann Surg*, 2002. **236**(4): p. 458-63; discussion 463-4.
16. A. G. Gallagher, N.M., J. McGuigan, I. Crothers, J. Browning, *Virtual Reality Training in Laparoscopic Surgery: A Preliminary Assessment of Minimally Invasive Surgical Trainer Virtual Reality (MIST VR)*. 1999.
17. Gaba, D.M. and A. DeAnda, *The response of anesthesia trainees to simulated critical incidents*. *Anesth Analg*, 1989. **68**(4): p. 444-51.
18. Howard, S.K., et al., *Anesthesia crisis resource management training: teaching anesthesiologists to handle critical incidents*. *Aviat Space Environ Med*, 1992. **63**(9): p. 763-70.
19. Patel, A.D., et al., *Learning curves and reliability measures for virtual reality simulation in the performance assessment of carotid angiography*. *J Am Coll Cardiol*, 2006. **47**(9): p. 1796-802.
20. Hsu, J.H., et al., *Use of computer simulation for determining endovascular skill levels in a carotid stenting model*. *J Vasc Surg*, 2004. **40**(6): p. 1118-25.
21. Dayal, R., et al., *Computer simulation as a component of catheter-based training*. *Journal of vascular surgery : official publication, the Society for Vascular Surgery [and] International Society for Cardiovascular Surgery, North American Chapter*, 2004. **40**(6): p. 1112-1117.
22. Backhaus, B., *Können mit virtual-reality-Simulationstraining die manuellen Fertigkeiten Interventioneller Kardiologen verbessert werden? Eine stratifiziert randomisierte Studie*, in *Medizinischen Klinik und Poliklinik I der Universität Würzburg* 2011.
23. Berry, M., et al., *Porcine transfer study: virtual reality simulator training compared with porcine training in endovascular novices*. *Cardiovasc Intervent Radiol*, 2007. **30**(3): p. 455-61.

24. Chaer, R.A., et al., *Simulation improves resident performance in catheter-based intervention: results of a randomized, controlled study*. Ann Surg, 2006. **244**(3): p. 343-52.
25. Van Herzele, I., et al., *Cognitive training improves clinically relevant outcomes during simulated endovascular procedures*. J Vasc Surg, 2008. **48**(5): p. 1223-30, 1230 e1.
26. De Ponti, R., et al., *Superiority of simulator-based training compared with conventional training methodologies in the performance of transseptal catheterization*. J Am Coll Cardiol, 2011. **58**(4): p. 359-63.
27. De Ponti, R., et al., *Simulator training reduces radiation exposure and improves trainees' performance in placing electrophysiologic catheters during patient-based procedures*. Heart Rhythm, 2012. **9**(8): p. 1280-5.
28. Aggarwal, R., et al., *Virtual reality simulation training can improve inexperienced surgeons' endovascular skills*. Eur J Vasc Endovasc Surg, 2006. **31**(6): p. 588-93.
29. Bagai, A., et al., *Mentored simulation training improves procedural skills in cardiac catheterization: a randomized, controlled pilot study*. Circ Cardiovasc Interv, 2012. **5**(5): p. 672-9.
30. Jensen, U.J., et al., *Technical skills assessment in a coronary angiography simulator for construct validation*. Simul Healthc, 2013. **8**(5): p. 324-8.
31. Akshay Bagai, S.O.B., Hatim Al Lawati, Prateek Goyal, Warren Ball, Teodor Grantcharov and Neil Fam, *Mentored Simulation Training Improves Procedural Skills in Cardiac Catheterization: A Randomized, Controlled Pilot Study*. Circulation: Cardiovascular Interventions, 2012.
32. *Validation studies - Mentice*.
33. Van Herzele, I., et al., *Validation of video-based skill assessment in carotid artery stenting*. Eur J Vasc Endovasc Surg, 2009. **38**(1): p. 1-9.
34. Dawson, D.L., et al., *Training with simulation improves residents' endovascular procedure skills*. J Vasc Surg, 2007. **45**(1): p. 149-54.

35. Gallagher, A.G., et al., *Development and construct validation of performance metrics for multivessel coronary interventions on the VIST virtual reality simulator at PCR2005*. EuroIntervention, 2006. **2**(1): p. 101-6.
36. Lipner, R.S., et al., *A technical and cognitive skills evaluation of performance in interventional cardiology procedures using medical simulation*. Simul Healthc, 2010. **5**(2): p. 65-74.
37. Coburger, J., *Evaluierung des PCI-Simulators Cathl*. 2006.
38. AGIK, A.S.d., *Qualitätskriterien und Inhalte für DGK-Simulationskurse in der invasiven/interventionellen Kardiologie*.

## 7. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Studienablauf .....	3
Abbildung 2: Mentice VIST-C.....	6
Abbildung 3: ANGIO Mentor Express .....	7
Abbildung 4: Cath Lab VR .....	7
Abbildung 5: CoroSim von Mecora® .....	8
Abbildung 6: Röntgenaufnahme des CoroSim .....	9
Abbildung 7: Aufbau des CoroSim im Herzkatheterlabor .....	10
Abbildung 8: Simultane Videodokumentation des Angiographiebildes und des Katheterhandlings des Probanden .....	11
Abbildung 9: Box-Whisker-Plot .....	16
Abbildung 10: Skills Scores im Vergleich .....	46
Abbildung 11: Vergleich der Probanden in Hinblick auf die Leistungsverbesserung.....	51

## 8. Anhang

### Benötigte Menge Kontrastmittel

#### Zwischensubjektfaktoren

		N
Gruppe	Simulationsgruppe	9
	Kontrollgruppe	9

#### Tests der Zwischensubjekteffekte

Abhängige Variable: change

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.
Korrigiertes Modell	12375,567 <sup>a</sup>	2	6187,784	3,725	,049
Konstanter Term	12041,544	1	12041,544	7,248	,017
Präevaluation	10712,845	1	10712,845	6,449	,023
Gruppe	32,149	1	32,149	,019	,891
Fehler	24918,933	15	1661,262		
Gesamt	38919,000	18			
Korrigierte Gesamtvariation	37294,500	17			

a. R-Quadrat = ,332 (korrigiertes R-Quadrat = ,243)

#### 2. Gruppe

Abhängige Variable: change

Gruppe	Mittelwert	Standardfehler	95%-Konfidenzintervall	
			Untergrenze	Obergrenze
Kontrollgruppe	8,032 <sup>a</sup>	14,269	-22,383	38,447
Simulationsgruppe	10,968 <sup>a</sup>	14,269	-19,447	41,383

a. Die Kovariaten im Modell werden anhand der folgenden Werte berechnet:  
Präevaluation = 161,7778.

