

Aus dem
Dieter-Scheffner-Fachzentrum für Hochschullehre und
evidenzbasierte Ausbildungsforschung der
Charité – Universitätsmedizin Berlin

DISSERTATION

Simulation in der Notfallchirurgischen Ausbildung

Simulation in Emergency Surgery Training

zur Erlangung des akademischen Grades
Doctor medicinae (Dr. med.)

vorgelegt der Medizinischen Fakultät
Charité – Universitätsmedizin Berlin

von

Katja Schneider

aus

Mönchengladbach

Datum der Promotion: 26.06.2022

Teilergebnisse der vorliegenden Arbeit wurden veröffentlicht in: „Technische Trainingsmodelle für die notfallchirurgische Ausbildung – Bedarf, Status quo und Potenzial“ von Hauer T., Schneider K., Mayer D., Huschitt N, Lieber A, Willy C, *Unfallchirurg* 122, 452–463 (2019).

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|------------|--|-----------|
| 1. | Abbildungsverzeichnis | 4 |
| 2. | Tabellenverzeichnis | 6 |
| 3. | Abkürzungsverzeichnis | 8 |
| 4. | Abstract | 9 |
| 5. | Einleitung | 13 |
| 5.1 | Wandel des chirurgischen Ausbildungsumfelds | 13 |
| 5.2 | Ausbildung von Einsatzchirurg:innen der Bundeswehr | 17 |
| 5.3 | Simulation in der Ausbildung | 19 |
| 5.4 | Simulationsmodalitäten in der (notfall-)chirurgischen Ausbildung | 21 |
| 5.5 | Potential der bestehenden Simulationsmodalitäten | 27 |
| 5.6 | Das Vier-Ebenen-Evaluationsmodell nach Kirkpatrick | 28 |
| 5.7 | Zielsetzung der Arbeit | 29 |
| 6. | Methoden | 31 |
| 6.1 | Studienablauf | 31 |
| 6.2 | Phase I - Fokusgruppendifkussion | 31 |
| 6.3 | Phase II – Evaluation der Human Patient Simulators | 33 |
| 6.4 | Phase III – Einsatzchirurgie-Lehrgang | 35 |
| 6.5 | Datenauswertung und Statistik in Phase II und III | 40 |
| 7. | Ergebnisse | 42 |
| 7.1 | Phase I: Fokusgruppendifkussion | 42 |
| 7.2 | Phase II: Evaluation der Human Patient Simulators | 45 |
| 7.3 | Phase III: Training Einsatzchirurgie der Bundeswehr | 52 |
| 8. | Diskussion | 64 |
| 8.1 | Anforderungen und derzeitiger Einsatz | 65 |
| 8.2 | Human Patient Simulators in der Notfallchirurgischen Ausbildung | 66 |
| 8.3 | Psychische Beanspruchung während der Ausbildung | 67 |
| 8.4 | Selbstwirksamkeitserwartung und Lernerfolg | 68 |
| 8.5 | Anwendung des Vier-Ebenen-Modells nach Kirkpatrick | 70 |
| 8.6 | Limitationen | 71 |
| 8.7 | Entwicklung eines simulationsorientierten Curriculums | 72 |
| 8.8 | Ausblick | 73 |
| 8.9 | Fazit | 74 |
| 9. | Literaturverzeichnis | 76 |
| 10. | Eidesstattliche Versicherung | 85 |
| 11. | Anteilerklärung an etwaigen erfolgten Publikationen | 86 |
| 12. | Lebenslauf | 87 |
| 13. | Publikationsliste | 88 |
| 14. | Danksagung | 90 |
| 15. | Bescheinigung Statistik | 92 |

1. Abbildungsverzeichnis

- Abbildung 1: Anforderungen an Überregionale TraumaZentren der DGU aus dem Weißbuch Schwerverletztenversorgung⁷_____ **15**
- Abbildung 2: Übersicht aus einer Arbeit von Chambers et al. (2006), die die Verletzungsmuster von 417 Verwundeten innerhalb eines Jahres im Rahmen eines Einsatzes der Mission Iraqi Freedom analysierten.¹ DIS: debridement, irrigation, and splinting; DID: debridement, irrigation, and dressing_____ **15**
- Abbildung 3: Grundlegender Aufbau der Weiterbildung nach dem "DUO Plus" Konzept für chirurgische Weiterbildungsassistent:innen im Sanitätsdienst der Bundeswehr, aus der Bereichsvorschrift "Kompetenzerwerb und -erhalt der Sanitätsoffiziere Arzt Einsatzchirurgie und Sanitätsoffiziere Zahnarzt/Fachzahnarzt/Oralchirurgie"⁹. WB: Weiterbildung, FA: Facharzt, AllgChir: Allgemeinchirurgie, UnfallChir: Unfallchirurgie, ViszChir: Viszeralchirurgie, GefChir: Gefäßchirurgie, ATB EinsChir: Ausbildungs- und Tätigkeitsbezeichnung Einsatzchirurgie, RettMed: Rettungsmedizin._____ **17**
- Abbildung 4: Lern-Pyramide auf Basis der ursprünglichen Forschung der National Training Laboratories, Bethel (ME, USA), hier aufbereitet von B. Braehmer (intercessio GmbH, Bonn, 2015)³⁷ mit dem Zusatz des „see one, do one, teach one“ Credos nach Halsted¹⁵_____ **20**
- Abbildung 5: Aufbau der Thoraxwand des TraumaMan der Firma SimuLab (Seattle, WA, USA)² zur Anlage einer Thoraxdrainage_____ **21**
- Abbildung 6: Weiterentwicklung eines 3D-gedruckten Trachea-Modells aus einer Arbeit von Doucet et al. (2017)¹¹_____ **21**
- Abbildung 7: Mannequin zum Erlernen einfacher patientenbezogener Fertigkeiten, Foto: Thomas Nelson Community College Archives¹⁰ unter der Creative Commons License CC BY-NY-ND 2.0)_____ **22**
- Abbildung 8: Mannequin Ambu[®] Man zum kardiopulmonalen Reanimation im Rahmen von Erste-Hilfe-Kursen der Firma Ambu (Ballerup, Dänemark)³_____ **22**
- Abbildung 9: Der CAE Caesar[™] der Firma CAE Healthcare (Sarasota, FL, USA) zum Einsatz in der Ausbildung militärischer Rettungskräfte⁴_____ **22**
- Abbildung 10: Vergleich von zwei HC, die mit Hilfe der Thiel-Methode (links) und Formalin (rechts) konserviert wurden. Die Abbildung stammt aus einer vergleichenden Arbeit von Hunter et al. (2014)⁸_____ **23**
- Abbildung 11: Pyramidenförmige Darstellung der vier Ebenen der Auswertungsevaluation nach Kirkpatrick⁶ mit Einteilung in "formative" und "summative" Level. Quelle: Eigene Darstellung._____ **29**
- Abbildung 12: Leitfaden zur Moderation der Fokusgruppensitzung_____ **32**
- Abbildung 13: Beispielhafte Darstellung der qualitativen Inhaltsanalyse für „B: Personal Experiences with Simulation Models“. Unter B1, B2 und B3 werden Sub-Kategorien aufgelistet, die die Kategorie B weiter beschreiben. Für jede Sub-Kategorie werden die Einschlusskriterien

| | |
|---|----|
| und ein Ankerbeispiel, also ein beispielhaftes Zitat, das den Einschlusskriterien entspricht, angegeben. | 33 |
| Abbildung 14: Ablauf des regulären TEC (oben) und des in dieser Arbeit evaluierten modifizierten TEC (unten). Quelle: Eigene Darstellung. | 37 |
| Abbildung 15: Messzeitpunkte (MZP) in Relation zum Kursablauf, an denen die oben beschriebenen Fragebögen eingesetzt wurden | 38 |
| Abbildung 16: Chirurgisches Ganzkörpermodell SynDaver Surgical Model® . Die einzelnen Bestandteile wie Organe, Muskulatur und Gefäße sind austauschbar (einzelne Komponenten im Bild unten rechts). Organaufhängungen und Gewebeschichten, wie beispielsweise das Retroperitoneum, fehlen. | 50 |
| Abbildung 17: TraumaMan Surgical Abdomen®, hier SimuLab . | 50 |
| Abbildung 18: Links: Thorax- und Abdomenmodell der Fa. Operative Experience Inc. (Quelle: Eigene Aufnahme). Rechts: Kraniotomiemodell nach Setzen der Bohrlöcher und Heben der Schädelkalotte und Eröffnen der Dura zum Ausräumen eines subduralen Hämatoms. ² Dieses Modell wurde in dieser Studie nicht getestet. | 51 |
| Abbildung 19: Abdomenmodell der Firma Strategic Operations (San Diego, CA, USA). Links im Bild lassen sich die Schläuche des Pumpensystems für Kunstblut erkennen, die wenigstens teilweise eine organspezifische Blutungsdarstellung ermöglicht. Quelle: Eigene Aufnahme | 52 |
| Abbildung 20: Verteilung der Bewertung der Durchführbarkeit notfallchirurgischer Manöver am Thorax | 56 |
| Abbildung 21: Verteilung der Bewertung der Realitätsnähe notfallchirurgischer Manöver am Thorax | 56 |
| Abbildung 22: Verteilung der Bewertung der Durchführbarkeit notfallchirurgischer Manöver am Abdomen | 58 |
| Abbildung 23: Verteilung der Bewertung der Realitätsnähe notfallchirurgischer Manöver am Abdomen | 58 |
| Abbildung 25: Verteilung der Bewertung der Durchführbarkeit notfallchirurgischer Manöver am Gefäßsystem | 59 |
| Abbildung 25: Verteilung der Bewertung der Realitätsnähe notfallchirurgischer Manöver am Gefäßsystem | 59 |

2. Tabellenverzeichnis

| | | |
|-------------|--|-----------|
| Tabelle 1: | Komponenten der Ausbildung zum Einsatzchirurgen nach der Bereichsvorschrift des Sanitätsdienstes (2018) ⁹ und Willy et al (2010) ²⁰ _____ | 18 |
| Tabelle 2: | Beispielhafte Übersicht über die anatomischen Unterschiede des porcinen LTT und die Konsequenz für die notfallchirurgische Ausbildung_____ | 24 |
| Tabelle 3: | Gap Analysis zur Eignung der Ausbildungsmodalitäten für verschiedene notfallchirurgische Fertigkeiten nach Bowyer et al. ⁵ und in Teilen übernommen aus Hauer et al. ¹² _____ | 26 |
| Tabelle 4: | In die Evaluation eingeschlossene Human Patient Simulators_____ | 34 |
| Tabelle 5: | Anatomische Strukturen, Chirurgische Manöver, Organe und Gewebe, die im Rahmen der Evaluation bewertet wurden_____ | 35 |
| Tabelle 6: | In die Evaluation eingeschlossene Human Patient Simulators_____ | 36 |
| Tabelle 7: | Eingesetzte Fragebögen mit Messzeitpunkt (MZP), Schwerpunkt und Antwortformat__ | 38 |
| Tabelle 8: | Anatomische Strukturen, Chirurgische Manöver, Organe und Gewebe, die im Rahmen der Evaluation bewertet wurden._____ | 39 |
| Tabelle 9: | Identifizierbarkeit (I) und Realitätsnähe (R) ausgewählter anatomischer Strukturen. Die besten Bewertungen sind jeweils fett markiert. Leere Felder entsprechen einer nicht ausreichenden Evaluierung._____ | 46 |
| Tabelle 10: | Haptik (H) und Schnitt- und Nahtqualität (Q) von Geweben und Organen. Die besten Bewertungen sind jeweils markiert. Leere Felder entsprechen einer nicht ausreichenden Evaluierung._____ | 46 |
| Tabelle 11: | Durchführbarkeit (D) und Realitätsnähe (R) definierter notfallchirurgischer Manöver am Thorax. Die besten Bewertungen sind jeweils markiert. Leere Felder entsprechend einer nicht ausreichenden Evaluierung. Statistisch signifikante Unterschiede sind mit * bei $p < 0.05$ und ** bei $p < 0.01$ markiert._____ | 47 |
| Tabelle 12: | Durchführbarkeit (D) und Realitätsnähe (R) definierter notfallchirurgischer Manöver am Abdomen. Die besten Bewertungen sind jeweils markiert. Leere Felder entsprechen einer nicht ausreichenden Evaluierung._____ | 48 |
| Tabelle 13: | Freitext-Kommentare der Teilnehmer (bei Dopplungen zusammengefasst)_____ | 49 |
| Tabelle 14: | Freitext-Kommentare der Teilnehmer (bei Dopplungen zusammengefasst)_____ | 51 |
| Tabelle 15: | Haptik und Schnitt- und Nahtqualität der Gewebe und Organe. Statistisch signifikante Unterschiede sind mit * bei $p < 0.05$ und ** bei $p < 0.01$ markiert. _____ | 53 |
| Tabelle 16: | Freitext-Kommentare der Teilnehmer (bei Dopplungen zusammengefasst) _____ | 54 |
| Tabelle 17: | Durchführbarkeit (D) und Realitätsnähe (R) definierter notfallchirurgischer Manöver am Thorax. OpEx und StratOp stellten keine Thoraxmodelle zur Verfügung. Leere Felder entsprechen einer nicht ausreichenden Evaluierung. Statistisch signifikante Unterschiede sind mit ** bei $p < 0.01$ markiert. _____ | 54 |

| | | |
|-------------|--|-----------|
| Tabelle 18: | Durchführbarkeit (D) und Realitätsnähe (R) definierter notfallchirurgischer Manöver am Abdomen. Leere Felder entsprechen einer nicht ausreichenden Evaluierung. Statistisch signifikante Unterschiede sind mit ** bei $p < 0.01$ markiert. _____ | 56 |
| Tabelle 19: | Durchführbarkeit (D) und Realitätsnähe (R) definierter notfallchirurgischer Manöver am Gefäßsystem. Leere Felder entsprechen einer nicht ausreichenden Evaluierung. Statistisch signifikante Unterschiede sind mit ** bei $p < 0.01$ markiert. _____ | 58 |
| Tabelle 20: | Freitext-Kommentare der Teilnehmer (bei Dopplungen zusammengefasst) _____ | 60 |
| Tabelle 21: | Bewertung der psychischen Beanspruchung und des subjektiven Lernfortschritts. Statistisch signifikante Unterschiede sind mit * bei $p < 0.05$ und ** bei $p < 0.01$ markiert. _____ | 61 |
| Tabelle 22: | Subjektive Handlungssicherheit der Teilnehmer vor und nach der Teilnahme am modifizierten TEC. Statistisch signifikante Unterschiede sind mit ** bei $p < 0.01$ markiert. _____ | 62 |
| Tabelle 23: | Subjektive Einschätzung der Teilnehmer zur Handlungssicherheit bei der Versorgung einer Gefäßverletzung der A. iliaca communis. Statistisch signifikante Unterschiede sind mit * bei $p < 0.05$ und ** bei $p < 0.01$ markiert. _____ | 63 |
| Tabelle 24: | Fremdrating anhand Checkliste der definierten Operationsschritte und Global Rating Scale des OSATS-Scores (n=16) _____ | 63 |

3. Abkürzungsverzeichnis

| | |
|---------|--|
| ASSET™ | Advanced Surgical Skills for Exposure in Trauma |
| ATLS | Advanced Trauma Life Support |
| BATMIN | Berlin Acute Trauma Care Instrument Sets |
| BOPT | Berliner OP-Trainer |
| DGU | Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie e.V. |
| DSFZ | Dieter-Scheffner-Fachzentrum für Hochschullehre und evidenzbasierte Ausbildungsforschung |
| FGD | Fokusgruppendifkussion |
| HC | Human Cadavers |
| HF | Herzfrequenz |
| HPS | Human Patient Simulator |
| HRV | Herzfrequenzvariabilität (Heart Rate Variability) |
| LTT | Live Tissue Training |
| MW | Mittelwert |
| MZP | Messzeitpunkt |
| N/A | No answer |
| NATO | North Atlantic Treaty Organization |
| NTL | National Training Laboratories |
| OpEx | Operative Experience |
| OSATS | Objective Structured Assessment of Technical Skills |
| PEARLS | Promoting Excellence and Reflective Learning in Simulation |
| PETA | People for the Ethical Treatment of Animals |
| pHC | Perfused Human Cadavers |
| RCT | Randomized Controlled Trial |
| ROSC | Return of Spontaneous Circulation |
| sA | α -Amylase im Speichel |
| SD | Standardabweichung (Standard Deviation) |
| SP | Simulationspatient |
| STAI | Spielberg State-Trait Anxiety Index |
| StratOp | Strategic Operations |
| TEC | Training Einsatzchirurgie |
| USMC | United States Marine Corps |
| ÜTZ | Überregionales TraumaZentrum |
| VR | Virtual Reality |
| WSC | War Surgery Course |

4. Abstract

Hintergrund

Das chirurgische Ausbildungsmodell „see one, do one, teach one“ muss in der notfallchirurgischen Ausbildung angesichts unzureichender klinischer Trainingsmöglichkeiten durch alternative Lernmethoden ergänzt werden. Ausbildung mit Live Tissue Training (**LTT**) und Human Cadavers (**HC**) ist mit didaktischen und ethischen Herausforderungen verbunden. Die in der notfallmedizinischen Ausbildung etablierten Human Patient Simulators (**HPS**) könnten durch Weiterentwicklungen auch für die notfallchirurgische Ausbildung nutzbar sein. Das Ziel dieser Arbeit bestand darin, die Anforderungen an solche HPS zu definieren, die weltweit führenden HPS zu evaluieren und im Rahmen des Trainings Einsatzchirurgie (TEC) der Bundeswehr mit LTT und HC zu vergleichen.

Methodik

Im Rahmen einer Fokusgruppendifkussion mit einer internationalen Expertengruppe (n = 16) wurden die Anforderungen an HPS definiert. Die Auswertung erfolgte qualitativ als strukturierte Inhaltsanalyse. Im Anschluss evaluierte dieses Expertengremium die vier weltweit führenden HPS mit einem Fragebogen (74 Fragen, 5-Punkt Likert-skaliert). Prototypen der zwei am besten bewerteten HPS wurden im Rahmen des TEC neben LTT und HC durch die Lehrgangsteilnehmer (n = 16) anhand fünf verschiedener Fragebögen (51/74/51/4/4 Fragen; 5-Punkt Likert-skaliert) bewertet. Die Auswertung erfolgte deskriptiv sowie mit dem Wilcoxon-Vorzeichenrangtest oder Friedmann-Test mit post-hoc-Tests (Signifikanzniveau $\alpha = 0,05$).

Ergebnisse

Die Fokusgruppendifkussion ergab, dass HPS anatomische Korrektheit und ein realistisches Blutungsverhalten aufweisen müssen, um komplexe chirurgische Ausbildung zu erlauben. Kosteneffizienz und Praktikabilität sind unverzichtbar. Die Praxisevaluation der zwei ausgewählten HPS im Vergleich zu LTT und HC zeigte, dass beide HPS durchgehend signifikant am schlechtesten und LTT etwas besser als HC bewertet wurden ($p < .001$). Die subjektive Handlungssicherheit zeigte eine hochsignifikante Steigerung nach dem TEC ($p < .001$). Der subjektive Lernerfolg wurde von den Teilnehmern als signifikant geringer bei HPS eingeschätzt als bei LTT und HC ($p < .001$). Das subjektive Stresserleben war signifikant größer bei LTT und den HPS als bei HC ($p < .001$). Die moralischen Bedenken waren gegenüber HPS signifikant geringer als gegenüber LTT und HC ($p = 0.017$).

Diskussion

Mängel in der anatomischen Darstellung und im Blutungsverhalten der getesteten HPS erlauben derzeit keinen vollkommenen Ersatz etablierter Simulationsmodalitäten. Auch HC

und LTT erfüllen die Anforderungen (z.B. Anatomie, Blutung) an ideale Simulationsmodalitäten nur teilweise. Die Kosten der Modalitäten stehen im inversen Verhältnis zum subjektiven Lernerfolg. In der Literatur ist Simulation als erfolgreiche Ausbildungsmethode derzeit nur für begrenzt-chirurgische und notfallmedizinische, nicht aber für notfallchirurgische Maßnahmen beschrieben. In Folgeuntersuchungen sollten das Stresserleben und der Lernfortschritt von Probanden objektiviert werden.

Abstract

Background

The surgical training concept "see one, do one, teach one" must be supplemented or replaced by alternative teaching methods to account for appropriate patient safety and to compensate for inadequate training hours - especially for trauma surgery for the treatment of combat-specific injuries. Training with Live Tissue Training (LTT) and Fresh Frozen Cadavers (HC) is associated with didactic and ethical challenges. Human patient simulators (HPS) which are established in emergency medical training could be altered and improved for the use in trauma surgery training. The aim of this study was to define the requirements for HPS, to evaluate the world's leading HPS and to compare them to LTT and HC in the context of the Bundeswehr War Surgery Course (WSC).

Methods

This pilot study included a focus group discussion with an international group of experts to define the requirements for HPS. The evaluation was carried out as a qualitative content analysis. This panel of experts (n = 16) subsequently evaluated four state-of-the-art HPS using questionnaires (74 questions, 5-point Likert scale). Two of these HPS were integrated into the WSC and assessed alongside LTT and HC by the course participants (n = 16) using questionnaires (51/74/51/4/4 questions, 5-point Likert scale) regarding their suitability for trauma surgery training. The evaluation consisted of descriptive and quantitative aspects including the Wilcoxon signed rank test or Friedmann test with post-hoc tests (significance level $\alpha = 0.05$).

Results

HPS must represent anatomical correctness and realistic bleeding at a high level of complexity. Nonetheless, they must be cost-effective and their use easily feasible. Prototypes of the two selected HPS were integrated into the WSC and evaluated alongside LTT and FCC. Both HPS were rated consistently significantly worse than the other modalities with LTT scoring slightly better than HC ($p < .001$). Self-efficacy showed a highly significant increase after the completion of the WSC ($p < .001$). The subjective learning success was significantly lower after training with HPS than with LTT and HC ($p < .001$). Subjective ratings of experienced stress levels were significantly higher after training with LTT and HPS than with HC ($p < .001$). Moral issues concerning HPS and HC were significantly less than those concerning LTT ($p = .017$).

Discussion

The HPS's incorrect anatomical features and unrealistic bleeding currently permit their use in trauma surgery training. HC and LTT each only meet one of the criteria (anatomy, bleeding).

The costs of the modalities are inversely related to the associated participants' subjective learning success. Literature currently only describes simulation as a successful training method for limited surgical and emergency medicine skills, but not for trauma surgical skills. In a follow-up study, the experienced stress levels and the subjective learning success must be assessed objectively.

5. Einleitung

„Jeder macht Fehler. Das Wichtigste ist, weder denselben Fehler zweimal zu machen noch ein ganzes Bündel von Fehlern auf einmal.“¹³

Wie Samuel Shem in *House of God*, seinem Klassiker der Medizinliteratur, realitätsnah aufzeigt, stehen Mediziner:innen alltäglich vor der Herausforderung, unter der Prämisse der Schadensbegrenzung, Behandlungen durch Ärzt:innen in Ausbildung durchführen zu lassen und als Lehre zu nutzen – ein Umstand, der im Zweifelsfall Menschenleben kosten kann.¹⁴

Diese Schwierigkeit betrifft junge Mediziner:innen kurz nach Erhalt der Approbation und weiter fortgeschrittene Assistenzärzt:innen bei Rotationen in neue Fachgebiete ebenso wie Fachärzt:innen angesichts seltener oder komplexer Krankheitsbilder. Neue Fertigkeiten können nur erlernt werden, indem sie selbstverantwortlich durchgeführt werden und etwaige Mängel in der Ausführung als Quelle des Lernerfolgs dienen.¹⁴ Das Resultat des Interessenkonflikts von Auszubildenden und Auszubildenden, Krankenhauskonzernen und Patient:innen spiegelt sich im Balanceakt zwischen Ausbildungsfortschritt und Patientensicherheit sowie Ausbildungsqualität und Wirtschaftlichkeit wider. Das Credo „see one, do one, teach one“, das seit der Einführung durch den US-amerikanischen Chirurgen William Steward Halsted im Jahr 1890 insbesondere den Fachbereich der Chirurgie prägt¹⁵, bleibt – obwohl es ausbildungsdidaktisch als nicht mehr zeitgemäß eingestuft wird – auch über die Chirurgie hinaus als wichtige Lehrmethode Bestandteil der alltäglichen Klinikrealität.¹⁶ Die Annahme, dass das (einmalige) Beiwohnen eines Eingriffes zur Befähigung der Durchführung genügt, scheint dabei selbstverständlich nicht nur aus Sicht der Patient:innen fragwürdig.

5.1 Wandel des chirurgischen Ausbildungsumfelds

Zur grundsätzlichen Kritik an den bestehenden Ausbildungsmethoden sind in den vergangenen Jahrzehnten noch weitere die Ausbildung erschwerende Faktoren hinzugekommen, die insbesondere auch die Traumachirurgie und einsatzorientierte (humanitär/militärisch) Chirurgie betreffen. Hierzu gehören:

1. die Einführung der EU-Arbeitszeitregelung,¹⁷
2. die zunehmende Subspezialisierung innerhalb der Chirurgie¹⁸ und
3. das Vorkommen kriegsgebietstypischer Verletzungsmuster (u.a. durch steigende Terrorismuszahlen in der westlichen Welt¹⁹⁻²¹).

Die Auswirkung der Begrenzung der maximal zulässigen Arbeitszeit im Rahmen der 2003 verabschiedeten EU-Arbeitszeitrichtlinie auf 48 Wochenstunden¹⁷ auf die Ausbildung von Assistenzärzt:innen ist noch nicht wissenschaftlich geklärt. Eine Metaanalyse²² zeigte jedoch, dass die erwartete Verbesserung der Patientensicherheit und der persönlichen Umstände von

eher ausgeruhten Chirurg:innen sich so nicht bewahrheitete. Zwar verbesserte sich das empfundene Wohlbefinden der Ärzt:innen, die subjektive und objektive Ausbildungsqualität und die Patientensicherheit ergaben jedoch tendenziell unveränderte oder sogar schlechtere Ergebnisse.²² Vor dem Hintergrund von Erkenntnissen, die beispielsweise ein anderes systematisches Review²³ hervorbrachte, wonach ein Zusammenhang zwischen Fallzahl und chirurgischen Fähigkeiten besteht, scheint diese Reduktion der Zeit im Operationssaal zum Erlernen und Trainieren von praktischen chirurgischen Fähigkeiten eher negative Auswirkungen auf den Lernerfolg der Chirurg:innen zu haben.

Hinzu kommt die vermehrte (Sub-)Spezialisierung, die oft aus ökonomischen Beweggründen der Kliniken und der Chirurg:innen sowie zur Optimierung der Versorgungsqualität erfolgt, jedoch das Fähigkeitsspektrum des einzelnen Operateurs vermindert.^{18,24} Die Musterweiterbildungsordnung Allgemeinchirurgie²⁵ ermöglicht innerhalb eines breit gefächerten Curriculums so viel Spielraum, dass einzelnen Abschnitten deutlich mehr Aufmerksamkeit als anderen gewidmet und die Ausbildungstiefe gezielt gesteuert werden kann.²⁰ Dies ermöglicht die frühe Entwicklung von Expertise auf einem schmalen Gebiet zu Lasten einer breiten Ausbildung. Bei komplexen chirurgischen Fällen im Sinne polytraumatisierter Patient:innen, die ein breites chirurgisches Fähigkeitsprofil abfordern, können diese spezialisierten Chirurg:innen dann möglicherweise keine umfassende Versorgung gewährleisten.¹⁸ Kombinierte Verletzungen der Extremitäten und Höhlentraumata mit neurochirurgischer und/oder gynäkologischer bzw. urologischer Komponente können „Standard-Chirurg:innen“ an ihre Grenzen bringen.²⁶ In Zentren, die häufig mit solchen komplexen Fällen konfrontiert sind, kann dies durch die Anwesenheit mehrerer Expert:innen kompensiert werden.⁷ Die Anforderungen, die die Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie e.V. (DGU) an Kliniken der höchsten Versorgungskapazität, also zertifizierte Überregionale TraumaZentren, stellt, sind im Weißbuch Schwerverletztenversorgung der DGU aufgeführt: „Die Überregionalen TraumaZentren (ÜTZ) sind Kliniken, die spezifische Aufgaben und Verpflichtungen zur umfassenden Behandlung aller Mehrfach- und Schwerverletzten, insbesondere solcher mit außergewöhnlich komplexen oder seltenen Verletzungsmustern, besitzen“.⁷ Die entsprechende Zertifizierung erfordert das in Abbildung 1 dargestellte Vorhalten fachlicher Kompetenzen der aufgeführten Fachrichtungen sowie eine „24-stündige Verfügbarkeit aller sonstigen an der Versorgung von Verletzungen beteiligter Fachdisziplinen“. Dies beinhaltet Fachärzt:innen für Gefäßchirurgie, Herz- und/oder Thoraxchirurgie, Mund-, Kiefer-, Gesichtschirurgie, Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde, Augenheilkunde, Urologie, Gynäkologie, plastische Chirurgie sowie Kinderchirurgie oder Pädiatrie.⁷ Ein internationaler Ansatz der American Association for the Surgery of Trauma, um die Versorgung polytraumatisierter Patient:innen zu verbessern, ist das Acute Care Surgery Fellowship.

Dieses beinhaltet eine 2-jährige notfallchirurgische Ausbildung, die beispielsweise Rotationen in die Thorax-, Gefäß- sowie hepatobiliäre Chirurgie vorsieht und so das traumarelevante Kompetenzspektrum der Chirurg:innen erweitert.²⁷

| Indikatoren der Struktur- und Prozessqualität – Überregionales TZ | |
|---|--|
| • Klinik für Unfallchirurgie oder Klinik für Orthopädie und Unfallchirurgie | 24-stündige Verfügbarkeit: Facharzt für Radiologie |
| • 24-stündige Verfügbarkeit: Facharzt für Orthopädie und Unfallchirurgie mit Zusatzweiterbildung Spezielle Unfallchirurgie* oder Facharzt für Chirurgie mit Schwerpunkt Unfallchirurgie | 24-stündige Verfügbarkeit: Facharzt für Neurochirurgie |
| • 24-stündige Verfügbarkeit: Facharzt für Viszeralchirurgie | 24-stündige Verfügbarkeit aller sonstigen an der Versorgung von Verletzungen beteiligten Fachdisziplinen |
| • 24-stündige Verfügbarkeit: Facharzt für Anästhesiologie | 24-stündige Bereitschaft der Notaufnahme für die Versorgung von mindestens zwei Schwerverletzten |
| | 24-stündige Notfalloperationskapazität |

Abbildung 1: Anforderungen an Überregionale TraumaZentren der DGU aus dem Weißbuch Schwerverletztenversorgung⁷

Eine besondere Gruppe der polytraumatisierten Patient:innen stellen dabei solche mit Verletzungsmustern durch Geschoss- und Sprengwirkung dar. Diese kriegstypischen Traumamechanismen verursachen bei den Opfern komplexe, penetrierende Verletzungen, die im seltensten Fall die anatomischen Grenzen der chirurgischen Fachgebiete respektieren.²⁸ Abbildung 2 zeigt eine beispielhafte Übersicht derjenigen Verletzungsmuster, die ein Surgical Shock Trauma Platoon, also eine spezialisierte chirurgische Einheit des United States Marine Corps (USMC), in einem Zeitrahmen von 12 Monaten (03/2004-02/2005) im Auslandseinsatz im Irak versorgen musste.¹

| Procedure | Total |
|-------------------------------|-------|
| Head and neck | 53 |
| 21 Thoracotomies | 33 |
| 31 Damage control celiotomies | 166 |
| 45 Definitive celiotomies | |
| Torso DID | 106 |
| Major amputation | 26 |
| Extremity major vascular | 62 |
| Fasciotomy/escharotomy | 45/2 |
| External fixation | 54 |
| Digit amputation | 13 |
| DIS | 160 |
| DID | 261 |
| Total | 981 |

Abbreviations: DIS, debridement, irrigation, and splinting; DID, debridement, irrigation, and dressing.