Gruppe	Präevaluation	Postevaluation	Veränderung von Prä- zu Postevaluation
Simulationsgruppe	189	135	-54
Simulationsgruppe	225	172	-53
Simulationsgruppe	225	203	-22
Simulationsgruppe	154	270	116
Simulationsgruppe	173	164	-9
Simulationsgruppe	138	106	-32
Simulationsgruppe	152	153	1
Simulationsgruppe	241	218	-23
Simulationsgruppe	104	179	75
Kontrollgruppe	132	121	-11
Kontrollgruppe	149	146	-3
Kontrollgruppe	116	146	30
Kontrollgruppe	152	129	-23
Kontrollgruppe	209	198	-11
Kontrollgruppe	128	153	25
Kontrollgruppe	145	182	37
Kontrollgruppe	128	200	72
Kontrollgruppe	152	208	56



## Zeit benötigt für die Intervention

### Zwischensubjektfaktoren

		N
Gruppe	Simulationsgruppe	9
	Kontrollgruppe	9

### Tests der Zwischensubjekteffekte

Abhängige Variable: change

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadratrate	F	Sig.
Korrigiertes Modell	222,428 <sup>a</sup>	2	111,214	11,382	,001
Konstanter Term	119,787	1	119,787	12,259	,003
Präevaluation	110,378	1	110,378	11,296	,004
Gruppe	16,306	1	16,306	1,669	,216
Fehler	146,570	15	9,771		
Gesamt	382,021	18			
Korrigierte Gesamtvariation	368,998	17			

a. R-Quadrat = ,603 (korrigiertes R-Quadrat = ,550)

### 2. Gruppe

Abhängige Variable: change

Gruppe	Mittelwert	Standardfehler	95%-Konfidenzintervall	
			Untergrenze	Obergrenze
Kontrollgruppe	1,944 <sup>a</sup>	1,122	-,448	4,336
Simulationsgruppe	-,243 <sup>a</sup>	1,122	-2,635	2,149

a. Die Kovariaten im Modell werden anhand der folgenden Werte berechnet:  
Präevaluation = 19,3089.

Gruppe	Präevaluation	Postevaluation	Veränderung von Prä- zu Postevaluation
Simulationsgruppe	25,00	21,50	-3,50
Simulationsgruppe	19,80	19,07	-0,73
Simulationsgruppe	25,00	22,80	-2,20
Simulationsgruppe	18,67	19,50	0,83
Simulationsgruppe	19,17	17,17	-2,00
Simulationsgruppe	13,90	19,33	5,43
Simulationsgruppe	23,25	16,00	-7,25
Simulationsgruppe	23,75	17,25	-6,50
Simulationsgruppe	21,00	22,12	1,12
Kontrollgruppe	14,33	19,25	4,92
Kontrollgruppe	19,17	14,50	-4,67
Kontrollgruppe	20,33	21,30	0,97
Kontrollgruppe	18,00	25,00	7,00
Kontrollgruppe	17,00	17,75	0,75
Kontrollgruppe	14,50	18,58	4,08
Kontrollgruppe	16,00	24,75	8,75
Kontrollgruppe	15,62	22,00	6,38
Kontrollgruppe	23,07	25,00	1,93

## Durchleuchtungszeit

### Zwischensubjekt faktoren

		N
Gruppe	Simulationsgruppe	9
	Kontrollgruppe	9

### Tests der Zwischensubjekteffekte

Abhängige Variable: change

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadratrate	F	Sig.
Korrigiertes Modell	42,271 <sup>a</sup>	2	21,136	4,964	,022
Konstanter Term	83,941	1	83,941	19,713	,000
Präevaluation	29,469	1	29,469	6,921	,019
Gruppe	,471	1	,471	,111	,744
Fehler	63,871	15	4,258		
Gesamt	211,074	18			
Korrigierte Gesamtvariation	106,143	17			

a. R-Quadrat = ,398 (korrigiertes R-Quadrat = ,318)

### 2. Gruppe

Abhängige Variable: change

Gruppe	Mittelwert	Standardfehler	95%-Konfidenzintervall	
			Untergrenze	Obergrenze
Kontrollgruppe	2,597 <sup>a</sup>	,732	1,036	4,157
Simulationsgruppe	2,232 <sup>a</sup>	,732	,671	3,793

a. Die Kovariaten im Modell werden anhand der folgenden Werte berechnet:

Präevaluation = 3,6850.

Gruppe	Präevaluation	Postevaluation	Veränderung von Prä- zu Postevaluation
Simulationsgruppe	4,48	3,18	-1,30
Simulationsgruppe	1,68	6,40	4,72
Simulationsgruppe	7,33	10,08	2,75
Simulationsgruppe	5,40	5,85	0,45
Simulationsgruppe	1,33	5,30	3,97
Simulationsgruppe	2,58	6,50	3,92
Simulationsgruppe	4,90	4,18	-0,72
Simulationsgruppe	5,55	7,10	1,55
Simulationsgruppe	7,65	6,45	-1,20
Kontrollgruppe	3,33	6,00	2,67
Kontrollgruppe	1,33	4,50	3,17
Kontrollgruppe	3,62	4,85	1,23
Kontrollgruppe	1,72	11,13	9,41
Kontrollgruppe	3,55	5,83	2,28
Kontrollgruppe	1,85	4,78	2,93
Kontrollgruppe	2,58	6,07	3,49
Kontrollgruppe	3,17	4,22	1,05
Kontrollgruppe	4,28	7,37	3,09

## Flächendosisprodukt

### Zwischensubjektfaktoren

		N
Gruppe	Simulationsgruppe	9
	Kontrollgruppe	8

### Tests der Zwischensubjekteffekte

Abhängige Variable: change

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadratrate	F	Sig.
Korrigiertes Modell	110851103,442 <sup>a</sup>	2	55425551,721	32,817	,000
Konstanter Term	65252118,174	1	65252118,174	38,635	,000
Präevaluation	104100441,678	1	104100441,678	61,637	,000
Gruppe	2932836,106	1	2932836,106	1,737	,209
Fehler	23644902,322	14	1688921,594		
Gesamt	134511186,000	17			
Korrigierte Gesamtvariation	134496005,765	16			

a. R-Quadrat = ,824 (korrigiertes R-Quadrat = ,799)

### 2. Gruppe

Abhängige Variable: change

Gruppe	Mittelwert	Standardfehler	95%-Konfidenzintervall	
			Untergrenze	Obergrenze
Kontrollgruppe	-510,818 <sup>a</sup>	482,230	-1545,099	523,462
Simulationsgruppe	397,616 <sup>a</sup>	452,317	-572,508	1367,740

a. Die Kovariaten im Modell werden anhand der folgenden Werte berechnet:  
Präevaluation = 3029,8824.