Abbildung 2: Übersicht aus einer Arbeit von Chambers et al. (2006), die die Verletzungsmuster von 417 Verwundeten innerhalb eines Jahres im Rahmen eines Einsatzes der Mission Iraqi Freedom analysierten.¹ DIS: debridement, irrigation, and splinting; DID: debridement, irrigation, and dressing

Neurochirurgische Fälle wurden in der entsprechenden Tabelle von Chambers et al. nicht aufgeführt, da diese in keinem der Fälle überlebt wurden.¹ Dieses Beispiel zeigt ein Verletzungsspektrum, das mindestens Kompetenzen der Unfall-, Viszeral-, Thorax- und Gefäßchirurgie erforderlich macht. In militärischen (und humanitären) Einsätzen, die unter personeller und materieller Ressourcenlimitation stattfinden, befinden sich jedoch meist nur ein:e oder wenige Chirurg:innen vor Ort.^{1,29} Im Sinne der Damage Control Surgery ist es die Aufgabe des anwesenden Personals, kritisch verletzte Patient:innen mit den mortalitätsreduzierenden Zielen

1. der Blutungskontrolle,
2. der Infektionsprävention und
3. der Herstellung der Transportstabilität

zu behandeln.³⁰ Dies beinhaltet die Durchführung lebensrettender Eingriffe aller chirurgischer Fachgebiete, die klar definiert sind.^{5,30} Eine definitive Versorgung erfolgt nach diesen Vorgaben im Verlauf, sobald die Patient:innen stabilisiert und – im Setting eines militärischen Einsatzes – idealerweise repatriert und somit in eine höherwertige Einrichtung verlegt werden konnten.^{30,31}

Chirurg:innen der Bundeswehr werden speziell für diese Herausforderungen ausgebildet und durchlaufen das Curriculum Einsatzchirurgie (siehe Kapitel 1.2).²⁰ Durch die in den letzten Jahren wachsende urbane Terrorgefahr in westlichen Ländern werden zunehmend auch Chirurg:innen im Inland mit solchen sonst kriegstypischen Verletzungsmustern konfrontiert. Ein markantes Beispiel hierfür sind die terroristischen Anschläge am 13. November 2015 in Paris, bei denen 130 Personen ermordet und 683 mit Schusswaffen verwundet wurden.^{21,32} Penetrierende Verletzungen stellen damit nicht mehr nur Chirurg:innen im humanitären und militärischen Einsatz vor große Herausforderungen.³³ Entgegen der sonst teils hochgradigen Spezialisierung und Subspezialisierung, die das westliche Gesundheitssystem im Heimatland häufig fordert, müssen die Chirurg:innen aller Fachbereiche daher in der Lage sein, Notfallmaßnahmen der Thorax-, Viszeral-, Gefäß-, und Unfallchirurgie durchzuführen, die auf das veränderte Verletzungsspektrum vor Ort angepasst sind.^{20,34} In einer Region der Welt, in der penetrierende Gewaltverletzungen Raritäten darstellen, müssen hierzu zusätzliche Maßnahmen ergriffen werden, um eine adäquate Versorgung der Patient:innen im Ernstfall sicherzustellen. So sollte es den Chirurg:innen ermöglicht werden, auch atypische traumatologische Verletzungsmuster im Rahmen ihrer Ausbildung zu versorgen, auch wenn diese im deutschen Klinikalltag selten bis nie anzutreffen sind und Halsted's Eingang erwähntes etabliertes Lehrmodell¹⁵ bzw. ein Erlernen im regulären Dienst somit nicht umsetzbar sind. Mit der Suche nach alternativen Lehrmethoden für notfallchirurgische Eingriffe

beschäftigen sich die internationalen wehrmedizinischen Fachgesellschaften bzw. Sanitätsdienste bedarfsbedingt schon deutlich länger als ihre zivilen Pendant²⁰. Wie die Initiative des 5-Punkte-Plans der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie e.V. und der Bundeswehr von 2016 zeigt, nähern sich bei dieser Thematik militärchirurgische und notfallchirurgisch-zivile Ansätze jedoch mittlerweile symbiotisch einander an - nach diesem Plan sollen zivile und militärische Kolleg:innen gemeinsam „medizinisch-fachliche, medizintaktische und -strategische und organisatorische Inhalte zur Versorgung von Terroropfern mit Schuss- und Explosionsverletzungen“¹⁹ erlernen.

5.2 Ausbildung von Einsatzchirurg:innen der Bundeswehr

Am Beispiel des Weiterbildungsplans für Sanitätsoffiziere mit dem Ausbildungsziel des Einsatzchirurgen sollen im Folgenden einige Ausbildungsmöglichkeiten aufgezeigt werden.^{20,35} Ziel dieser Ausbildung ist es, Kompetenzen lebensrettender Notfallmaßnahmen aller chirurgischen Fachbereiche mit einem Schwerpunkt auf der Blutungskontrolle und der Infektionsprävention zu vermitteln.

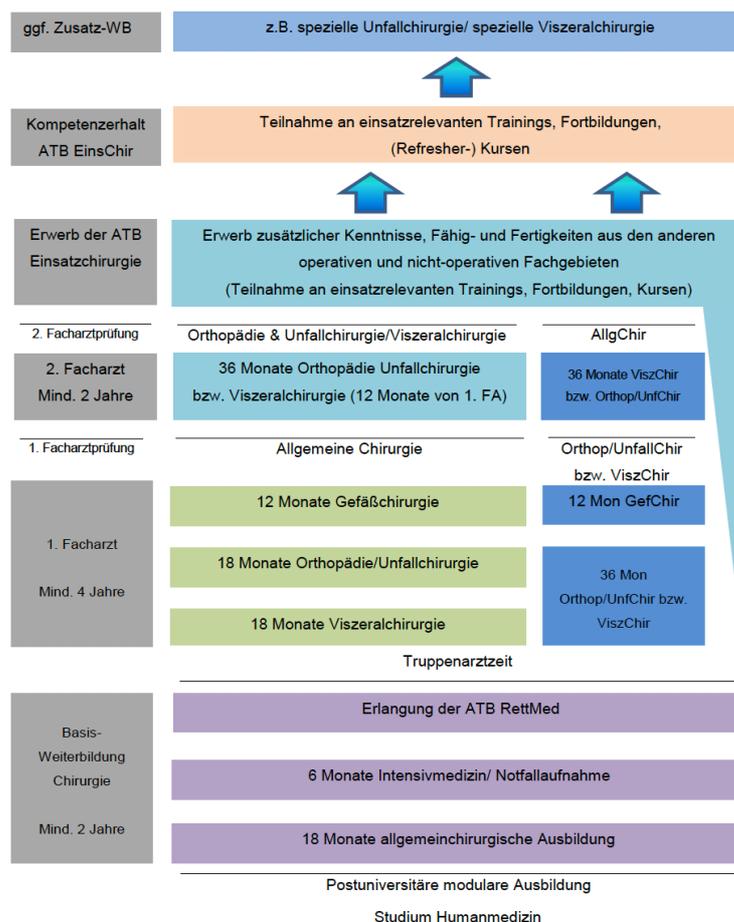


Abbildung 3: Grundlegender Aufbau der Weiterbildung nach dem "DUO Plus" Konzept für chirurgische Weiterbildungsassistent:innen im Sanitätsdienst der Bundeswehr, aus der Bereichsvorschrift "Kompetenzerwerb und -erhalt der Sanitätsoffiziere Arzt Einsatzchirurgie und Sanitätsoffiziere Zahnarzt/Fachzahnarzt/Oralchirurgie"⁹. WB: Weiterbildung, FA: Facharzt, AllgChir: Allgemein Chirurgie, UnfallChir: Unfallchirurgie, ViszChir: Viszeralchirurgie, GefChir: Gefäßchirurgie, ATB EinsChir: Ausbildungs- und Tätigkeitsbezeichnung Einsatzchirurgie, RettMed: Rettungsmedizin.

Die in Abbildung 3 dargestellten klinischen Ausbildungsabschnitte, die im Rahmen der Musterweiterbildungsordnung Allgemein Chirurgie²⁵ erfolgen und eine breite chirurgische Grundausbildung ermöglichen sollen, umfassen das Absolvieren der obligaten Rotationen zum Erlangen der Facharztbezeichnung Allgemeine Chirurgie und eines zweiten Facharztes (Orthopädie/Unfallchirurgie, Viszeralchirurgie, Gefäßchirurgie, Thoraxchirurgie, Plastische Chirurgie).²⁰

Darüber hinaus sind für das Erlangen der militärischen Zusatzbezeichnung „Einsatzchirurg“ weitere Kurse und Lehrgänge erforderlich, die durch ein freiwilliges Fortbildungsangebot ergänzt werden. Diese sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Tabelle 1: Komponenten der Ausbildung zum Einsatzchirurgen nach der Bereichsvorschrift des Sanitätsdienstes (2018)⁹ und Willy et al (2010)²⁰

| Maßnahme | Durchführung | Methode (s. unten) |
|--|--|-------------------------------|
| Sonographie Basis- und Aufbaukurs | Deutsche Gesellschaft für Ultraschall in der Medizin (DEGUM) | A |
| ATLS®-Kurs + -Refresher | Extern/Inhouse | A |
| Osteosynthese Basiskurs/Fortgeschritten | z.B. Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen (AO) | B |
| Neurotraumatologiekurs | Theoretische Ausbildung und chirurgische Simulation an Körperspendern am Bundeswehrkrankenhaus Ulm | B |
| Training Einsatzchirurgie | 5-tägiger Kurs an Körperspendern und LTT im simulierten Operationssetting | C |
| Hospitation Gynäkologie | 2 bis 3 Wochen; Einblicke/Erlernen: Notfallhysterektomie, gynäkologische Notfälle, Sectio caesarea | D |
| EinsAusb Gefäßchirurgie | z.B. Bundeswehrkrankenhaus Ulm | C |
| Internationale Trauma-Rotation | 3 Monate; Chris Hani Baragwanath Hospital in Johannesburg, Südafrika | D |

Die zusätzlichen Ausbildungsinhalte lassen sich verschiedenen Lehrmethoden zuordnen, die in Abhängigkeit der Anforderungen unterschiedliche Lehrmittel einsetzen. Bis auf den im Folgenden unter D genannten Punkt basieren alle Formate auf Varianten des simulierten Arbeitsalltags.

A. Kurse zum Erlernen grundlegender medizinischer Fertigkeiten

Diese Kurse sind fachbereichsübergreifend in die Curricula eingebunden und nicht Chirurgie-spezifisch.

Modalitäten: Simulationspatient:innen (SP)
 Skill-Trainer (Part Task Trainer)
 Patientensimulatoren (z.B. TraumaMan® Surgical Simulator, Firma SimuLab Corporation, Seattle, WA, USA)

B. Kurse zum Erlernen traumatologischer Fertigkeiten einzelner Fachgebiete

Diese Kurse dienen der gezielten Komplettierung des notfallorientierten Fertigkeitsspektrums auch außerhalb der eigenen anvisierten Fachrichtung.

Modalitäten: Modelle (z.B. Kunstknochen aus Polyurethan-Hartschaum)
Skill-Trainer (Part Task Trainer)
Humane Körperspender

C. Kurse zum Erlernen fachübergreifender notfallchirurgischer Fertigkeiten

Diese Kurse vermitteln technische Fertigkeiten und nicht-technische Kompetenzen zur Bewältigung komplexer notfallchirurgischer Fälle. Im militärmedizinischen Umfeld sind sie seit Jahrzehnten etabliert³⁵ und werden auch von zivilen Fachgesellschaften und Organisationen zunehmend gefordert und angeboten.

Modalitäten: Skill-Trainer (Part Task Trainer)
Humane Körperspender
Anästhesierte Schweine zur in-vivo-Ausbildung

D. Hospitationen/Klinische Rotationen

Diese Ausbildungsabschnitte ergänzen die fachgebietsspezifische, innerklinische Ausbildung um weitere fachfremde, innerklinische Komponenten. Besonders die Rotationen in internationale Krankenhäuser in Gebieten mit einem hohen Aufkommen penetrierender Verletzungen ermöglichen eine Integration erlernter Einzelfertigkeiten in die Routine und das zusätzliche Erlernen hochrelevanter Fähigkeiten im Arbeitsalltag.

Modalitäten: Klinische Ausbildung am Patienten

5.3 Simulation in der Ausbildung

Um die klinischen Ausbildungsmöglichkeiten zu ergänzen und somit die Patientensicherheit zu verbessern, wird „Simulation“ als Lehrmittel zunehmend eingesetzt.³⁶ Vor dem lernphysiologischen Hintergrund, dass der prozentuale Anteil des retinierten Wissens zunimmt, je involvierter der Trainee ist, stellt die Durchführung der Fertigkeiten im Rahmen der Simulation eine hochwertige Lernmethode dar.³⁷ Das vielzitierte Modell der National Training Laboratories (NTL), Bethel, ME, USA, aus den 1960er Jahren führt hierfür eine Retention des Gelernten von 75% nach praktischer Durchführung auf („do one“) gegenüber 30% Retention nach Beobachtung der Durchführung („see one“) – nur das eigenständige Unterrichten („teach one“) bringt eine noch bessere Retention mit 90% des Gelernten.³⁸ In Abbildung 4 sind die Modelle der NTL und nach Halsted¹⁵ parallel aufgeführt, um – trotz aller Kritik an beiden Ausführungen^{15,39} – ihre ähnlichen Tendenzen zu visualisieren. Simulation und somit die Möglichkeit zum repetitiven Durchführen einer neuen Fertigkeit birgt ein großes Potenzial.

LERN PYRAMIDE

Durchschnittliche RETENTION RATE eines Trainingsteilnehmers



Abbildung 4: Lern-Pyramide auf Basis der ursprünglichen Forschung der National Training Laboratories, Bethel (ME, USA), hier aufbereitet von B. Braehmer (intercessio GmbH, Bonn, 2015)³⁷ mit dem Zusatz des „see one, do one, teach one“ Credos nach Halsted¹⁵

Eine erfolgreiche Anwendung fand dieses Konzept in der Ausbildung von Flugzeugpiloten bereits vor 100 Jahren.⁴⁰ Diese Berufssparte stand vor ähnlichen Problemen wie die Medizin: das Gelingen von Hochrisiko-Vorhaben, bei denen die Ausführenden Verantwortung für – mindestens ihr eigenes – Menschenleben tragen, sollte nicht alleine auf der Basis theoretischer Grundlagen erfolgen. Der Zusammenschluss mehrerer Fluggesellschaften und eine daraus resultierende koordinierte Entwicklung standardisierter Flugsimulatoren ermöglicht heutzutage eine Lizenzierung von Flugpersonal ausschließlich durch erfolgreich absolviertes Simulatortraining.⁴⁰ Die Voraussetzungen an solche Simulatoren umfassen mindestens die folgenden Punkte:⁴⁰

- Sie bilden realitätsnah die tatsächlichen Gegebenheiten im Cockpit ab,
- sie können an verschiedene Ausbildungsstände angepasst werden und
- das Erlernte kann in die Realität übertragen werden.

Der ausschlaggebende und die hohen Kosten rechtfertigende Vorteil dieser Simulatoren ist jedoch, dass Fehler, die unerfahrene Piloten in echten Flugzeugen gemacht hätten, jetzt im sicheren Umfeld eines simulierten Cockpits stattfinden.⁴⁰ Dort können Fehlerquellen analysiert und fehlerbehaftete Situationen so lange wiederholt werden, bis die Auszubildenden diese sicher beherrscht.⁴⁰ Sowohl technische Fertigkeiten als auch nicht-technische Fähigkeiten wie Kommunikation und Team-Management können trainiert und die Ausbildung durch beliebige Stressoren in der Schwierigkeit variiert werden. Auch erlaubt es eine Evaluation des Wissensstands der angehenden Piloten.⁴¹ Somit lässt sich feststellen, dass die Lehre in der internationalen Luftfahrt als Modell für die Entwicklung simulationsbasierter Curricula auch für Chirurg:innen dienen kann.⁴²

5.4 Simulationsmodalitäten in der (notfall-)chirurgischen Ausbildung

Für Simulation in der Notfallchirurgischen Ausbildung sind derzeit vielfältige eingesetzte Modalitäten beschrieben. Diese können anhand ihrer Einsatzgebiete sowie ihrer *fidelity* gruppiert werden. *Fidelity* beschreibt dabei das Maß an Realitätsnähe, das die Simulation erreicht.⁴³ Im Rahmen der Notfallchirurgischen Ausbildung entspricht sie somit der Antwort auf die Frage „Wie sehr ähnelt diese Simulation der Versorgung eines realen Traumapatienten?“. Abhängig ist sie von den Eigenschaften des eingesetzten Modells (z.B. Gewebe, Anatomie) als auch dem Rahmen, in den das Modell eingebettet ist (z.B. Team, Umfeld).⁴⁴ Das Spektrum der eingesetzten Modalitäten ist groß, sodass im Folgenden einige beispielhaft aufgeführt werden:

Skill-Trainer sind Modelle einzelner Organe, Strukturen¹¹ oder rudimentäre Torso- bzw. Ganzkörper-Replikat für exakt definiertes Fertigkeitstraining. Ein Beispiel ist das Modell des TraumaMan⁴⁵ der Firma SimuLab (Seattle, WA, USA)⁴⁶, das in Abbildung 5 dargestellt ist. Hier können an einem Torso das Aufsuchen der Landmarken und die Durchführung der Anlage einer Thoraxdrainage durchgeführt werden. Ähnlich verhält es sich mit dem in Abbildung 6 gezeigten 3D-gedruckten Trachea-Modell mit Hautlappen von Doucet et al.¹¹, welches das Erlernen einer Krikothyreotomie ermöglicht. Verglichen mit einem Patienten ist die *fidelity* bei beiden Modellen gering, aber Novizen können Kernaspekte der Manöver lernen.