Gruppe	Präevaluation	Postevaluation	Veränderung von Prä- zu Postevaluation
Simulationsgruppe	3101	5169	2068,00
Simulationsgruppe	11557	1827	-9730,00
Simulationsgruppe	1412	2531	1119,00
Simulationsgruppe	2816	4907	2091,00
Simulationsgruppe	3973	3328	-645,00
Simulationsgruppe	817	3166	2349,00
Simulationsgruppe	5139	3907	-1232,00
Simulationsgruppe	5155	3070	-2085,00
Simulationsgruppe	1852	2301	449,00
Kontrollgruppe	1068	1520	452,00
Kontrollgruppe	3973	2169	-1804,00
Kontrollgruppe	1634	2444	810,00
Kontrollgruppe	2614	5841	3227,00
Kontrollgruppe	1251	1591	340,00
Kontrollgruppe	2356	2143	-213,00
Kontrollgruppe	1319	1914	595,00
Kontrollgruppe	1471	3172	1701,00
Kontrollgruppe		612	

## Risikobewusste Katheterführung

### Zwischensubjektfaktoren

		N
Gruppe	Simulationsgruppe	9
	Kontrollgruppe	9

### Tests der Zwischensubjekteffekte

Abhängige Variable: change

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.
Korrigiertes Modell	11,523 <sup>a</sup>	2	5,762	2,404	,124
Konstanter Term	12,839	1	12,839	5,358	,035
Präevaluation	11,518	1	11,518	4,806	,045
Gruppe	,255	1	,255	,106	,749
Fehler	35,946	15	2,396		
Gesamt	48,869	18			
Korrigierte Gesamtvariation	47,469	17			

a. R-Quadrat = ,243 (korrigiertes R-Quadrat = ,142)

### 2. Gruppe

Abhängige Variable: change

Gruppe	Mittelwert	Standardfehler	95%-Konfidenzintervall	
			Untergrenze	Obergrenze
Simulationsgruppe	,400 <sup>a</sup>	,520	-,708	1,508
Kontrollgruppe	,158 <sup>a</sup>	,520	-,950	1,266

a. Die Kovariaten im Modell werden anhand der folgenden Werte berechnet:  
Präevaluation = 2,6850.

Gruppe	Präevaluation	Postevaluation	Veränderung von Prä- zu	
			Postevaluation	
Simulationsgruppe	4,67	4,33		<b>-0,33</b>
Simulationsgruppe	1,33	1,00		<b>-0,33</b>
Simulationsgruppe	1,33	3,00		<b>1,67</b>
Simulationsgruppe	3,00	4,67		<b>1,67</b>
Simulationsgruppe	3,00	4,00		<b>1,00</b>
Simulationsgruppe	3,67	1,00		<b>-2,67</b>
Simulationsgruppe	3,00	4,67		<b>1,67</b>
Simulationsgruppe	1,00	1,00		<b>0,00</b>
Simulationsgruppe	5,00	4,67		<b>-0,33</b>
Kontrollgruppe	1,33	4,00		<b>2,67</b>
Kontrollgruppe	2,00	3,00		<b>1,00</b>
Kontrollgruppe	2,33	4,00		<b>1,67</b>
Kontrollgruppe	2,00	1,00		<b>-1,00</b>
Kontrollgruppe	3,00	1,00		<b>-2,00</b>
Kontrollgruppe	3,67	1,00		<b>-2,67</b>
Kontrollgruppe	3,00	3,00		<b>0,00</b>
Kontrollgruppe	4,00	4,00		<b>0,00</b>
Kontrollgruppe	1,00	4,00		<b>3,00</b>

## Positionierung im Ostium in koaxialer Lage

### Zwischensubjektfaktoren

		N
Gruppe	Simulationsgruppe	9
	Kontrollgruppe	9

### Tests der Zwischensubjekteffekte

Abhängige Variable: change

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrat	F	Sig.
Korrigiertes Modell	4,049 <sup>a</sup>	2	2,025	1,374	,283
Konstanter Term	3,370	1	3,370	2,287	,151
Präevaluation	3,893	1	3,893	2,642	,125
Gruppe	,050	1	,050	,034	,856
Fehler	22,104	15	1,474		
Gesamt	26,307	18			
Korrigierte Gesamtvariation	26,154	17			

a. R-Quadrat = ,155 (korrigiertes R-Quadrat = ,042)

### 2. Gruppe

Abhängige Variable: change

Gruppe	Mittelwert	Standardfehler	95%-Konfidenzintervall	
			Untergrenze	Obergrenze
Simulationsgruppe	-,145 <sup>a</sup>	,405	-1,009	,719
Kontrollgruppe	-,039 <sup>a</sup>	,405	-,903	,825

a. Die Kovariaten im Modell werden anhand der folgenden Werte berechnet:  
Präevaluation = 3,7772.

Gruppe	Präevaluation	Postevaluation	Veränderung von Prä- zu Post- evaluation
Simulationsgruppe	4,33	4,67	<b>0,33</b>
Simulationsgruppe	4,00	1,00	<b>-3,00</b>
Simulationsgruppe	3,00	4,33	<b>1,33</b>
Simulationsgruppe	3,67	4,00	<b>0,33</b>
Simulationsgruppe	4,00	3,67	<b>-0,33</b>
Simulationsgruppe	3,00	3,00	<b>0,00</b>
Simulationsgruppe	3,00	5,00	<b>2,00</b>
Simulationsgruppe	5,00	3,00	<b>-2,00</b>
Simulationsgruppe	4,67	4,33	<b>-0,33</b>
Kontrollgruppe	3,33	5,00	<b>1,67</b>
Kontrollgruppe	4,00	4,00	<b>0,00</b>
Kontrollgruppe	3,00	3,33	<b>0,33</b>
Kontrollgruppe	4,33	3,00	<b>-1,33</b>
Kontrollgruppe	4,33	3,00	<b>-1,33</b>
Kontrollgruppe	4,00	4,33	<b>0,33</b>
Kontrollgruppe	4,00	4,67	<b>0,67</b>
Kontrollgruppe	5,00	5,00	<b>0,00</b>
Kontrollgruppe	1,33	1,00	<b>-0,33</b>

## Technik der Präparation der Drahtspitze

### Zwischensubjektfaktoren

		N
Gruppe	Simulationsgruppe	8
	Kontrollgruppe	8

### Tests der Zwischensubjekteffekte

Abhängige Variable: change

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrat	F	Sig.
Korrigiertes Modell	27,829 <sup>a</sup>	2	13,914	18,104	,000
Konstanter Term	28,684	1	28,684	37,322	,000
Präevaluation	26,657	1	26,657	34,684	,000
Gruppe	,005	1	,005	,007	,936
Fehler	9,991	13	,769		
Gesamt	40,340	16			
Korrigierte Gesamtvariation	37,820	15			

a. R-Quadrat = ,736 (korrigiertes R-Quadrat = ,695)

### 2. Gruppe

Abhängige Variable: change

Gruppe	Mittelwert	Standardfehler	95%-Konfidenzintervall	
			Untergrenze	Obergrenze
Simulationsgruppe	,415 <sup>a</sup>	,313	-,261	1,091
Kontrollgruppe	,379 <sup>a</sup>	,313	-,297	1,055

a. Die Kovariaten im Modell werden anhand der folgenden Werte berechnet:  
Präevaluation = 3,0212.

Gruppe	Präevaluation	Postevaluation	Veränderung von Prä- zu Postevaluation
Simulationsgruppe	4,67	3,67	-1,00
Simulationsgruppe	1,00	2,33	1,33
Simulationsgruppe	1,67	1,67	0,00
Simulationsgruppe	3,00	3,67	0,67
Simulationsgruppe	3,00	4,00	1,00
Simulationsgruppe	4,67	3,33	-1,33
Simulationsgruppe	3,00	4,00	1,00
Simulationsgruppe	1,00	4,67	3,67
Simulationsgruppe		4,00	
Kontrollgruppe	4,00	2,67	-1,33
Kontrollgruppe	3,33	3,00	-0,33
Kontrollgruppe	3,67	3,00	-0,67
Kontrollgruppe	1,00	3,00	2,00
Kontrollgruppe	4,00	4,67	0,67
Kontrollgruppe	4,33	4,00	-0,33
Kontrollgruppe		3,67	
Kontrollgruppe	5,00	3,00	-2,00
Kontrollgruppe	1,00	4,00	3,00

## Manipulation/Steuerung des Drahtes

### Zwischensubjektfaktoren

		N
Gruppe	Simulationsgruppe	9
	Kontrollgruppe	9

### Tests der Zwischensubjekteffekte

Abhängige Variable: change

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrat	F	Sig.
Korrigiertes Modell	7,415 <sup>a</sup>	2	3,707	1,996	,170
Konstanter Term	3,393	1	3,393	1,827	,197
Präevaluation	5,818	1	5,818	3,133	,097
Gruppe	,999	1	,999	,538	,475
Fehler	27,858	15	1,857		
Gesamt	36,489	18			
Korrigierte Gesamtvariation	35,272	17			

a. R-Quadrat = ,210 (korrigiertes R-Quadrat = ,105)

### 2. Gruppe

Abhängige Variable: change

Gruppe	Mittelwert	Standardfehler	95%-Konfidenzintervall	
			Untergrenze	Obergrenze
Simulationsgruppe	,592 <sup>a</sup>	,194	,178	1,006
Kontrollgruppe	,112 <sup>a</sup>	,194	-,302	,526

a. Die Kovariaten im Modell werden anhand der folgenden Werte berechnet:  
Präevaluation = 4,1856.

Gruppe	Präevaluation	Postevaluation	Veränderung von Prä- zu Postevaluation
Simulationsgruppe	3,00	5,00	2,00
Simulationsgruppe	1,00	1,00	0,00
Simulationsgruppe	1,33	1,00	-0,33
Simulationsgruppe	3,67	4,33	0,67
Simulationsgruppe	3,00	3,33	0,33
Simulationsgruppe	4,67	3,67	-1,00
Simulationsgruppe	5,00	2,00	-3,00
Simulationsgruppe	1,00	3,67	2,67
Simulationsgruppe	4,00	3,00	-1,00
Kontrollgruppe	1,67	1,00	-0,67
Kontrollgruppe	3,00	4,00	1,00
Kontrollgruppe	4,67	4,67	0,00
Kontrollgruppe	2,00	1,33	-0,67
Kontrollgruppe	3,67	4,00	0,33
Kontrollgruppe	4,00	1,33	-2,67
Kontrollgruppe	3,00	2,33	-0,67
Kontrollgruppe	4,00	4,33	0,33
Kontrollgruppe	3,00	1,00	-2,00

## Position des Koronardrahtes nach Passage der Stenose/Vor Ballon

### Zwischensubjektfaktoren

		N
Gruppe	Simulationsgruppe	9
	Kontrollgruppe	9

### Tests der Zwischensubjekteffekte

Abhängige Variable: change

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadratrate	F	Sig.
Korrigiertes Modell	22,661 <sup>a</sup>	2	11,331	34,193	,000
Konstanter Term	20,829	1	20,829	62,857	,000
Präevaluation	18,788	1	18,788	56,696	,000
Gruppe	,989	1	,989	2,985	,105
Fehler	4,971	15	,331		
Gesamt	29,858	18			
Korrigierte Gesamtvariation	27,632	17			

a. R-Quadrat = ,820 (korrigiertes R-Quadrat = ,796)

### 2. Gruppe

Abhängige Variable: change

Gruppe	Mittelwert	Standardfehler	95%-Konfidenzintervall	
			Untergrenze	Obergrenze
Simulationsgruppe	,592 <sup>a</sup>	,194	,178	1,006
Kontrollgruppe	,112 <sup>a</sup>	,194	-,302	,526

a. Die Kovariaten im Modell werden anhand der folgenden Werte berechnet:  
Präevaluation = 4,1856.