Abbildung 5: Aufbau der Thoraxwand des TraumaMan der Firma SimuLab (Seattle, WA, USA)² zur Anlage einer Thoraxdrainage

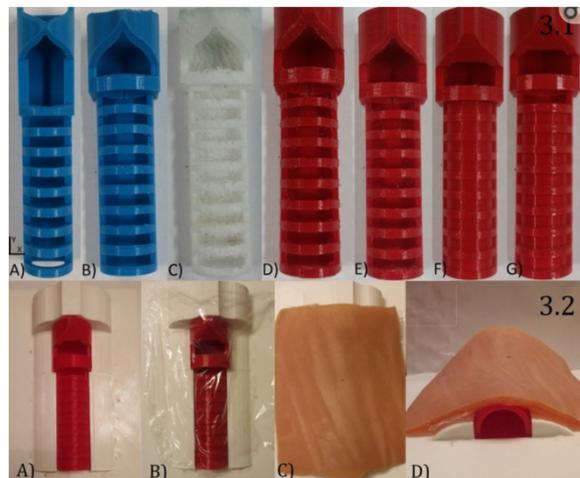


Abbildung 6: Weiterentwicklung eines 3D-gedruckten Trachea-Modells aus einer Arbeit von Doucet et al. (2017)¹¹

Mannequins stehen als Teil- oder Ganzkörpermodelle zur Verfügung. Ihre Anwendungsgebiete reichen von der Ausbildung von Pflegepersonal (Abbildung 7) über die kardiopulmonale Reanimation und Defibrillation im Rahmen von Notfallmedizinischer Ausbildung (Abbildung 8) bis hin zu komplexeren Mannequins, die zur Ausbildung der

taktischen Verwundetenversorgung für militärisches Sanitätspersonal dienen können (Abbildung 9).^{3,4,10} Jede Art von Mannequin kann in Abhängigkeit vom spezifischen Einsatzgebiet und der anvisierten Zielgruppe modifiziert werden. Beispielsweise können Puppen zur Reanimations-Ausbildung mit Atemwegen ausgestattet werden, um die Ausbildungsmöglichkeiten so um die endotracheale Intubation zu erweitern.⁴⁷



Abbildung 7: Mannequin zum Erlernen einfacher patientenbezogener Fertigkeiten, Foto: Thomas Nelson Community College Archives¹⁰ unter der Creative Commons License CC BY-NY-ND 2.0)



Abbildung 8: Mannequin Ambu® Man zum kardiopulmonalen Reanimation im Rahmen von Erste-Hilfe-Kursen der Firma Ambu (Ballerup, Dänemark)³



Abbildung 9: Der CAE Caesar™ der Firma CAE Healthcare (Sarasota, FL, USA) zum Einsatz in der Ausbildung militärischer Rettungskräfte⁴

Patientendarsteller:innen oder **Simulationspatient:innen** sollen beispielsweise Medizinstudierenden die Möglichkeit geben, nicht-technische Fähigkeiten, wie die Kommunikation und den Umgang mit Patient:innen zu Erlernen.⁴⁸ Dies kann von der einfachen Anamneseführung über Notfallsituation bis zum Überbringen schlechter Nachrichten reichen. Auch nicht-invasive Untersuchungstechniken können erlernt werden. Einen besonderen Vorteil bietet hier das Feedback aus Sicht der Patient:innen.^{48,49}

Humane Körperspender (human cadavers, HC) können in verschiedenen Konservierungszuständen für unterschiedliche Anwendungsgebiete eingesetzt werden. Anatomische Präparate zum Einsatz im Präparationskurs für Medizinstudierende werden überwiegend mit Formaldehyd zur Denaturierung und somit langfristigen Präservation des Gewebes konserviert.⁵⁰ Dies geht mit einem Verlust der realistischen Haptik und Färbung einher.⁵⁰ Eine Modifikation nach Thiel⁸ mit einer niedrigeren Konzentration an Formaldehyd und zusätzlichen Konservierungstoffen ist eine Variante, die die Färbung des Gewebes besser erhält (Abbildung 10). Auch hier treten jedoch Änderungen der Haptik auf. In einem Vergleich beider Methoden von Kennel et al.⁵⁰ trauten Studierende sich die Identifizierung anatomischer Strukturen am Menschen eher zu, nachdem sie an Thiel-fixierten Körperspender ausgebildet worden waren. In einer objektiven Evaluation des Lernerfolgs zeigte sich jedoch kein Unterschied.



Abbildung 10: Vergleich von zwei HC, die mit Hilfe der Thiel-Methode (links) und Formalin (rechts) konserviert wurden. Die Abbildung stammt aus einer vergleichenden Arbeit von Hunter et al. (2014)⁸

In Form von Fresh Frozen Cadavers können HC auch als gespülte, nicht chemisch konservierte Präparate für chirurgische Ausbildung eingesetzt werden.⁵¹ Hierfür werden sie innerhalb von drei Tagen nach dem Ableben des Körperspenders gespült und bei -20°C ohne weitere Konservierungsschritte eingefroren. Ein bis drei Tage vor ihrer Verwendung werden sie aufgetaut und können dann bei Raumtemperatur mit intermittierender Kühlung für wenige Tage genutzt werden.⁵¹ Beispielsweise kann im ASSET™-Kurs (Advanced Surgical Skills for Exposure in Trauma) des American College of Surgeons die gezielte Blutungskontrolle durch standardisierte Zugangswege zu relevanten Gefäßen an dieser Form der HC erlernt werden.⁵² Die Haptik und Färbung der Präparate sind bei dieser Methode realitätsnäher als bei der Formaldehyd-/Thiel-Konservierung, jedoch kann der Verwesungsprozess und hier besonders die Geruchsbelastung die Ausbildung einschränken.⁵³ Des Weiteren bieten die Präparate keine Blutungssimulation.

Eine Weiterentwicklung der HC sind die **perfundierten und ventilierten Körperspender** (perfused human cadavers, pHC), die in Verbindung mit einem simulierten Monitoring ein realitätsnahes Setting für chirurgische Ausbildung bieten. Sie verbinden die anatomische Korrektheit der HC mit der Blutungssimulation, die bis dato ein Alleinstellungsmerkmal von LTT darstellte.⁵⁴

Als anästhesierte Tiermodelle werden unter dem Oberbegriff des **Live Tissue Training (LTT)** üblicherweise Schweine, aber auch Ziegen oder Hunde eingesetzt.⁵⁵ Durch die Arbeit am lebendigen Organismus mit einem realistischen Blutungsverhalten können so realitätsähnliche Notfallsituationen dargestellt werden. Jedoch weicht die Anatomie in Teilen vom Menschen ab. Am Schweinemodell, das im Rahmen des TEC der Bundeswehr eingesetzt wird, müssen unter anderem die in Tabelle 2 dargestellten Einschränkungen in Kauf genommen werden.⁵⁶ Andere Anwendungsbereiche stellen beispielsweise die plastische oder rekonstruktive Chirurgie dar.⁵⁷

Tabelle 2: Beispielhafte Übersicht über die anatomischen Unterschiede des porcinen LTT und die Konsequenz für die notfallchirurgische Ausbildung

| Anatomischer Unterschied | Beispiel für Einschränkungen beim Durchführen der notfallchirurgischen Manöver |
|--|---|
| Rudimentäre ligamentäre Aufhängung der Milz im Schwein ⁵⁶ | Milzmobilisation zur Splenektomie |
| Intraperitoneale Lage des Colons des Schweins ⁵⁶ | Colonmobilisation im Rahmen der Cattell-Braasch- oder Mattox-Manöver |
| Kopfanatomie ⁵⁶ | Belocq-Tamponade zur Behandlung einer Blutung bei Verletzungen im Mittelgesicht |
| Massive Kalotte ⁵⁶ | Trepanation |
| Extremitäten ⁵⁶ | Gefäßpräparation und Blutungskontrolle an den Extremitäten, besonders peripher |

Moderne Simulationsmodalitäten schließen auch **Computer-basierte Simulation** und **Virtual Reality** Trainer ein. Computer-basierte Simulationen zielen oft auf die Bewältigung komplexer Situationen ab, die aber eher theoretischer, als praktischer Natur sind. Ein Beispiel stellt die militärmedizinische Simulation der präklinischen Verwundetenversorgung durch so genannte Serious Games, dar, die den Trainees Kompetenzen zur Bewältigung stressbehafteter Situationen durch eigens entwickelte Computer-Spiele vermitteln soll.⁵⁸ Virtual Reality als besondere Form der Computer-basierten Simulation ist besonders geeignet für das Training von Fertigkeiten, die auch in der Realität Bildschirm-basiert sind. Hierzu zählen laparoskopische und Roboter-basierte Eingriffe.⁵⁹

Die meisten der Simulationsmodalitäten können auch für Team Training oder Crew Resource Management eingesetzt werden.^{60,61} Da – wie oben beschrieben – jede Simulation ein Zusammenspiel aus der eingesetzten Modalität und dem umgebenden Setting darstellt, können so durch gezielte Modifizierungen besondere Schwerpunkte gesetzt werden.

Kombinationen der aufgeführten Methoden können symbiotisch die *fidelity* der Simulation maximieren, wie eine Arbeit von Schuetz et al.⁶² zur Entwicklung eines Koronarangiographie-Modells aufzeigt. Hier wurden Ganzkörper-Mannequins und Virtual Reality kombiniert, um eine realitätsnahe Darstellung einer Koronarangiographie mit synchronisiertem Herzschlag zu erreichen.⁶²

Eine omnipotente Simulationsmodalität für die Ausbildung technischer und nicht-technischer Lehrinhalte ist bisher nicht beschrieben. Mit dem Ziel der Ausbildungsoptimierung ist es somit nötig, dass für jede Fertigkeit die geeignete Simulationsmodalität ausgewählt wird. Mit einem Fokus auf notfallchirurgische Manöver, die auch dem einsatzchirurgischen Curriculum der Bundeswehr entsprechen, wurde die Eignung der Lehrmodalitäten „Klinik“, „LTT“, „HC“ und „HPS“ von Bowyer und Eiseman im Rahmen einer Gap Analysis für das Department of Defense eingeschätzt.⁵ In Tabelle 3 sind diese Fertigkeiten und die Eignung farbkodiert aufgeführt. „HPS“ steht hier für Human Patient Simulators, als Oberbegriff für alle verfügbaren technischen Simulationsmodelle. Eine Gap Analysis oder auch Fähigkeitslückenanalyse, die eigentlich ein Instrument der Betriebswirtschaftslehre darstellt, beschreibt in diesem Fall einen Vergleich der Soll-Werte – also der zu erlernenden notfallchirurgischen Fertigkeiten – mit der realen Durchführbarkeit an den verschiedenen Lehrmodalitäten und zeigt so didaktische Defizite auf.⁶³

Tabelle 3: Gap Analysis zur Eignung der Ausbildungsmodalitäten für verschiedene notfallchirurgische Fertigkeiten nach Bowyer et al.⁵ und in Teilen übernommen aus Hauer et al.¹²

| Farbe | Wertung | Beschreibung |
|-------|---------------------|---|
| Grün | Sinnvoll | Die OP kann realitätsnah durchgeführt werden. |
| Gelb | Bedingt sinnvoll | Die Durchführung ist theoretisch möglich, aber mit ethischen oder logistisch-didaktischen Schwierigkeiten behaftet (auch bei bedingt geeigneten elektiven OPs im klinischen Setting). |
| Rot | Nicht sinnvoll | Das Ausbildungsziel kann mit Hilfe dieser Modalität nicht erreicht werden oder verletzt ethische Ansprüche. |
| Weiß | Noch nicht sinnvoll | Die Modalität muss weiterentwickelt werden, um für die Ausbildung geeignet zu sein. |

| | Klinik | HC | LTT | HPS |
|--|--------|------|------|------|
| Kopf/Hals | | | | |
| Blutstillung, Skalpierungsverletzung | Rot | Gelb | Grün | Grün |
| Frakturhebung, Kalottenimpressionsfraktur | Rot | Grün | Rot | Grün |
| Osteoklastische Trepanation, Duraplastik | Rot | Grün | Rot | Grün |
| Blutstillung im Mittelgesicht (z.B. Bellocq-Tamponade) | Rot | Grün | Rot | Grün |
| Intraorale Drahtligaturen bei Mittelgesichtsfrakturen | Rot | Grün | Grün | Grün |
| Notfallkoniotomie | Rot | Grün | Grün | Grün |
| Tracheotomie | Grün | Grün | Grün | Grün |
| Exploration der Halsweichteile (Zone 2) | Grün | Grün | Rot | Grün |
| Blutungskontrolle am Hals, Zonen 1 und 3 | Rot | Grün | Grün | Grün |
| Drainage zervikaler Ösophagusverletzung | Rot | Grün | Grün | Grün |
| Versorgung von Verletzungen der Trachea und des Larynx | Rot | Grün | Grün | Grün |
| Thorax | | | | |
| Thoraxdrainage | Grün | Grün | Grün | Grün |
| Thorakotomie | Gelb | Grün | Grün | Grün |
| Clamshell-Thorakotomie | Rot | Grün | Grün | Grün |
| Sternotomie | Gelb | Grün | Grün | Grün |
| Blutungskontrolle, Thoraxwand | Grün | Rot | Grün | Grün |
| Naht des Lungenparenchyms | Gelb | Grün | Grün | Grün |
| Atypische Lungenresektion | Gelb | Grün | Grün | Grün |
| Blutungskontrolle an Pulmonalgefäßen (Hiluskontrolle) | Rot | Grün | Grün | Grün |
| Blutungskontrolle der A. subclavia von intrathorakal | Rot | Grün | Grün | Grün |
| Blutungskontrolle an supraaortalen Gefäßen | Rot | Grün | Grün | Grün |
| Intrathorakale Herzmassage | Rot | Grün | Grün | Grün |
| Versorgung einer Herzverletzung | Rot | Grün | Grün | Grün |
| Versorgung einer zentralen Trachealverletzung | Rot | Grün | Rot | Grün |
| Versorgung einer Ösophagusverletzung | Gelb | Grün | Grün | Grün |
| Abklemmen der thorakalen Aorta | Rot | Grün | Grün | Grün |
| Abdomen | | | | |
| Laparotomie | Grün | Grün | Grün | Grün |
| Kocher-Manöver | Grün | Grün | Grün | Grün |
| Splenektomie | Grün | Grün | Grün | Grün |
| Lebermobilisation | Gelb | Grün | Rot | Grün |
| Lebernaht | Gelb | Rot | Grün | Grün |
| Leberteilresektion | Grün | Rot | Grün | Grün |
| Mobilisation der rechten und linken Kolonflexur | Grün | Grün | Rot | Grün |
| Darmresektion | Grün | Grün | Grün | Gelb |
| Darmanastomose | Grün | Grün | Grün | Gelb |
| Anlage eines Enterostomas | Grün | Grün | Grün | Gelb |
| Magenteilresektion | Grün | Rot | Rot | Gelb |
| Temporärer Bauchdeckenverschluss | Grün | Grün | Grün | Grün |
| Rechtsseitige mediale viszerale Rotation (Cattell-Braasch-Manöver) | Rot | Grün | Rot | Grün |
| Linksseitige mediale viszerale Rotation (Mattox-Manöver) | Rot | Grün | Rot | Grün |
| Intraabdominelles Packing | Gelb | Grün | Grün | Grün |
| Pringle-Manöver | Gelb | Grün | Grün | Grün |
| Versorgung einer Zwerchfellverletzung | Gelb | Grün | Grün | Grün |
| Versorgung einer Pankreasverletzung | Gelb | Grün | Grün | Grün |

| Gefäßsystem | Klinik | HC | LTT | HPS |
|---|---------------|-----------|------------|------------|
| Zugang zu A. carotis interna/externa/com., A brachialis, A radialis, A. femoralis superficialis, Femoralisgabel | Yellow | Green | Red | White |
| Gefäßnaht an Arterie und Vene | Yellow | Green | Red | Green |
| Interponatentnahme | Yellow | Green | Red | White |
| Thrombektomie | Yellow | Red | Red | Green |
| Kontrolle, Blutung, V. jugularis interna | Yellow | Red | Red | White |
| Blutungskontrolle an Mesenterialgefäßen | Yellow | Red | Green | White |
| Abklemmen der Aorta supra- und subdiaphragmal | Red | Green | Green | White |
| Resuscitative Endovascular Balloon Occlusion of the Aorta (REBOA) | Red | Red | Green | Green |
| Zugang zur V. cava inferior, Blutungskontrolle | Red | Green | White | White |
| Arterioarterieller Kunststoff-Shunt als Interimslösung | Red | Red | Green | Green |

| Achsen skelett | Klinik | HC | LTT | HPS |
|--|---------------|-----------|------------|------------|
| Notfallbehandlung bei instabilen Wirbelfrakturen | Red | Green | Red | White |
| Fixateur externe des Beckens, Beckenschlinge | Green | Green | Red | Green |
| Beckenzwinde | Red | Green | Red | Green |
| Extraperitoneales Packing des Beckens | Red | Green | Red | White |

| Extremitäten | Klinik | HC | LTT | HPS |
|--|---------------|-----------|------------|------------|
| Reposition von Frakturen und Luxationen | Green | Green | Red | Green |
| Anlage Extension und Ruhigstellung, Lagerungstechniken | Green | Green | Red | Green |
| Versorgung offene/geschlossene Gelenkverletzung | Green | Green | Red | White |
| Fixateur externe an langen Röhrenknochen | Green | Green | Red | Green |
| Notfalleingriffe der Handchirurgie | Green | Green | Red | White |
| Femurfraktur: Thomas-Splint, Transportstabilisierung | Green | Green | Red | White |
| Notfall-Amputation der Extremitäten | Red | Green | Red | Green |

| Urologie | Klinik | HC | LTT | HPS |
|---|---------------|-----------|------------|------------|
| Blutstillung, Niere, (Trauma-)Nephrektomie | Red | Green | Green | White |
| Management der Harnleiterverletzungen | Red | Green | Green | White |
| Harnblasennaht | Red | Green | Yellow | White |
| Anlage eines suprapubischen Blasenkatheters | Green | Green | Green | Green |

| Weichteile | Klinik | HC | LTT | HPS |
|---------------------------------|---------------|-----------|------------|------------|
| Weichteil-Débridement, Lavage | Green | Red | Red | White |
| Vakuumversiegelungstherapie | Green | Green | Red | White |
| Kompartmentsyndrom, Fasziotomie | Green | Green | Red | Green |
| Escharotomie bei Verbrennungen | Red | Green | Red | Green |

Diese Gap Analysis zeigt, dass - nach Expertenmeinung - einige Fertigkeiten keiner simulationsbasierten Ausbildung bedürfen, andere an einer oder mehreren Simulationsmodalität(en) erlernt werden können und für wieder andere jedoch noch keine geeignete Ausbildungsmodalität zur Verfügung steht. Dies belegt den Bedarf zur konzeptionellen und technischen Weiterentwicklung in der notfallchirurgischen Simulation.⁵

5.5 Potential der bestehenden Simulationsmodalitäten

Zusätzlich zur angestrebten Optimierung der Ausbildung wird die Auswahl der am besten geeigneten Simulationsmodalitäten durch die Kritik an Humanen Körperspendern und Live Tissue Training beeinflusst.