Gruppe	Präevaluation	Postevaluation	Veränderung von Prä- zu Postevaluation
Simulationsgruppe	4,00	5,00	1,00
Simulationsgruppe	5,00	4,67	-0,33
Simulationsgruppe	3,00	4,00	1,00
Simulationsgruppe	5,00	5,00	0,00
Simulationsgruppe	4,67	5,00	0,33
Simulationsgruppe	3,00	4,67	1,67
Simulationsgruppe	5,00	4,67	-0,33
Simulationsgruppe	1,00	5,00	4,00
Simulationsgruppe	5,00	5,00	0,00
Kontrollgruppe	3,33	4,67	1,33
Kontrollgruppe	4,33	4,33	0,00
Kontrollgruppe	4,67	5,00	0,33
Kontrollgruppe	5,00	2,67	-2,33
Kontrollgruppe	5,00	4,00	-1,00
Kontrollgruppe	4,00	4,33	0,33
Kontrollgruppe	5,00	4,67	-0,33
Kontrollgruppe	3,67	4,00	0,33
Kontrollgruppe	4,67	5,00	0,33



## Position des Koronardrahtes nach Einbringung des Ballons

### Zwischensubjektfaktoren

		N
Gruppe	Simulationsgruppe	9
	Kontrollgruppe	9

### Tests der Zwischensubjekteffekte

Abhängige Variable: change

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrat	F	Sig.
Korrigiertes Modell	34,486 <sup>a</sup>	2	17,243	11,944	,001
Konstanter Term	29,880	1	29,880	20,698	,000
Präevaluation	32,029	1	32,029	22,187	,000
Gruppe	13,575	1	13,575	9,404	,008
Fehler	21,654	15	1,444		
Gesamt	56,238	18			
Korrigierte Gesamtvariation	56,140	17			

a. R-Quadrat = ,614 (korrigiertes R-Quadrat = ,563)

### 2. Gruppe

Abhängige Variable: change

Gruppe	Mittelwert	Standardfehler	95%-Konfidenzintervall	
			Untergrenze	Obergrenze
Simulationsgruppe	1,020 <sup>a</sup>	,419	,127	1,913
Kontrollgruppe	-,872 <sup>a</sup>	,419	-1,765	,020

a. Die Kovariaten im Modell werden anhand der folgenden Werte berechnet:  
Präevaluation = 3,4633.

Gruppe	Präevaluation	Postevaluation	Veränderung von Prä- zu Postevaluation
Simulationsgruppe	4,67	5,00	0,33
Simulationsgruppe	2,67	4,00	1,33
Simulationsgruppe	4,00	4,00	0,00
Simulationsgruppe	4,00	4,00	0,00
Simulationsgruppe	4,67	3,00	-1,67
Simulationsgruppe	4,67	4,67	0,00
Simulationsgruppe	4,33	5,00	0,67
Simulationsgruppe	1,67	5,00	3,33
Simulationsgruppe	5,00	5,00	0,00
Kontrollgruppe	3,33	2,67	-0,67
Kontrollgruppe	3,00	3,67	0,67
Kontrollgruppe	2,33	2,00	-0,33
Kontrollgruppe	5,00	2,67	-2,33
Kontrollgruppe	3,00	5,00	2,00
Kontrollgruppe	4,00	1,33	-2,67
Kontrollgruppe	1,00	4,67	3,67
Kontrollgruppe	4,00	1,00	-3,00
Kontrollgruppe	1,00	1,00	0,00

## Ballondiameter

### Zwischensubjektfaktoren

		N
Gruppe	Simulationsgruppe	9
	Kontrollgruppe	8

### Tests der Zwischensubjekteffekte

Abhängige Variable: change

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrat	F	Sig.
Korrigiertes Modell	8,563 <sup>a</sup>	2	4,281	17,722	,000
Konstanter Term	8,407	1	8,407	34,800	,000
Präevaluation	8,269	1	8,269	34,227	,000
Gruppe	,365	1	,365	1,510	,239
Fehler	3,382	14	,242		
Gesamt	12,109	17			
Korrigierte Gesamtvariation	11,945	16			

a. R-Quadrat = ,717 (korrigiertes R-Quadrat = ,676)

### 2. Gruppe

Abhängige Variable: change

Gruppe	Mittelwert	Standardfehler	95%-Konfidenzintervall	
			Untergrenze	Obergrenze
Simulationsgruppe	,236 <sup>a</sup>	,164	-,115	,588
Kontrollgruppe	-,057 <sup>a</sup>	,174	-,430	,316

a. Die Kovariaten im Modell werden anhand der folgenden Werte berechnet:  
Präevaluation = 4,7647.

Gruppe	Präevaluation	Postevaluation	Veränderung von Prä- zu Postevaluation
Simulationsgruppe	5,00	5,00	0,00
Simulationsgruppe	3,00	5,00	2,00
Simulationsgruppe	5,00	5,00	0,00
Simulationsgruppe	5,00	5,00	0,00
Simulationsgruppe	5,00	5,00	0,00
Simulationsgruppe	5,00	5,00	0,00
Simulationsgruppe	5,00	5,00	0,00
Simulationsgruppe	5,00	5,00	0,00
Simulationsgruppe	5,00	5,00	0,00
Simulationsgruppe	5,00	5,00	0,00
Kontrollgruppe	5,00	4,67	-0,33
Kontrollgruppe	5,00	5,00	0,00
Kontrollgruppe		3,00	
Kontrollgruppe	5,00	5,00	0,00
Kontrollgruppe	3,00	5,00	2,00
Kontrollgruppe	5,00	5,00	0,00
Kontrollgruppe	5,00	3,00	-2,00
Kontrollgruppe	5,00	5,00	0,00
Kontrollgruppe	5,00	5,00	0,00

## Ballonlänge

### Zwischensubjektfaktoren

		N
Gruppe	Simulationsgruppe	9
	Kontrollgruppe	8

### Tests der Zwischensubjekteffekte

Abhängige Variable: change

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrat	F	Sig.
Korrigiertes Modell	56,876 <sup>a</sup>	2	28,438	23,574	,000
Konstanter Term	48,257	1	48,257	40,003	,000
Präevaluation	55,986	1	55,986	46,411	,000
Gruppe	3,626	1	3,626	3,006	,105
Fehler	16,889	14	1,206		
Gesamt	74,000	17			
Korrigierte Gesamtvariation	73,765	16			

a. R-Quadrat = ,771 (korrigiertes R-Quadrat = ,738)

### 2. Gruppe

Abhängige Variable: change

Gruppe	Mittelwert	Standardfehler	95%-Konfidenzintervall	
			Untergrenze	Obergrenze
Simulationstraining	-,557 <sup>a</sup>	,368	-1,345	,232
theoretisches Training	,376 <sup>a</sup>	,390	-,460	1,213

a. Die Kovariaten im Modell werden anhand der folgenden Werte berechnet: prae = 4,0588.