Der Einsatz von HC in Lehre, Ausbildung und Forschung wird hinsichtlich der Wahrung der Totenruhe und dem pietätvollen Umgang hinterfragt und die Nutzung gesetzlich geregelt.⁶⁴

Hinzukommt, dass die Verfügbarkeit von HC eingeschränkt ist und nur über spezielle Programme den Ausbildungszentren zugeführt werden können.

LTT ist vor dem Hintergrund des „3R-Prinzips“ seit einigen Jahren im Mittelpunkt einer ethischen Diskussion, die federführend durch Institutionen wie PETA Deutschland e.V. mit Petitionen und Aufrufen initiiert wurde.⁶⁵ Der 3R-Grundsatz „Reduce, Refine, Replace“ ist als verbindliche Aufforderung zur effizienten Nutzung oder zur Substitution von Tieren in der Forschung und Ausbildung zu verstehen. Dieser verpflichtet in besonderem Maße zur ressourcenminimierenden Konzeption der chirurgischen Ausbildung.⁶⁶ *Reduce* stellt den Aufruf zur maximalen Reduktion der Anzahl der eingesetzten Tiere dar. Dies geht Hand in Hand mit der *Maxime refine*. *Refine* beschreibt das Bestreben, den Einsatz von Tiermodellen zu optimieren und maximal effizient zu gestalten. Das Training Einsatzchirurgie der Bundeswehr spiegelt diese beiden Prinzipien wider: jedes Schwein wird im vollen Umfang benutzt und so die Anzahl der eingesetzten Tiere geringgehalten. Das bedeutet, dass alle Körperregionen ins Training mit eingebunden werden und die Szenarien so aufeinander aufgebaut sind, dass die Lebensdauer des Schweins optimal genutzt werden kann. Die letzte *Maxime*, *Replace*, stellt zusammen mit dem Streben nach Ausbildungsoptimierung die Grundlage für die vorliegende Arbeit dar.

Die Simulationsmodalität, die eine Lösung für diese Diskussion bieten soll, sind Human Patient Simulators. HPS sind die chirurgische Weiterentwicklung der aus der (prä-)klinischen Simulation bekannten Mannequins, die die Vorteile der etablierten Modalitäten – anatomische Korrektheit der HC und Blutungssimulation von LTT – vereinen sollen, ohne die gleichen Kritikpunkte zu bieten.³⁶ Ihre Eignung für die komplexen Anforderungen der notfallchirurgischen Ausbildung ist bisher nicht untersucht worden.

5.6 Das Vier-Ebenen-Evaluationsmodell nach Kirkpatrick

Um die Eignung verschiedener Simulationsmodalitäten im Rahmen von Ausbildungseinheiten zu bewerten, kann das Vier-Ebenen-Modell nach Kirkpatrick genutzt werden.⁶ Ein allgegenwärtiges Problem der Evaluation von Simulation und deren Effekt in der medizinischen Ausbildung ist die Beschränkung vieler Studien auf die subjektive Wahrnehmung der Teilnehmer und den Lernerfolg, der anhand einzelner Fertigkeiten und Learning Points gemessen wird. Dies führen auch Goolsby et al. in ihrem Review als eine der Hauptlimitationen auf.⁶⁷ Relevant für den langfristigen Wissenszuwachs und somit für eine didaktische und berufspolitische Entscheidungsgrundlage sind jedoch der Transfer des Gelernten in den Arbeitsalltag und die damit verbundenen Vorteile für das System. In der freien Marktwirtschaft entspräche dieser Vorteil einer Effizienzsteigerung des Unternehmens, im medizinischen Kontext der Senkung der Morbidität und Mortalität der Patienten.

Kirkpatrick's vielzitiertes Vier-Ebenen-Modell (siehe Abbildung 11) zur Evaluation von Ausbildung fasst diese Dimensionen als „1) Reaktion, 2) Lernen, 3) Verhalten und 4) Ergebnisse“ zusammen.⁶ Die formativen Komponenten (1. Reaktion, 2. Lernerfolg) beziehen sich auf den Prozess der Ausbildung und des Lernens. Deren Evaluation ist in den meisten Studien, so auch in dieser, durch subjektive Wahrnehmung der Simulationsmodalitäten, Erfassung eines Meinungsbildes und Quantifizierung des subjektiven und/oder objektiven Lernerfolges erfasst. Die summativen Faktoren (3. Verhalten/Transfer, 4. Ergebnisse/Systemeffekt) beziehen sich auf das Ergebnis der Ausbildung und des Lernens. Die hiermit zusammenhängende Retention des Gelernten und dessen Anwendung bei der Arbeit sowie die langfristigen Erfolge werden nur selten abgebildet.⁶⁸

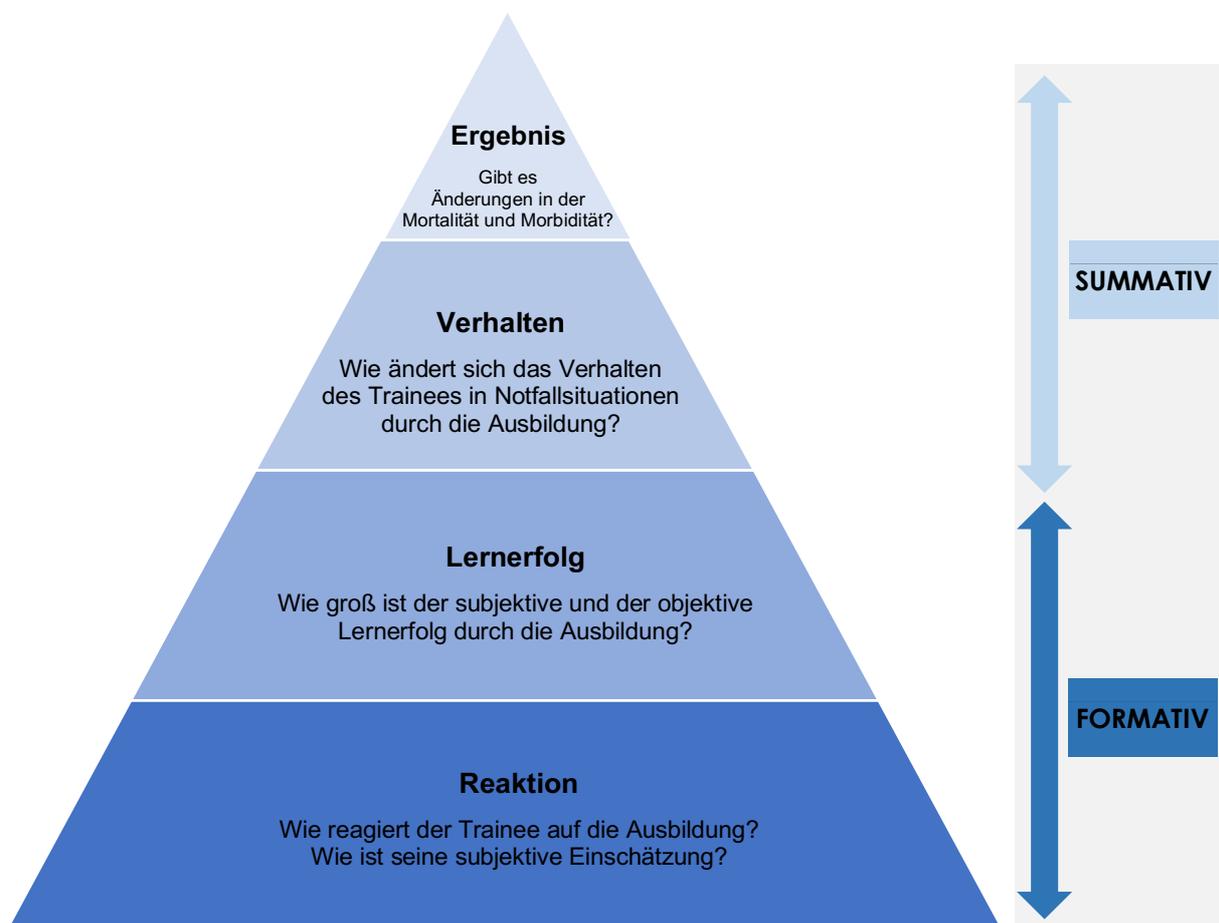


Abbildung 11: Pyramidenförmige Darstellung der vier Ebenen der Ausbildungsevaluation nach Kirkpatrick⁶ mit Einteilung in "formative" und "summative" Level. Quelle: Eigene Darstellung.

5.7 Zielsetzung der Arbeit

Das Ziel dieser Promotionsarbeit war es, die speziellen Anforderungen an in der notfallchirurgischen Ausbildung eingesetzte Simulationsmodalitäten zu eruieren, das derzeitige Angebot an Human Patient Simulators hinsichtlich ihrer Eignung zu evaluieren und

die geeigneten HPS im Rahmen des Training Einsatzchirurgie der Bundeswehr neben den etablierten Simulationsmodalitäten von Humanen Körperspendern und Live Tissue Training zu bewerten. Aufgrund eines Mangels an Literatur und geeigneter Evaluationsinstrumente wie beispielsweise validierter Fragebögen wurde diese Studie als explorative Pilotstudie konzipiert. Ziel war es daher ausdrücklich auch, auf Basis der qualitativen und quantitativen Ergebnisse dieser Arbeit ein Konzept für eine Weiterentwicklung der Forschungsfrage zu erstellen.

Folgende Forschungsfragen wurden hierzu benannt:

1. Welche Anforderungen bestehen aus der Sicht von Expert:innen an Simulationsmodalitäten für notfallchirurgische Ausbildung und inwiefern decken sich diese mit den Erfahrungen bei der Arbeit mit den etablierten Simulationsmodalitäten der Humanen Körperspender und des Live Tissue Training?
2. Auf welchem Entwicklungsstand befinden sich vor dem Hintergrund dieser Anforderungen die alternativen Simulationsmodalität Human Patient Simulators und welche Modelle/Prototypen könnten für den Einsatz in der notfallchirurgischen Ausbildung geeignet sein?
3. Welche Vor- und Nachteile bieten die etablierten und alternativen Simulationsmodalitäten für die notfallchirurgische Ausbildung? In welchem Maße sind sie für den Einsatz geeignet?
4. Inwiefern können weiterführende Forschungsprojekte die Wertigkeit der Modalitäten evaluieren?

6. Methoden

6.1 Studienablauf

Die hier vorliegende Arbeit folgte einem Mixed-Methods-Ansatz und setzte sich aus drei Phasen zusammen.

Zur Ergänzung der eingeschränkten Literatur zum konkreten Forschungsthema beinhaltete die **erste Phase** die Durchführung einer Expertendiskussion im Format einer Fokusgruppe, um Vor- und Nachteile der etablierten Simulationsmodalitäten sowie Anforderungen an Human Patient Simulators in der notfallchirurgischen Ausbildung zu definieren.

Die **zweite Phase** umfasste die Evaluation der marktführenden HPS durch ausgewählte Experten der Notfallchirurgie und notfallchirurgischen Ausbildung mit dem Ziel der Auswahl geeigneter Modelle für das Training Einsatzchirurgie der Bundeswehr.

Die hier ausgewählten Modelle wurden in der **dritten Phase** im Rahmen eines modifizierten TEC zur Ausbildung eingesetzt und ebenso wie die etablierten Simulationsmodalitäten (Humane Körperspender, anästhesierte Schweine) von Lehrgangsteilnehmern evaluiert.

Das Planungskonzept wurde durch den verantwortlichen Datenschutzbeauftragten bestätigt. Ein positives Ethikvotum wurde durch die Ethikkommission der Charité – Universitätsmedizin Berlin erteilt (Antragsnummer EA1/037/18).

6.2 Phase I - Fokusgruppendifkussion

Teilnehmende

Die Teilnehmenden der Diskussion waren Teil einer internationalen zivil-militärischen Expertengruppe, die gezielt aufgrund ihrer Expertise im Bereich der Notfallchirurgie zum „Abgewandelten Trainings Einsatzchirurgie mit Evaluation technischer Trainingsmodelle“ in Berlin im November 2017 eingeladen worden waren. Die Moderation oblag Herrn Prof. Dr. Peters, dem Leiter des Dieter-Scheffner-Fachzentrum für Hochschullehre und evidenzbasierte Ausbildungsforschung (DSFZ) der Charité.

Fragen

Die Fokusgruppendifkussion wurde anhand eines im Rahmen der Vorbereitung entwickelten Leitfadens halbstrukturiert durchgeführt (siehe Abbildung 12). Die Schwerpunkte lagen auf den persönlichen Erfahrungen der Teilnehmenden mit Simulationsmodellen sowie Anforderungen und Erwartungen, die sie in Bezug auf technische Fertigkeiten und nicht-technische Fähigkeiten an diese Modelle hatten. Jeder Aspekt wurde in einem separaten Themenblock adressiert, der jeweils eine weitgefaste Einstiegsfrage und konkretisierende Nachfragen beinhaltete. Als Gesprächseinstieg diente ein Impulsvortrag zu Kontext, Ziel und Ablauf der folgenden Modellevaluation. Die Diskussionsprache war Englisch.

- | |
|--|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. What are the requirements and expectations you have of surgical simulation models to be used in a War Surgery training? What is the additional value of these models? 2. What are your personal experiences with the training of technical skills on surgical simulation models? <ol style="list-style-type: none"> a) What methods have you worked with? (not VR or simulators for team-training) b) Where do you see advantages and disadvantages? 3. What role did non-technical skills (competencies) play while training with simulation models? <ol style="list-style-type: none"> a) Were competencies such as resilience to stress and the ability to work under pressure tested and trained? b) What influence did non-technical skills have on the work results when working with that model? |
|--|

Abbildung 12: Leitfaden zur Moderation der Fokusgruppendifkussion

Ablauf

Die Fokusgruppendifkussion fand in den Räumlichkeiten des Bundeswehrkrankenhauses Berlin statt. Nach dem Einführungsvortrag wurden die Teilnehmer gebeten, ihr Einverständnis zur anonymisierten Aufzeichnung und wissenschaftlichen Nutzung der im Verlauf des Workshops gesammelten Daten zu geben. Alle Teilnehmer willigten schriftlich ein. Der Moderator stellte sich selbst und seine Rolle im Projekt vor und leitete die Diskussion. Zur Optimierung der Datengewinnung wurde die verbale Kommunikation mithilfe zweier Digital Voice Recorder (Modell DS-30, Fr. Olympus Europa, Hamburg, Deutschland) aufgezeichnet und die nonverbale Kommunikation (Stimmung, Emotionen) handschriftlich ergänzt. Die Diskussion dauerte ca. 50 Minuten.

Datenauswertung

Die Transkription der Audiodatei erfolgte mithilfe der Transkriptions-Software „Transcribe“ (Wreally Studios, Los Angeles, USA). Als Orientierung wurden allgemeine Regeln für ein einfaches Transkript in der qualitativen Forschung berücksichtigt.⁶⁹ Das gesamte Transkript wurde anonymisiert und es erfolgte keine Zuordnung der Aussagen zu den Diskussionsteilnehmern.

Die Auswertung des englischen Transkripts erfolgte auf Inhaltsebene als qualitative Inhaltsanalyse nach Mayring entsprechend einer „theorie- und regelgeleiteten Analyse fixierter Kommunikation mit dem Ziel, Rückschlüsse auf bestimmte Aspekte der Kommunikation zu ziehen“.⁷⁰ Die deduktive Kategorienbildung erfolgte anhand des Interviewleitfadens. Für jede Kategorie wurden Einschlusskriterien definiert und Ankerbeispiele, die diese widerspiegeln, hinzugefügt. Diese Kategorien dienen als Raster für die Zuweisung aller relevanten Textstellen. Nach einer inhaltlichen Gruppierung der Textstellen innerhalb jeder Kategorie wurden die dort angebrachten Argumente formuliert. Beispielhaft ist dies in Abbildung 13 aufgeführt.

Deduktive Kategorienbildung

A Requirements and Expectations of Simulation Models

B Personal Experiences with Simulation Models

C Non-technical skills in Simulation

Sub-Kategorien, Einschlusskriterien und Ankerbeispiele

B1 Experience with training of technical skills using simulation models

- Alle Textstellen, die die persönliche Erfahrung mit dem Training von technical skills an Simulationsmodellen beschreiben
- *„we're just trained in the traditional way. We learned the open surgeries, we learned the live tissue training and we don't have the chance to have got our experience with mannequins. I just remember the first aid mannequins that do CPR, that's all“*

B2 Advantages of (different kinds of) simulation

- Alle Textstellen, die die Vorteile von Simulationen beschreiben
- *“find a way to get around live animal surgery in the end“;*
“70% of mistakes in medicine are due to human errors“;
“some of the surgeries are very rare and then you need a lot of expertise so you can deal with any of these situations“

B3 Disadvantages of (different kinds of) simulation

- Alle Textstellen, die die Nachteile und Limitationen von Simulationsmodellen beschreiben
- *“It's not possible to educate a surgeon during three or four or five weeks of simulation in this mental step. I think. It's a long, a life-long education. This education is the education we will train the young surgeons in our surgical rooms, in our shock rooms, in our courses of course, and I think the whole system will end in the situation he can manage this stress for himself.“*

Abbildung 13: Beispielhafte Darstellung der qualitativen Inhaltsanalyse für „B: Personal Experiences with Simulation Models“. Unter B1, B2 und B3 werden Sub-Kategorien aufgelistet, die die Kategorie B weiter beschreiben. Für jede Sub-Kategorie werden die Einschlusskriterien und ein Ankerbeispiel, also ein beispielhaftes Zitat, das den Einschlusskriterien entspricht, angegeben.

Die Analyse des Transkripts erfolgte in Originalsprache (Englisch) und nach Finalisierung der Ergebnisse erfolgte die Übersetzung der Kernargumente ins Deutsche durch das Bundessprachenamt (Referat SMD 10 - Sanitätsdienst, Hürth, Deutschland).

6.3 Phase II – Evaluation der Human Patient Simulators

Im Rahmen eines „Abgewandelten Trainings Einsatzchirurgie mit Evaluation technischer Trainingsmodelle“ wurden vier der aktuell modernsten international verfügbaren Human Patient Simulators durch ein national und international besetztes Expertengremium hinsichtlich definierter Aspekte bewertet.

Teilnehmende

Der Evaluationsprozess erfolgte durch das in Phase I beschriebene Gremium aus 16 Experten, die gezielt aufgrund ihrer Expertise im Bereich der Notfallchirurgie zum „Abgewandelten Trainings Einsatzchirurgie mit Evaluation technischer Trainingsmodelle“ in Berlin im November 2017 eingeladen worden waren und freiwillig an der Evaluation teilnahmen.

Simulationsmodelle

Vier Firmen stellten Prototypen von Simulationsmodellen vor, die speziell zur notfallchirurgischen Ausbildung entwickelt worden waren (Tabelle 4). Die Modelle wurden teilweise mit Kunstblut perfundiert.

Tabelle 4: In die Evaluation eingeschlossene Human Patient Simulators

| Modell | Firma | Körperregion | Kürzel |
|---|---|--------------------|----------|
| Weiterentwicklung Surgical Cut Suit | Strategic Operations (San Diego, CA, USA) | Abdomen | StratOp |
| TraumaMan Surgical Simulator | SimuLab (Seattle, WA, USA) | Abdomen | SimuLab |
| SynDaver Surgical Model | SynDaver Labs (Tampa, FL, USA) | Ganzkörper | SynDaver |
| Surgical Simulator Laparotomy/Thoracotomy | Operative Experience (North East, MD, USA) | Thorax, Abdomen | OpEx |

Fragebögen

Die Bewertungskriterien wurden in Zusammenarbeit mit dem DSFZ der Charité – Universitätsmedizin Berlin (Prof. Dr. med. H. Peters) erarbeitet.

Anhand von strukturierten Fragebögen im Papierformat wurden mit Hilfe von Likert-Skalen (1 = schlechteste Bewertung bis 5 = beste Bewertung, sowie „N/A“ = keine Bewertung möglich) die folgenden chirurgisch relevanten Qualitäten beurteilt:

1. Identifizierbarkeit und Realitätsnähe relevanter anatomischer Strukturen (18 Items)
Können alle relevanten anatomischen Strukturen korrekt identifiziert werden? Sind sie realistisch dargestellt? Ist die Topographie korrekt?
2. Durchführbarkeit und Realitätsnähe definierter notfallchirurgischer Manöver (36 Items)
Können alle relevanten Manöver durchgeführt werden? Sind die Schlüsselschritte der Manöver anhand dieses Modells erlernbar?
3. Haptik der Organe und Gewebe (13 Items)
Fühlen sich Organe und Gewebe realistisch an? Können sie anhand ihrer Haptik identifiziert werden?
4. Schnitt- und Nahtqualitäten der Organe und Gewebe (13 Items)
Sind Schnitte und Nähte im Organ/Gewebe realitätsnah? Können Organe/Gewebe anhand dieser Eigenschaften identifiziert werden?

Die eingeschlossenen notfallchirurgischen Manöver leiteten sich aus dem Anforderungsspektrum an Einsatzchirurg:innen der Bundeswehr ab und umfassten die in Tabelle 5 aufgeführten Eingriffe. Neurochirurgische, urologische und gynäkologische Manöver sowie Manöver in der Halsregion wurden nicht evaluiert.

Zusätzlich konnten für jede Kategorie Kommentare als Freitext notiert werden.

Tabelle 5: Anatomische Strukturen, Chirurgische Manöver, Organe und Gewebe, die im Rahmen der Evaluation bewertet wurden

| Region | Anatomische Strukturen | Chirurgische Manöver | Organe | Gewebe |
|--------------------------------|---|--|---|--|
| Thorax | <ul style="list-style-type: none"> • Lungenhilus • Intercostalarterien • A. thoracica interna | <ul style="list-style-type: none"> • Thorakotomie • Sternotomie • Hiluskontrolle • Atypische Lungenresektion • Cross-Clamping der Aorta descendens • Perikardfensterung • Offene Herzdruckmassage | <ul style="list-style-type: none"> • Lunge | |
| Abdomen | <ul style="list-style-type: none"> • Ligamentum hepatoduodenale • Milzhilus • Aorta abdominalis mit Abgängen • Vena cava inferior mit Zuflüssen | <ul style="list-style-type: none"> • Laparotomie • Leber-Packing • Lebermobilisation • Pringle Manöver • Splenektomie • Cattell-Braasch-Manöver • Mattox-Manöver • Gefäßnaht der Vena cava inferior • Darmanastomose • Enterostoma | <ul style="list-style-type: none"> • Leber • Pankreas • Milz • Magen • Dünndarm • Colon | <ul style="list-style-type: none"> • Haut • Fettgewebe • Muskulatur • Gefäßsystem • Knochen |
| Retroperitoneum/ Becken | <ul style="list-style-type: none"> • Ureter • Arteria ovarica/ testicularis | <ul style="list-style-type: none"> • Präperitoneales Packing | <ul style="list-style-type: none"> • Nieren | |

Ablauf

Die Evaluation erfolgte in den Räumen des Bundeswehrkrankenhauses Berlin. Die Teilnehmenden wurden zufällig in vier Gruppen eingeteilt (vier Teilnehmende pro Gruppe). Nach einer einführenden Demonstration der Modelle durch anwesende Firmenvertreter:innen evaluierten die Teilnehmenden im Rotationsverfahren jedes Modell anhand der Fragebögen. Für jedes Modell standen ca. 90 min zur Verfügung.

6.4 Phase III – Einsatzchirurgie-Lehrgang

Das einwöchige Training Einsatzchirurgie wird jährlich in Operationssälen des chirurgischen Simulationszentrums Medizin im Grünen (Inh. Dr. med. H. Ziervogel, Wendisch-Rietz, Deutschland) durchgeführt. Die praktischen Übungen finden unter der Anleitung einsatzerfahrener Instruktoren der Bundeswehr statt. Die zwei etablierten Simulationsmodalitäten (Humane Körperspender, Live Tissue Training) und die nach Phase II ausgewählten Human Patient Simulators wurden in den Kurs eingeschlossen und durch die Teilnehmenden des Kurses evaluiert.

Teilnehmende

Als Teilnehmende wurden entsprechend der Kapazität des TEC 16 Trainees eingeschlossen. Die Teilnehmenden wurden zu Beginn des Kurses über die freiwillige Teilnahme an der Studie aufgeklärt und gaben anschließend schriftlich ihr Einverständnis zur Teilnahme.

Simulationsmodalitäten

Die eingesetzten humanen Körperspender werden ohne weitere Fixierung bei -30°C eingefroren und in der Regel 48 Stunden vor Ausbildungsbeginn der Kühlung entnommen und auf Raumtemperatur erwärmt (Fresh Frozen Cadavers). Mit einem konsequenten Temperaturregime (außerhalb der OP-Zeiten erfolgt die Lagerung bei -1°C) ist eine mehrmalige, bis zu drei Tage andauernde Nutzung möglich. Es wurden vier HC eingesetzt. Bei den anästhesierten Tiermodellen handelte es sich um Hausschweine (*Sus scrofa domesticus*), die durch eine anwesende Veterinärmedizinerin und Assistent:innen während des Trainings betreut wurden. Es wurden zwölf Schweine eingesetzt. Es handelte sich um Terminalversuche, sodass die Tiere am Ende der Ausbildung medikamentös euthanasiert werden.

Die HPS stammen von den zwei nach Phase II ausgewählten Firmen und sind in Tabelle 6 aufgeführt.

Tabelle 6: In die Evaluation eingeschlossene Human Patient Simulators

| Modell | Firma | Körperregion | Kürzel |
|---|---|--------------|---------|
| Weiterentwicklung Surgical Cut Suit | Strategic Operations (San Diego, CA, USA) | Abdomen | StratOp |
| Surgical Simulator Laparotomy/Thoracotomy | Operative Experience (North East, MD, USA) | Abdomen | OpEx |

Ablauf

Das Training Einsatzchirurgie wurde im Simulationszentrum der Firma *Medizin im Grünen* (Wendisch-Rietz, Deutschland) durchgeführt. Das reguläre Format des TEC umfasste die zweitägige Ausbildung an Fresh Frozen Human Cadavers in Form des ASSET-Kurses⁵² und ein zweitägiges Training der Versorgung komplexer Verletzungen am anästhesierten Schwein (LTT) (siehe Abbildung 14). Das modifizierte TEC als Teil dieser Studie beinhaltete zusätzlich eine eintägige Ausbildungseinheit an Human Patient Simulators.



Abbildung 14: Ablauf des regulären TEC (oben) und des in dieser Arbeit evaluierten modifizierten TEC (unten). Quelle: Eigene Darstellung.

Tag 1 und 2: Humane Körperspender

Die eingesetzten Körperspender wurden durch Personal des Simulationszentrums bereitgestellt, zeitgerecht aus der Tiefkühlung entnommen, auf Operationstischen zur Ausbildung vorbereitet und unter Raumtemperatur passiv erwärmt. Zwischen den Ausbildungstagen wurden die Körperspender erneut einer Kühlung zugeführt. Die Ausbildung erfolgte durch Instruktoren des TEC anhand eines strukturierten Curriculums entsprechend dem ASSET-Kurs.⁵²

Tag 3: Human Patient Simulators

Die HPS wurden durch die Firmenanbieter vorbereitet, betrieben und in Ausbildungspausen repariert bzw. austauschbare Organe und Gewebe wenn nötig ersetzt. Die Ausbildung wurde durch Instruktoren des TEC geleitet und als Stationsausbildung strukturiert, die das Durchführen der in die Evaluation aufgenommenen chirurgischen Manöver ermöglichte.

Tag 4 und 5: Live Tissue Training

Die eingesetzten Schweine wurden durch veterinärmedizinisches Personal im Medizinischen Simulationszentrum prämediziert, narkotisiert und endotracheal intubiert, erhielten zentralvenöse und arterielle Katheter und wurden während der gesamten Trainingsdauer nach Maßgabe des Tierschutzgesetzes⁷¹ betreut. Nach dem Ende der Ausbildungseinheit wurden sie mittels einer intravenösen Injektion von Kaliumchlorid euthanasiert. Die Ausbildung erfolgte durch Instruktoren des TEC anhand fallorientierter Szenarien, die eine Durchführung der notfallchirurgischen Manöver ermöglichten.

Während der gesamten Ausbildung wurden die Instrumente der Einsatzchirurgie-Siebe, entsprechend beispielsweise den Berlin Acute Trauma Care Instrument Sets (BATMIN)⁷², der Bundeswehr verwendet und die operationstechnische Assistenz erfolgte durch Operationstechnische Assistent:innen der Bundeswehr.

Fragebögen

Die Evaluation durch die Teilnehmer erfolgte mithilfe von anonymen Fragebögen in Papierformat. Ihre Schwerpunkte sind in Tabelle 7 und die Abfolge der Messzeitpunkte in Abbildung 15 aufgeführt. Alle Bewertungen bewegen sich dabei auf einer Skala von 1 bis 5 bei Beurteilung der Simulationsmodalitäten bzw. 1 bis 6 bei Angaben zur subjektiven Handlungssicherheit (1 = schlechteste Bewertung bis 5 (6) = beste Bewertung, sowie „N/A“ = keine Bewertung möglich).

Tabelle 7: Eingesetzte Fragebögen mit Messzeitpunkt (MZP), Schwerpunkt und Antwortformat

| Fragebogen | Messzeitpunkt | Messwerte | Format |
|--------------------|---|---|--|
| ALPHA | Kursbeginn (MZP 1) | Selbsteinschätzung zur subjektiven Handlungssicherheit bei der Durchführung notfallchirurgischer Manöver (Pre-Course) | Likert-Skala 1 – 6 |
| PRE | Tag 1 (MZP 1) Tag 3 (MZP 4) Tag 4 (MZP 7) | Selbsteinschätzung zur Handlungssicherheit bei einer Fertigkeit vor der Ausbildungseinheit (Gefäßnaht an der A. iliaca communis) | Likert-Skala 1 – 6 |
| Fremdrating | Tag 2 (MZP 2) Tag 3 (MZP 5) Tag 5 (MZP 8) | Bewertung der Handlungssicherheit durch einen Instruktor während der Ausbildungseinheit (OSATS-Score) | Global Rating Scale 1 – 5 und Checkliste (ja/nein) |
| POST | Tag 2 (MZP 3) Tag 3 (MZP 6) Tag 5 (MZP 9) | Selbsteinschätzung zur Handlungssicherheit bei einer Fertigkeit nach der Ausbildungseinheit (Gefäßnaht an der A. iliaca communis) | Likert-Skala 1 – 6 |
| METHODE | Tag 2 (MZP 3) Tag 3 (MZP 6) Tag 5 (MZP 9) | Beurteilung der Durchführbarkeit und Realitätsnähe notfallchirurgischer Manöver an der Modalität | Likert-Skala 1 – 5 |
| | | Physikalische Eigenschaften (Haptik, Schneidequalität) von Organen und Gewebearten | Likert-Skala 1 – 5 |
| | | Psychische Beanspruchung durch die Modalität | Likert-Skala 1 – 5 |
| OMEGA | Kursende (MZP 9) | Selbsteinschätzung zur subjektiven Handlungssicherheit bei der Durchführung notfallchirurgischer Manöver (Post-Course) | Likert-Skala 1 – 6 |



Abbildung 15: Messzeitpunkte (MZP) in Relation zum Kursablauf, an denen die oben beschriebenen Fragebögen eingesetzt wurden

Der Fragebogen ALPHA (46 Items, siehe Tabelle 8) diente der Erfassung einer Baseline der individuellen Handlungssicherheit der Teilnehmer, an der die Steigerung der

Selbstwirksamkeit als Maß des subjektiven Lernerfolgs des Kurses (technische Fertigkeiten und nicht-technische Fähigkeiten) gemessen werden konnte. Die eingeschlossenen Manöver sind aus dem Curriculum des Trainings Einsatzchirurgie abgeleitet und entsprechen denen, die auch im Fragebogen METHODEN (siehe unten) erfasst wurden. Außerdem wurden eventuell vorhandene Vorerfahrungen erfragt. Der Fragebogen OMEGA (46 Items) diente als Vergleichspunkt zu ALPHA und sollte die Steigerung der subjektiven Handlungssicherheit (Selbstwirksamkeit) durch das TEC zeigen.