Gruppe	Präevaluation	Postevaluation	Veränderung von Prä- zu Postevaluation
Simulationsgruppe	5,00	1,00	-4,00
Simulationsgruppe	5,00	5,00	0,00
Simulationsgruppe	1,00	5,00	4,00
Simulationsgruppe	5,00	3,00	-2,00
Simulationsgruppe	1,00	5,00	4,00
Simulationsgruppe	3,00	4,00	1,00
Simulationsgruppe	5,00	3,00	-2,00
Simulationsgruppe	5,00	3,00	-2,00
Simulationsgruppe	5,00	3,00	-2,00
Kontrollgruppe	5,00	5,00	0,00
Kontrollgruppe	3,00	3,00	0,00
Kontrollgruppe		1,00	
Kontrollgruppe	5,00	3,00	-2,00
Kontrollgruppe	3,00	5,00	2,00
Kontrollgruppe	3,00	4,00	1,00
Kontrollgruppe	5,00	5,00	0,00
Kontrollgruppe	5,00	5,00	0,00
Kontrollgruppe	5,00	5,00	0,00

## Ballonplatzierung

### Zwischensubjektfaktoren

		N
Gruppe	Simulationsgruppe	9
	Kontrollgruppe	8

### Tests der Zwischensubjekteffekte

Abhängige Variable: change

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrat	F	Sig.
Korrigiertes Modell	6,631 <sup>a</sup>	2	3,316	10,507	,002
Konstanter Term	4,677	1	4,677	14,821	,002
Präevaluation	5,097	1	5,097	16,153	,001
Gruppe	,756	1	,756	2,394	,144
Fehler	4,418	14	,316		
Gesamt	11,211	17			
Korrigierte Gesamtvariation	11,049	16			

a. R-Quadrat = ,600 (korrigiertes R-Quadrat = ,543)

### 2. Gruppe

Abhängige Variable: change

Gruppe	Mittelwert	Standardfehler	95%-Konfidenzintervall	
			Untergrenze	Obergrenze
Simulationsgruppe	,104 <sup>a</sup>	,188	-,300	,508
Kontrollgruppe	-,324 <sup>a</sup>	,200	-,753	,105

a. Die Kovariaten im Modell werden anhand der folgenden Werte berechnet:  
Präevaluation = 4,4712.

Gruppe	Präevaluation	Postevaluation	Veränderung von Prä- zu Postevaluation
Simulationsgruppe	4,67	5,00	0,33
Simulationsgruppe	4,00	4,00	0,00
Simulationsgruppe	4,67	4,33	-0,33
Simulationsgruppe	3,00	4,33	1,33
Simulationsgruppe	5,00	4,67	-0,33
Simulationsgruppe	5,00	5,00	0,00
Simulationsgruppe	3,00	3,67	0,67
Simulationsgruppe	5,00	5,00	0,00
Simulationsgruppe	5,00	5,00	0,00
Kontrollgruppe	3,67	4,67	1,00
Kontrollgruppe	4,00	5,00	1,00
Kontrollgruppe		2,67	
Kontrollgruppe	5,00	4,00	-1,00
Kontrollgruppe	5,00	3,00	-2,00
Kontrollgruppe	5,00	4,00	-1,00
Kontrollgruppe	5,00	4,67	-0,33
Kontrollgruppe	4,33	4,00	-0,33
Kontrollgruppe	4,67	4,00	-0,67

## Technik des Ballon/Stent Wechsels

### Zwischensubjektfaktoren

		N
Gruppe	Simulationsgruppe	9
	Kontrollgruppe	7

### Tests der Zwischensubjekteffekte

Abhängige Variable: change

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrat	F	Sig.
Korrigiertes Modell	22,927 <sup>a</sup>	2	11,464	13,598	,001
Konstanter Term	20,659	1	20,659	24,506	,000
Präevaluation	15,293	1	15,293	18,141	,001
Gruppe	4,208	1	4,208	4,992	,044
Fehler	10,959	13	,843		
Gesamt	41,449	16			
Korrigierte Gesamtvariation	33,887	15			

a. R-Quadrat = ,677 (korrigiertes R-Quadrat = ,627)

### 2. Gruppe

Abhängige Variable: change

Gruppe	Mittelwert	Standardfehler	95%-Konfidenzintervall	
			Untergrenze	Obergrenze
Simulationsgruppe	1,147 <sup>a</sup>	,308	,481	1,812
Kontrollgruppe	,097 <sup>a</sup>	,350	-,659	,853

a. Die Kovariaten im Modell werden anhand der folgenden Werte berechnet: Präevaluation = 2,2292.

Gruppe	Präevaluation	Postevaluation	Veränderung von Prä- zu Postevaluation
Simulationsgruppe	3,67	4,00	0,33
Simulationsgruppe	1,00	3,67	2,67
Simulationsgruppe	1,33	3,00	1,67
Simulationsgruppe	2,00	3,00	1,00
Simulationsgruppe	3,33	3,67	0,33
Simulationsgruppe	1,00	3,00	2,00
Simulationsgruppe	3,00	4,00	1,00
Simulationsgruppe	1,00	3,00	2,00
Simulationsgruppe	2,33	3,00	0,67
Kontrollgruppe	3,67	3,33	-0,33
Kontrollgruppe	3,00	3,33	0,33
Kontrollgruppe		1,67	
Kontrollgruppe	2,00		
Kontrollgruppe	3,33	1,00	-2,33
Kontrollgruppe	2,00	1,33	-0,67
Kontrollgruppe	1,00	4,00	3,00
Kontrollgruppe	3,00	1,00	-2,00
Kontrollgruppe	1,00	2,33	1,33

## Position des Koronardrahtes nach Wechsel von Ballon auf Stent

### Zwischensubjektfaktoren

		N
Gruppe	Simulationsgruppe	9
	Kontrollgruppe	7

### Tests der Zwischensubjekteffekte

Abhängige Variable: change

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrat	F	Sig.
Korrigiertes Modell	22,255 <sup>a</sup>	2	11,127	5,716	,017
Konstanter Term	12,229	1	12,229	6,281	,026
Präevaluation	9,348	1	9,348	4,802	,047
Gruppe	9,440	1	9,440	4,849	,046
Fehler	25,309	13	1,947		
Gesamt	52,251	16			
Korrigierte Gesamtvariation	47,564	15			

a. R-Quadrat = ,468 (korrigiertes R-Quadrat = ,386)

### 2. Gruppe

Abhängige Variable: change

Gruppe	Mittelwert	Standardfehler	95%-Konfidenzintervall	
			Untergrenze	Obergrenze
Simulationsgruppe	1,227 <sup>a</sup>	,468	,217	2,237
Kontrollgruppe	-,340 <sup>a</sup>	,531	-1,488	,807

a. Die Kovariaten im Modell werden anhand der folgenden Werte berechnet: Präevaluation = 1,8544.

Gruppe	Präevaluation	Postevaluation	Veränderung von Prä- zu Postevaluation
Simulationsgruppe	1,00	5,00	4,00
Simulationsgruppe	1,00	2,00	1,00
Simulationsgruppe	1,00	2,33	1,33
Simulationsgruppe	1,00	1,33	0,33
Simulationsgruppe	3,00	4,67	1,67
Simulationsgruppe	3,00	4,00	1,00
Simulationsgruppe	2,00	5,00	3,00
Simulationsgruppe	1,00	2,00	1,00
Simulationsgruppe	2,33	1,00	-1,33
Kontrollgruppe	3,00	3,67	0,67
Kontrollgruppe	1,00	1,00	0,00
Kontrollgruppe		1,00	
Kontrollgruppe	3,33		
Kontrollgruppe	4,67	1,00	-3,67
Kontrollgruppe	1,00	1,33	0,33
Kontrollgruppe	1,00	2,00	1,00
Kontrollgruppe	2,67	1,00	-1,67
Kontrollgruppe	1,00	1,00	0,00

## Stentdiameter

### Zwischensubjektfaktoren

		N
Gruppe	Simulationsgruppe	9
	Kontrollgruppe	8

### Tests der Zwischensubjekteffekte

Abhängige Variable: change

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrat	F	Sig.
Korrigiertes Modell	44,741 <sup>a</sup>	2	22,370	8,882	,003
Konstanter Term	25,149	1	25,149	9,985	,007
Präevaluation	29,630	1	29,630	11,765	,004
Gruppe	,004	1	,004	,002	,969
Fehler	35,259	14	2,519		
Gesamt	80,000	17			
Korrigierte Gesamtvariation	80,000	16			

a. R-Quadrat = ,559 (korrigiertes R-Quadrat = ,496)

### 2. Gruppe

Abhängige Variable: change

Gruppe	Mittelwert	Standardfehler	95%-Konfidenzintervall	
			Untergrenze	Obergrenze
Simulationsgruppe	,017 <sup>a</sup>	,587	-1,241	1,276
Kontrollgruppe	-,020 <sup>a</sup>	,630	-1,370	1,331

a. Die Kovariaten im Modell werden anhand der folgenden Werte berechnet:  
Präevaluation = 3,1176.

Gruppe	Präevaluation	Postevaluation	Veränderung von Prä- zu Postevaluation
Simulationsgruppe	5,00	5,00	0,00
Simulationsgruppe	1,00	5,00	4,00
Simulationsgruppe	3,00	1,00	-2,00
Simulationsgruppe	3,00	3,00	0,00
Simulationsgruppe	1,00	3,00	2,00
Simulationsgruppe	3,00	3,00	0,00
Simulationsgruppe	3,00	1,00	-2,00
Simulationsgruppe	1,00	5,00	4,00
Simulationsgruppe	1,00	3,00	2,00
Kontrollgruppe	5,00	1,00	-4,00
Kontrollgruppe	3,00	3,00	0,00
Kontrollgruppe	5,00	5,00	0,00
Kontrollgruppe	5,00	1,00	-4,00
Kontrollgruppe	5,00	5,00	0,00
Kontrollgruppe	3,00	3,00	0,00
Kontrollgruppe	3,00	3,00	0,00
Kontrollgruppe	3,00		
Kontrollgruppe	3,00	3,00	0,00

## Stentlänge

### Zwischensubjektfaktoren

		N
Gruppe	Simulationsgruppe	9
	Kontrollgruppe	8

### Tests der Zwischensubjekteffekte

Abhängige Variable: change

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrat	F	Sig.
Korrigiertes Modell	27,149 <sup>a</sup>	2	13,574	17,901	,000
Konstanter Term	14,913	1	14,913	19,666	,001
Präevaluation	18,481	1	18,481	24,372	,000
Gruppe	1,227	1	1,227	1,618	,224
Fehler	10,616	14	,758		
Gesamt	38,000	17			
Korrigierte Gesamtvariation	37,765	16			

a. R-Quadrat = ,719 (korrigiertes R-Quadrat = ,679)

### 2. Gruppe

Abhängige Variable: change

Gruppe	Mittelwert	Standardfehler	95%-Konfidenzintervall	
			Untergrenze	Obergrenze
Simulationsgruppe	,156 <sup>a</sup>	,301	-,491	,802
Kontrollgruppe	-,425 <sup>a</sup>	,321	-1,114	,263

a. Die Kovariaten im Modell werden anhand der folgenden Werte berechnet:  
Präevaluation = 3,7059.

Gruppe	Präevaluation	Postevaluation	Veränderung von Prä- zu Postevaluation
Simulationsgruppe	3,00	5,00	2,00
Simulationsgruppe	5,00	3,00	-2,00
Simulationsgruppe	1,00	3,00	2,00
Simulationsgruppe	3,00	5,00	2,00
Simulationsgruppe	1,00	3,00	2,00
Simulationsgruppe	3,00	4,00	1,00
Simulationsgruppe	5,00	3,00	-2,00
Simulationsgruppe	3,00	3,00	0,00
Simulationsgruppe	5,00	5,00	0,00
Kontrollgruppe	3,00	3,00	0,00
Kontrollgruppe	3,00	3,00	0,00
Kontrollgruppe	5,00	3,00	-2,00
Kontrollgruppe	3,00	3,00	0,00
Kontrollgruppe	5,00	3,00	-2,00
Kontrollgruppe	5,00	4,00	-1,00
Kontrollgruppe	5,00	3,00	-2,00
Kontrollgruppe	1,00		
Kontrollgruppe	5,00	5,00	0,00



## Stentplatzierung

### Zwischensubjektfaktoren

		N
Gruppe	Simulationsgruppe	9
	Kontrollgruppe	6

### Tests der Zwischensubjekteffekte

Abhängige Variable: change

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrat	F	Sig.
Korrigiertes Modell	1,631 <sup>a</sup>	2	,816	3,419	,067
Konstanter Term	,001	1	,001	,003	,961
Präevaluation	,029	1	,029	,120	,735
Gruppe	1,616	1	1,616	6,775	,023
Fehler	2,863	12	,239		
Gesamt	5,571	15			
Korrigierte Gesamtvariation	4,494	14			

a. R-Quadrat = ,363 (korrigiertes R-Quadrat = ,257)

### 2. Gruppe

Abhängige Variable: change

Gruppe	Mittelwert	Standardfehler	95%-Konfidenzintervall	
			Untergrenze	Obergrenze
Simulationsgruppe	,000 <sup>a</sup>	,163	-,355	,355
Kontrollgruppe	-,670 <sup>a</sup>	,199	-1,105	-,236

a. Die Kovariaten im Modell werden anhand der folgenden Werte berechnet:  
Präevaluation = 4,4687.