Die Fragebögen PRE und POST (jeweils 4 Items) dienen der beispielhaften Darstellung der Steigerung der subjektiven Handlungssicherheit durch die drei Simulationsmodalitäten (Humane. Körpeerspender, Human Patient Simulators, Live Tissue Training) anhand einer exakt definierten Indexoperation (Versorgung einer Verletzung der A. iliaca communis), um gegebenenfalls einen unterschiedlichen Einfluss der Simulationsmodalitäten auf den Lernerfolg aufzuzeigen.

Der Bewertungsbogen FREMDRATING diente zur Objektivierung der subjektiven Handlungssicherheit bei der Versorgung der zuvor subjektiv bewerteten Indexoperation. Zur Beurteilung wurde die Global Rating Scale des Objective Structured Assessment of Technical Skills – Scores (OSATS-Score)⁷³ eingesetzt, der sieben Aspekte der Handlungssicherheit bei der Ausführung chirurgischer Manöver abbildet. Außerdem wurde eine Checkliste mit den zehn durch Experten definierten Operationsschritten eingesetzt. Die Beurteilung erfolgte durch Instruktoren des TEC.

Der Fragebogen METHODE diente zur Evaluation der ausbildungsrelevanten Eigenschaften der verschiedenen Simulationsmodalitäten (HC, HPS, LTT). Dies beinhaltete die Durchführbarkeit und Realitätsnähe definierter notfallchirurgischer Manöver sowie die Haptik und Schneidequalität der Organe und Gewebe. Außerdem wurden die psychische Beanspruchung, bestehend aus den Items Stressempfinden sowie Wissens- und Lernzuwachs, und die moralischen Bedenken erfasst. Kommentare konnten als Freitext ergänzt werden.

Tabelle 8: Anatomische Strukturen, Chirurgische Manöver, Organe und Gewebe, die im Rahmen der Evaluation bewertet wurden.

| Region | Anatomische Strukturen | Chirurgische Manöver | Organe | Gewebe |
|--------|--|--|---|--|
| Thorax | <ul style="list-style-type: none"> • Lungenhilus • Intercostalarterien • A. thoracica interna | <ul style="list-style-type: none"> • Thorakotomie • Sternotomie • Hiluskontrolle • Atypische Lungenresektion • Cross-Clamping der Aorta descendens • Perikardfensterung • Offene Herzdruckmassage | <ul style="list-style-type: none"> • Lunge | <ul style="list-style-type: none"> • Haut • Fettgewebe • Muskulatur • Gefäßsystem • Knochen |

| | | | |
|----------------|---|--|---|
| Abdomen | <ul style="list-style-type: none"> • Ligamentum hepatoduodenale • Milzhilus • Aorta abdominalis mit Abgängen • Vena cava inferior mit Zuflüssen | <ul style="list-style-type: none"> • Laparotomie • Leber-Packing • Lebermobilisation • Pringle Manöver • Splenektomie • Cattell-Braasch-Manöver • Mattox-Manöver • Gefäßnaht der Vena cava inferior • Darmanastomose • Enterostoma | <ul style="list-style-type: none"> • Leber • Pankreas • Milz • Magen • Dünndarm • Colon |
| | Retroperitoneum/ Becken | <ul style="list-style-type: none"> • Ureter • Arteria ovarica/ testicularis | <ul style="list-style-type: none"> • Präperitoneales Packing |

6.5 Datenauswertung und Statistik in Phase II und III

Ein Item wurde nur dann in die Auswertung eingeschlossen, wenn maximal 25% der Teilnehmer dieses mit „N/A“ bewertet oder ausgelassen, also mindestens 75% der Teilnehmer eine numerische Bewertung abgegeben hatten. In diesem Fall wurde die Evaluation als „ausreichend“ angesehen. Wenn dies nicht der Fall war, wurde das Item aus der weiteren Evaluation ausgeschlossen. Hiermit sollte eine Verfälschung bzw. Fehlgewichtung der Ergebnisse gewährleistet werden, wenn nur eine geringe Anzahl der Teilnehmer eine numerische Bewertung abgab. Fehlende Bewertungen oder „N/A“ konnten entstehen, wenn eine Simulationsmodalität die entsprechende anatomische Struktur nicht darstellte oder das Manöver nicht durchgeführt werden konnte. Weitere Gründe stellen die fehlende Möglichkeit zur repetitiven Durchführung einiger Manöver oder technische Schwierigkeiten dar.

Zunächst erfolgte eine deskriptive Darstellung der Items. Hier wurden zur besseren Verständlichkeit sowohl Median (plus 1. und 3. Quartil) als auch der Mittelwert (plus Standardabweichung) angegeben.

Zur vergleichenden Auswertung wurde bei zweiseitiger Testung folgende Nullhypothese angenommen: Die Simulationsmodalitäten unterscheiden sich nicht hinsichtlich der jeweiligen Bewertung.

Phase II:

Um einen Vergleich der HPS für die Regionen Thorax und Abdomen durchführen zu können, wurden Summenscores der zugehörigen Items gebildet, deren vergleichende Auswertung in Abhängigkeit der einschließbaren, also ausreichend evaluierten, Faktoren je Item erfolgte: Bei zwei eingeschlossenen Faktoren als Wilcoxon-Vorzeichenrangtest oder bei drei oder vier eingeschlossenen Faktoren als Friedman-Test mit post-hoc-Tests (Dunn-Bonferroni-Tests), um bei Ablehnung der Nullhypothese Schlussfolgerungen über die Abstufung ziehen zu können. Das Signifikanzniveau wurde für jede der Auswertungen als $\alpha = 0,05$ definiert.

Die statistische Auswertung wurde mit IBM SPSS Statistics, Version 25.0. (IBM Corp., Armonk, NY, USA) und MS Excel (Microsoft, Redmon, WA, USA) durchgeführt.

Die zwei am besten bewerteten HPS wurden in die Phase III der Studie aufgenommen.

Phase III:

Um einen Vergleich der Simulationsmodalitäten für verschiedene Aspekte durchführen zu können, wurden Summenscores der zugehörigen Items gebildet (1. Haptik und Schnitt-/Nahtqualität von Gewebe und Organen, 2. Thorax, 3. Abdomen und 4. Gefäßsystem). Die Auswertung erfolgte in Abhängigkeit der Anzahl der einschließbaren Faktoren je Item: bei zwei eingeschlossenen Faktoren als Wilcoxon-Vorzeichenrangtest oder bei drei oder vier eingeschlossenen Faktoren als Friedmann-Test mit post-hoc-Tests (Dunn-Bonferroni-Tests), um bei Ablehnung der Nullhypothese Schlussfolgerungen ziehen zu können. Das Signifikanzniveau wurde für jede der Auswertungen als $\alpha = 0,05$ definiert.

Zur Auswertung von Items der PRE- und POST-, sowie der ALPHA- und OMEGA- Fragebögen wurde ebenfalls der Wilcoxon-Vorzeichenrangtest verwendet (Signifikanzniveau: $\alpha = 0,05$ für jede der Auswertungen). Für die Berechnung der Effektstärke wurde Cohen's r mit einer Einteilung von $r \geq .10$ = kleiner Effekt, $r \geq .30$ = mittlerer Effekt und $r \geq .50$ = großer Effekt verwendet.⁷⁴

Die statistische Auswertung wurde mit IBM SPSS Statistics, Version 25.0. (IBM Corp., Armonk, NY, USA) und MS Excel (Microsoft, Redmon, WA, USA) durchgeführt.

7. Ergebnisse

7.1 Phase I: Fokusgruppendifkussion

Es nahmen 16 Personen an der Fokusgruppendifkussion (FGD) teil. Alle Teilnehmer waren in leitenden Positionen relevanter Bereiche tätig und die langjährige Berufserfahrung in den Bereichen der Chirurgie und chirurgischen Ausbildung wurde als repräsentativ für das adressierte Themenfeld angesehen. Die Zugehörigkeit zu verschiedenen Aufgabenbereichen (14 aktive Chirurgen, zwei Leiter von Simulationszentren) und Arbeitgebern (elf militärisch, fünf zivil) sowie unterschiedliche Nationalitäten (2 Frankreich, 1 USA, 13 Deutschland) brachten Diversität. Die im Folgenden dargestellten Ergebnisse wurden unter Einhaltung der oben beschriebenen Methodik ohne Interpretation direkt aus dem Diskussions-Transkript abgeleitet und entsprechen der Meinung der Expertenrunde.

Zielgruppen für chirurgische Simulationen

Grundsätzlich gibt es zwei Zielgruppen für Simulationstraining. Einerseits müssen unerfahrene Anfänger die Möglichkeit haben, grundlegende technische Fertigkeiten zu erlangen, wie die Handhabung von chirurgischem Instrumentarium und Nahttechniken. Simulationen für unerfahrene Auszubildende sollten sich auf repetitives prozedurales Fertigkeitstraining an einfachen Skill-Trainern fokussieren. Erfahrene Chirurg:innen hingegen, die die technischen Fertigkeiten bereits besitzen, müssen mit komplexen Szenarien konfrontiert werden, die lebensechte „Patienten“ suggerieren und realitätsnahe Stressoren involvieren. Neben chirurgischen Anfängern und Experten sollte jedoch auch noch eine dritte Zielgruppe betrachtet werden: Grundsätzlich erfahrene Chirurg:innen aus nicht-traumatologischen chirurgischen Fachdisziplinen müssen traumaspezifische Fertigkeiten und Kompetenzen erlernen, ohne dass hierzu allgemeinchirurgische Grundlagen vermittelt werden müssen. Komplexe Simulationsszenarien trainieren außerdem nicht nur das Individuum, sondern können auch dazu beitragen, die Zusammenarbeit im Team zu verbessern.

Ausbildungsmodalitäten

Die traditionellen Ausbildungsmodalitäten sind vielfältig und jede Modalität besitzt spezifische Vor- und Nachteile.

Humanpräparate (Humane Körperspender, HC) eignen sich gut für das Training von technischen Fertigkeiten, da sie über korrekte anatomische Verhältnisse verfügen und es dem Auszubildenden ermöglichen, sich ausschließlich auf die praktischen Fähigkeiten zu konzentrieren. Aufgrund ausbleibender Blutungen ist es jedoch schwierig, komplexe Szenarien für fortgeschrittene Übungsteilnehmer zu simulieren, in denen ein zeitlicher Handlungsdruck bis zum Erreichen der Blutungskontrolle aufgebaut wird. Durch Einbindung

der Präparationsschritte in klinische Szenarien und ein striktes Zeitmanagement von Seiten der Instruktoren kann ein zeitlicher Handlungsdruck teilweise erreicht werden.

Hierfür eignet sich das **Live Tissue Training** (LTT) an anästhesierten Schweinen. Die anatomischen Strukturen des Schweins unterscheiden sich zwar von denen des Menschen, das Training an einem Lebewesen und die Notwendigkeit zur schnellen Blutungskontrolle, um das Leben des „Patienten“ zu retten, erzeugen eine hohe Stressbelastung und die Trainees müssen adäquat auf die physiologischen Veränderungen des Tieres reagieren. Blutungseigenschaften, Körpertemperatur und Gewebebeschaffenheit entsprechen denen menschlicher Traumapatient:innen. LTT ist daher zusätzlich sowohl als Trainingsmöglichkeit für die Versorgung von bestimmten Verletzungsmustern für das ganze Team geeignet, als auch um spezifisch das Team-Management zu üben. Nichtsdestotrotz ist das Ausmaß der psychischen Belastung nicht mit der zu vergleichen, die bei tatsächlichen Notfalloperationen auf das OP-Team zukommt, da es sich bei den Live Tissue Trainings dennoch um Terminalversuche an einem Tiermodell handelt.

Die höchste Stufe der notfallchirurgischen Ausbildung findet am **Traumapatienten** selbst statt. Schwierigkeiten bereitet hierbei die niedrige Fallzahl, die in den meisten deutschen Kliniken keine adäquate Trainingsmöglichkeit erlaubt. Außerdem hat in der Klinik immer das Wohlergehen der Patient:innen Priorität. Lehre im Operationssaal darf somit nicht die Qualität der Operation beeinflussen, weshalb die Auszubildenden oft in kritischen Situationen die Verantwortung an ihre erfahrenen Kolleg:innen abgeben müssen.

Simulationsmodelle als Lehrmittel

In der Simulation stehen nicht die „Patient:innen“ an erster Stelle, sondern das Lehr- und Lernumfeld. Jedoch ist der Lernprozess multimodal und dauert lebenslang an. Er kann durch Simulationsmodelle nur unterstützt, nicht ersetzt werden. In der Ausbildungsplanung muss bedacht werden, dass das Simulationsmodell nur seine Aufgabe erfüllen kann, wenn es in ein didaktisches Gesamtkonzept (Curriculum) eingebettet und an dieses adaptiert ist. Simulationsmodelle können schon in frühen Ausbildungsstadien eingesetzt werden, um grundlegende chirurgische Eigenschaften und Denkweisen zu trainieren. Hierfür werden die Simulationen der Zukunft moderne Lehrmethoden sowie die Vorstellungen und individuellen Bedürfnisse der Auszubildenden einschließen müssen.

Die Anwendungsmöglichkeiten für Simulationen sind vielfältig und können an die jeweilige Situation angepasst werden. Simulationsmodelle erlauben es den Auszubildenden, ihre Grundfertigkeiten zu üben, bevor sie mit weiteren Stressoren konfrontiert werden. Während fortschrittliche Simulationsmodelle meist einen großen Kostenfaktor darstellen, sind die Kosten für einfache, auf einzelne technische Fertigkeiten spezialisierte, Simulationsmodelle, sogenannte Skill-Trainer, vergleichsweise niedrig. Die Nutzung von Simulationsmodellen

könnte das Fehlen von traditionellen Trainingsoptionen für seltene traumatische Verletzungsmuster kompensieren und dazu beitragen, die Anzahl von Tieren im chirurgischen LTT zu reduzieren oder zu ersetzen.

Im Gegensatz zu LTT und der Lehre an Patient:innen können Fehlerquellen in der modellbasierten Simulation beliebig oft wiederholt und dadurch der Lernerfolg verbessert werden. Wiederholtes Üben und eine erhöhte Trainingszeit von Fertigkeiten an chirurgischen Simulationsmodellen und nicht-lebendigen Modellen generell reduziert die Anspannung und verbessert die Stressresilienz. Chirurgische Simulation zur Automatisierung von technischen Fertigkeiten könnte demnach auch indirekt nicht-technische Kompetenzen verbessern, indem kognitive Kapazitäten freigesetzt werden, die andernfalls nicht zur Verfügung stehen. Je höher die Souveränität der Operierenden bei der Durchführung einer operativen Maßnahme, desto besser die Teamkommunikation und Zusammenarbeit. Zusätzlich könnte dies die Fehlerrate reduzieren und somit zukünftig die Qualität der Patient:innenversorgung verbessern.

Technische Anforderungen an Simulationsmodelle

Die anatomischen Strukturen des Simulationsmodells müssen denen eines Menschen so ähnlich sein, dass sie eine Verbesserung der chirurgischen Leistung durch Training an diesem Modell in angemessener Weise garantieren. Das Modell muss sowohl haptisch als auch visuell dem menschlichen Körper ähneln. Dazu gehören auch die Perfusion und ein adäquates physiologisches Feedback auf den Eingriff. Gleichzeitig sollte das Simulationsmodell so standardisiert sein, dass es eine objektive Evaluation des Lernerfolgs erlaubt. Unterschiedliche Erfahrungslevel erfordern jedoch unterschiedliche Level an Realitätsnähe, da grundlegende technische Fertigkeiten nicht an komplexen Simulationsmodellen erlernt werden müssen. Hierfür sind einfache Modelle ausreichend.

Anforderungen an die Simulationsumgebung (Setting)

Sobald die Stufe des grundlegenden Fertigkeitstrainings abgeschlossen ist, bestehen die Anforderungen nicht nur an das Modell selbst, sondern auch an das umgebende Setting. Die Simulationsumgebung muss authentisch einem Operationssaal ähneln. Realistische Stressoren fördern die Verbesserung der nicht-technischen Kompetenzen. Zu diesen Stressoren gehören auch Limitationen bezüglich Infrastruktur, Zeit und besonders für unerfahrene Chirurg:innen die Beobachtung durch das Team. Die Simulation muss intraoperativ ein realistisches Maß an unbekanntem und mitunter auch unklaren Situationen bieten und die Simulationspatient:innen müssen physiologisch adäquat auf den Eingriff reagieren. Die Operation selbst muss so in die Umgebung eingebettet werden, dass den Chirurg:innen ein Gefühl von Verantwortung für die Patient:innen vermittelt wird. Hiermit verbunden sollte auch ein „Belohnungssystem“ integriert werden, das dem Team durch ein

gerettetes Leben im LTT ein positives Feedback widerspiegelt. Die Möglichkeit eines Open-End-Szenarios zwingt die Auszubildenden, auch über die Operation hinaus zu denken.