Gruppe	Präevaluation	Postevaluation	Veränderung von Prä- zu Postevaluation
Simulationsgruppe	5,00	4,67	-0,33
Simulationsgruppe	3,67	3,00	-0,67
Simulationsgruppe	4,67	4,00	-0,67
Simulationsgruppe	4,67	5,00	0,33
Simulationsgruppe	3,67	4,67	1,00
Simulationsgruppe	5,00	5,00	0,00
Simulationsgruppe	4,00	4,00	0,00
Simulationsgruppe	5,00	5,00	0,00
Simulationsgruppe	4,67	5,00	0,33
Kontrollgruppe	4,67	4,67	0,00
Kontrollgruppe	4,00	3,00	-1,00
Kontrollgruppe	3,67	3,00	-0,67
Kontrollgruppe	2,00		
Kontrollgruppe	4,67	4,00	-0,67
Kontrollgruppe	4,67	4,00	-0,67
Kontrollgruppe	5,00	4,00	-1,00
Kontrollgruppe	4,67		
Kontrollgruppe	5,00		

## Skills Score

### Zwischensubjektfaktoren

		N
Gruppe	Simulationsgruppe	9
	Kontrollgruppe	9

### Tests der Zwischensubjekteffekte

Abhängige Variable: change

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.
Korrigiertes Modell	1009,161 <sup>a</sup>	2	504,580	13,654	,000
Konstanter Term	293,978	1	293,978	7,955	,013
Präevaluation	307,535	1	307,535	8,322	,011
Gruppe	471,800	1	471,800	12,767	,003
Fehler	554,332	15	36,955		
Gesamt	1566,925	18			
Korrigierte Gesamtvariation	1563,493	17			

a. R-Quadrat = ,645 (korrigiertes R-Quadrat = ,598)

### 2. Gruppe

Abhängige Variable: change

Gruppe	Mittelwert	Standardfehler	95%-Konfidenzintervall	
			Untergrenze	Obergrenze
Simulationsgruppe	4,825 <sup>a</sup>	2,055	,446	9,205
Kontrollgruppe	-5,699 <sup>a</sup>	2,055	-10,078	-1,319

a. Die Kovariaten im Modell werden anhand der folgenden Werte berechnet: Präevaluation = 48,7533.

Gruppe	Präevaluation	Postevaluation	Veränderung von Prä- zu Postevaluation
Simulationsgruppe	57,67	62,33	4,67
Simulationsgruppe	38,67	44,67	6,00
Simulationsgruppe	36,00	45,67	9,67
Simulationsgruppe	49,00	55,33	6,33
Simulationsgruppe	45,33	56,67	11,33
Simulationsgruppe	51,67	49,33	-2,33
Simulationsgruppe	53,33	54,00	0,67
Simulationsgruppe	36,67	53,33	16,67
Simulationsgruppe	56,75	56,00	-0,75
Kontrollgruppe	50,00	50,00	0,00
Kontrollgruppe	45,67	48,33	2,67
Kontrollgruppe	52,50	42,33	-10,17
Kontrollgruppe	49,67	29,67	-20,00
Kontrollgruppe	56,67	48,67	-8,00
Kontrollgruppe	52,67	43,00	-9,67
Kontrollgruppe	49,29	51,67	2,38
Kontrollgruppe	54,33	37,33	-17,00
Kontrollgruppe	41,67	41,33	-0,33

Dienstag: Präevaluation

Name des Probanden:



	5	4	3	2	1
<ul style="list-style-type: none"> <li>Darstellung der culprit lesion in 2 Ebenen</li> </ul>					

**Führungskatheter**

<ul style="list-style-type: none"> <li>Backup</li> </ul>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>Positionierung im Ostium in koaxialer Lage</li> </ul>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>Risikobewusste Katheterbewegungen</li> </ul>					

**Koronardraht**

<ul style="list-style-type: none"> <li>Präparation der Drahtspitze</li> </ul>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>Manipulation/Steuerung des Drahtes durch die Stenose</li> </ul>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>Vorschiebekräfte</li> </ul>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>Endposition des Drahtes</li> </ul>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>Ballon/Stent-Wechsel ohne Positionsänderung des Führungsdrahtes (mm)</li> </ul>					

**Ballon**

<ul style="list-style-type: none"> <li>Druck und Dauer bei der Dilatation (komplette Expansion)</li> </ul>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>Ballonauswahl</li> </ul>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>Ballonplatzierung</li> </ul>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>Handhabung des Insufflators</li> </ul>					

**Stent**

<ul style="list-style-type: none"> <li>Stentauswahl</li> </ul>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>Stentplatzierung</li> </ul>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>Handhabung des Insufflators</li> </ul>					

**Folgende Parameter werden vom Assistenzpersonal dokumentiert:**

<ul style="list-style-type: none"> <li>Strahlendosis (mSv)</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Zeit benötigt für Intervention (min)</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Benötigte Menge Kontrastmittel (ml)</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Durchmesser und Länge des Ballons</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Durchmesser und Länge des Stents</li> </ul>	

## **Danksagung**

Herzlich bedanken möchte ich mich zunächst bei den Probanden der Studie, die aus ganz Deutschland angereist sind und fünf Tage ihrer wertvollen Zeit geopfert haben. Auch möchte ich mich bei den Tutoren, den Supervisoren der Evaluationen und den Probanden der Konstruktvalidität bedanken: Dr. Ralf Birkemeyer, Dr. Erhard Kaiser, PD Dr. Michael Kirstein, Dr. Björn Lengenfelder, Prof. Sebastian Maier, Prof. Manfred Mauser, Prof. Holger Nef, Prof. Martin Oberhoff, PD Dr. Peter Nordbeck, Prof. Wolfgang Bauer und Prof. Frank Weidemann. Unter anderem für die Auswertung der insgesamt ca. 16 stündigen Videoaufzeichnungen gebührt besonderer Dank an Dr. Jens Petersen und meinen Vater Dr. Henning Petri. Bei Anna Kellersmann möchte ich mich herzlich bedanken für die Arbeit mit der Videotechnik. Zu guter Letzt bedanke ich mich für die tolle Betreuung bei Prof. Wolfram Voelker. Ich freue mich auf die weitere Zusammenarbeit.