Multiple nicht-technische Stressoren steigern die Wirkung der Simulation als Lehrmittel. Simulationen müssen komplex genug auslegbar sein, um Entscheidungsfindung unter Stressbedingungen abzuverlangen und ein komplettes chirurgisches Team fordern zu können. Die ideale Simulation führt die Auszubildenden an ihre Grenzen und ermöglicht ein Scheitern unter kontrollierten Bedingungen und erlaubt im Fall eines Misserfolgs eine Wiederholung. Unabdingbar ist deshalb auch die Anleitung und Überwachung durch erfahrene Instruktoren, da unerfahrene Nutzer:innen die Simulationsmodelle ineffizient oder falsch einsetzen könnten.

7.2 Phase II: Evaluation der Human Patient Simulators

Eine Teilnehmergruppe bestand aus acht erfahrenen Einsatzchirurgen (Instruktoren des Trainings Einsatzchirurgie, Klinische Direktoren oder Oberärzte der chirurgischen Bundeswehrkliniken) und neun international renommierten Experten (6 Deutschland, 2 Frankreich, 1 USA) aus dem zivilen Bereich, die aufgrund ihrer Expertise eingeladen worden waren und freiwillig an der Evaluation teilnahmen.

Die Ergebnisse beziehen sich auf die Bewertung der oben beschriebenen Human Patient Simulators, die im Folgenden je nach Hersteller als OpEx (Operative Experience), SimuLab, StratOp (Strategic Operations) und SynDaver aufgeführt werden.

Anatomische Strukturen

Der Vergleich der Identifizierbarkeit und Realitätsnähe der anatomischen Strukturen war lediglich für das Lig. hepatoduodenale, den Milzhilus, die Aorta abdominalis und die Vena cava inferior möglich. Alle weiteren Items wurden für kein oder nur jeweils eines der HPS ausreichend bewertet. Die Bewertungen sind in Tabelle 9 dargestellt.

Die Aa. intercostales, die A. thoracica interna und die Ovarial- und Testikulargefäße wurden für keines der Simulationsmodelle ausreichend evaluiert. Für zwei der Modelle (SimuLab und SynDaver) fehlen die Bewertungen aufgrund fehlender oder mangelhafter Abbildung der anatomischen Strukturen überwiegend.

Tabelle 9: Identifizierbarkeit (I) und Realitätsnähe (R) ausgewählter anatomischer Strukturen. Die besten Bewertungen sind jeweils fett markiert. Leere Felder entsprechen einer nicht ausreichenden Evaluierung.

| Aspekt | | OpEx | | | SimuLab | | | StratOp | | | SynDaver | | |
|--------|------------------------------------|------|---------|--------------------|-----------------|---------|----------------|----------|--------------------|--------------------|-----------------|-------------|----------------|
| | | n | MW (SD) | Median (25;75) | n | MW (SD) | Median (25;75) | n | MW (SD) | Median (25;75) | n | MW (SD) | Median (25;75) |
| 1 | Lungenhilus | I | 12 | 4,00 (0,43) | 4 (4; 4) | | | | | | | | |
| | | R | | | | | | | | | | | |
| 2 | Lig. hepato-duodenale | I | 12 | 3,33 (0,78) | 3 (3; 4) | | | 12 | 4,08 (0,28) | 4 (4; 4) | | | |
| | | R | 12 | 2,92 (0,79) | 3 (3; 2) | | | 12 | 3,58 (0,49) | 4 (3; 4) | | | |
| 3 | Milzhilus | I | 12 | 3,92 (0,52) | 4 (4; 4) | | | 12 | 4,50 (0,50) | 4 (4; 5) | | | |
| | | R | 12 | 3,25 (0,97) | 4 (2; 4) | | | 12 | 4,33 (0,62) | 4 (4; 5) | | | |
| 4 | Aorta abdominalis (mit Abgängen) | I | 12 | 3,75 (0,75) | 4 (3; 4) | 15 | 2,87 (0,96) | 3 (2; 4) | 12 | 3,08 (0,86) | 3 (2; 4) | | |
| | | R | 12 | 2,92 (1,00) | 3 (3; 4) | 15 | 2,87 (0,96) | 3 (2; 4) | 12 | 3,33 (0,75) | 3 (3; 4) | | |
| 5 | Vena cava inferior (mit Zuflüssen) | I | 12 | 3,67 (0,65) | 4 (3; 4) | | | 12 | 3,58 (0,76) | 4 (3; 4) | | | |
| | | R | 12 | 3,58 (0,90) | 3 (3; 4) | | | 12 | 3,42 (0,90) | 3 (3; 4) | | | |
| 6 | Ureter | I | | | | | | | | | 13 | 3,23 (0,80) | 3 (2; 4) |
| | | R | | | | | | | | | 13 | 2,54 (1,28) | 3 (1; 4) |

Organe und Gewebe

Es wurden Haut, Muskulatur, Lunge, Leber, Pankreas, Milz, Magen, Dünndarm, Colon und Niere in mindestens einem Aspekt (Haptik und/oder Schnitt- und Nahtqualität) für mehr als ein Modell ausreichend evaluiert. (siehe Tabelle 10)

Tabelle 10: Haptik (H) und Schnitt- und Nahtqualität (Q) von Geweben und Organen. Die besten Bewertungen sind jeweils markiert. Leere Felder entsprechen einer nicht ausreichenden Evaluierung.

| Aspekt | | OpEx | | | SimuLab | | | StratOp | | | SynDaver | | |
|--------|------------|------|---------|--------------------|-----------------|--------------------|-----------------|---------|---------|----------------|----------|--------------------|-----------------|
| | | n | MW (SD) | Median (25;75) | n | MW (SD) | Median (25;75) | n | MW (SD) | Median (25;75) | n | MW (SD) | Median (25;75) |
| 1 | Haut | H | | | 15 | 2,53 (0,64) | 2 (2; 3) | | | | 13 | 1,85 (0,90) | 3 (2; 4) |
| | | Q | | | 14 | 2,50 (0,65) | 2 (2; 3) | | | | 13 | 2,92 (0,95) | 3 (2; 3) |
| 2 | Muskulatur | H | | | 15 | 2,80 (1,15) | 2 (1; 2) | | | | | | |
| | | Q | | | 15 | 2,73 (1,16) | 2 (1; 2) | | | | 12 | 2,08 (0,90) | 2 (1; 3) |
| 3 | Lunge | H | 12 | 3,33 (0,65) | 3 (3; 4) | | | | | | 13 | 1,46 (0,88) | 1 (1; 2) |
| | | Q | | | | | | | | | 13 | 1,69 (0,95) | 1 (1; 2) |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|----|----------|---|----|-------------|----------|----|-------------|-------------|----------|-------------|-------------|----------|-------------|----------|
| 4 | Leber | H | 12 | 4,08 (0,67) | 4 (4; 5) | | 12 | 3,33 (0,49) | 3 (3; 4) | 13 | 2,15 (0,80) | 2 (1; 3) | | |
| | | Q | | | | | | | | | | | | |
| 5 | Pankreas | H | 12 | 3,17 (0,72) | 3 (3; 4) | | 12 | 3,25 (0,62) | 3 (3; 4) | 13 | 1,85 (1,07) | 1 (1; 3) | | |
| | | Q | | | | | | | | | | | | |
| 6 | Milz | H | 12 | 3,50 (0,80) | 3 (3; 4) | | 12 | 3,58 (1,00) | 4 (3; 4) | 13 | 2,46 (1,20) | 2 (1; 4) | | |
| | | Q | | | | | | | | | | | | |
| 7 | Magen | H | 12 | 2,92 (0,67) | 3 (2; 3) | 13 | 2,15 (0,90) | 2 (1; 3) | 12 | 3,42 (0,79) | 4 (3; 4) | 13 | 2,15 (0,99) | 2 (1; 3) |
| | | Q | | | | 13 | 2,00 (0,82) | 2 (1; 3) | | | | | | |
| 8 | Dünndarm | H | 12 | 3,08 (1,00) | 3 (2; 4) | 12 | 2,25 (1,06) | 2 (1; 3) | 12 | 3,50 (0,52) | 3 (3; 4) | 13 | 2,77 (1,09) | 3 (2; 3) |
| | | Q | 12 | 2,83 (0,94) | 3 (2; 4) | | | | 12 | 3,58 (0,52) | 4 (3; 4) | 13 | 3,31 (0,86) | 4 (2; 4) |
| 9 | Colon | H | 12 | 2,83 (0,84) | 3 (2; 4) | | | | 12 | 3,67 (0,65) | 4 (3; 4) | 13 | 2,77 (1,24) | 3 (1; 4) |
| | | Q | | | | | | | | | | 13 | 3,08 (0,79) | 3 (2; 4) |
| 10 | Niere | H | | | | 14 | 2,50 (1,09) | 2 (2; 3) | 12 | 3,75 (0,62) | 4 (3; 4) | 13 | 1,85 (0,99) | 1 (1; 3) |
| | | Q | | | | 14 | 2,21 (1,05) | 2 (1; 3) | | | | | | |

Notfallchirurgische Manöver

Zum Vergleich der Human Patient Simulators wurden Regionen-bezogene Scores gebildet (I. Thorax, II. Abdomen). Ein Vergleich der Manöver am Thorax war nur für OpEx und SynDaver möglich, da die anderen Modelle keinen Thorax darstellten (siehe Tabelle 11). Ein Vergleich der Manöver am Abdomen war nur für OpEx und StratOp möglich, da die anderen HPS die relevanten Strukturen nicht darstellten oder diese nicht ausreichend bewertet wurden, um vergleichbare Scores zu bilden (siehe Tabelle 12). Die Sternotomie, die linksseitige mediale viszerale Rotation, die Anlage eines Anus praeter und das extraperitoneale Packing wurden für keines der Simulationsmodelle als ausreichend bewertet.

Tabelle 11: Durchführbarkeit (D) und Realitätsnähe (R) definierter notfallchirurgischer Manöver am Thorax. Die besten Bewertungen sind jeweils markiert. Leere Felder entsprechend einer nicht ausreichenden Evaluierung. Statistisch signifikante Unterschiede sind mit * bei $p < 0.05$ und ** bei $p < 0.01$ markiert.

| Aspekt | OpEx | | | SimuLab | | | StratOp | | | SynDaver | | |
|--------|----------------|---------|----------------|-------------|----------|----------------|---------|---------|----------------|----------|-------------|----------------|
| | n | MW (SD) | Median (25;75) | n | MW (SD) | Median (25;75) | n | MW (SD) | Median (25;75) | n | MW (SD) | Median (25;75) |
| 1 | Thorakotomie | D | | | | | | | | 13 | 2,69 (1,26) | 3 (1; 4) |
| | | R | | | | | | | | 13 | 2,46 (1,34) | 2 (1; 4) |
| 2 | Hiluskontrolle | D | 12 | 4,17 (0,80) | 4 (3; 5) | | | | | | | |
| | | R | 12 | 3,67 (1,11) | 4 (2; 5) | | | | | | | |

| | | | | | | | | | |
|---|-------------------------------------|---|----|---------------|----------|--|----|-------------|----------|
| 3 | Atypische Lungenresektion | D | 12 | 3,92 (0,28) | 4 (4; 4) | | 13 | 2,31 (0,82) | 2 (2; 3) |
| | | R | 12 | 3,17 (0,80) | 3 (2; 4) | | 13 | 1,77 (0,70) | 2 (1; 2) |
| 4 | Cross-Clamping der thorakalen Aorta | D | 12 | 4,17 (0,37) | 4 (4; 4) | | 13 | 2,46 (0,63) | 3 (2; 3) |
| | | R | 12 | 3,75 (0,43) | 4 (3; 4) | | 13 | 2,15 (0,95) | 3 (1; 3) |
| 5 | Perikardfensterung | D | 12 | 3,83 (0,55) | 4 (3; 4) | | | | |
| | | R | 12 | 3,67 (0,85) | 4 (3; 4) | | | | |
| 6 | Offene Herzmassage | D | 12 | 4,08 (0,64) | 4 (4; 5) | | | | |
| | | R | 12 | 3,83 (0,69) | 4 (4; 4) | | | | |
| I | Thorax gesamt | D | | 4,03 (0,58)** | 4 (4; 4) | | | 2,49 (0,97) | 3 (2; 3) |
| | | R | | 3,62 (0,85)** | 4 (3; 4) | | | 2,13 (1,08) | 2 (1; 3) |

Die Bewertungen der Durchführbarkeit der notfallchirurgischen Manöver am Thorax unterscheidet sich für OpEx (Median = 4) und SynDaver (Median = 3) hochsignifikant (asymptotischer Wilcoxon-Test: $z = .000$, $p = .002$, $n = 12$). Die Realitätsnähe dieser Manöver wurde statistisch hochsignifikant besser für OpEx (Median = 4) als für SynDaver (Median = 2) bewertet (asymptotischer Wilcoxon-Test: $z = .000$, $p = .002$, $n = 12$).

Tabelle 12: Durchführbarkeit (D) und Realitätsnähe (R) definierter notfallchirurgischer Manöver am Abdomen. Die besten Bewertungen sind jeweils markiert. Leere Felder entsprechen einer nicht ausreichenden Evaluierung.

| Aspekt | OpEx | | | SimuLab | | | StratOp | | | SynDaver | | |
|--------|--|---------|----------------|-------------|----------|----------------|---------|-------------|----------------|----------|---------|----------------|
| | n | MW (SD) | Median (25;75) | n | MW (SD) | Median (25;75) | n | MW (SD) | Median (25;75) | n | MW (SD) | Median (25;75) |
| 1 | Leberpacking | D | 12 | 4,25 (0,60) | 4 (4; 5) | | 12 | 4,08 (0,76) | 4 (4; 5) | | | |
| | | R | 12 | 4,25 (0,60) | 4 (4; 5) | | 12 | 3,75 (0,72) | 4 (3; 4) | | | |
| 2 | Lebermobilisation | D | | | | | 12 | 3,92 (0,86) | 4 (3; 5) | | | |
| | | R | | | | | 12 | 3,58 (1,11) | 4 (2; 5) | | | |
| 3 | Pringle-Manöver | D | 12 | 3,83 (0,99) | 4 (3; 5) | | 12 | 4,08 (0,49) | 4 (4; 4) | | | |
| | | R | 12 | 3,50 (0,76) | 3 (3; 4) | | 12 | 3,67 (0,62) | 4 (3; 4) | | | |
| 4 | Splenektomie | D | 12 | 4,08 (0,49) | 4 (4; 4) | | 12 | 4,50 (0,50) | 4 (4; 5) | | | |
| | | R | 12 | 3,67 (0,75) | 4 (3; 4) | | 12 | 4,17 (0,99) | 4 (3; 5) | | | |
| 5 | Rechtsseitige mediale viszerale Rotation | D | | | | | 12 | 4,00 (0,58) | 4 (4; 4) | | | |
| | | R | | | | | 12 | 3,67 (0,75) | 4 (3; 4) | | | |
| 6 | Gefäßnaht Vena cava inferior | D | 12 | 3,79 (0,56) | 4 (3; 4) | | 12 | 4,50 (0,50) | 4 (4; 5) | | | |
| | | R | 12 | 3,63 (0,62) | 4 (3; 4) | | 12 | 4,17 (0,90) | 4 (4; 5) | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|----|----------------|---|----|--------------------|-----------------|----|-------------|----------|----|--------------------|-----------------|----|-------------|----------|
| 7 | Darmanastomose | D | 12 | 3,42 (0,95) | 4 (2; 4) | 12 | 2,83 (0,90) | 3 (2; 4) | 12 | 4,00 (0,41) | 4 (4; 4) | 12 | 3,42 (0,64) | 3 (3; 4) |
| | | R | 12 | 2,92 (0,86) | 3 (2; 4) | 12 | 2,50 (0,76) | 2 (2; 3) | 12 | 3,67 (0,62) | 4 (3; 4) | 12 | 3,17 (0,69) | 3 (3; 4) |
| 8 | Laparotomie | D | 12 | 3,83 (0,55) | 4 (3; 4) | 13 | 3,00 (0,86) | 3 (2; 4) | 12 | 3,92 (0,49) | 4 (4; 4) | | | |
| | | R | 12 | 3,33 (0,94) | 3 (2; 4) | 13 | 2,31 (0,61) | 2 (2; 3) | 12 | 3,25 (0,92) | 3 (2; 4) | | | |
| II | Abdomen gesamt | D | | 3,87 (0,77) | 4 (3; 4) | | | | | 4,13 (0,64) | 4 (4; 4) | | | |
| | | R | | 3,55 (0,87) | 4 (3; 4) | | | | | 3,74 (0,90) | 4 (3; 4) | | | |

Der Vergleich der Bewertungen von OpEx (jeweils Median = 4) und StratOp (jeweils Median = 4) für notfallchirurgische Manöver am Abdomen zeigte weder für die Durchführbarkeit (asymptotischer Wilcoxon-Test: $z = 45.500$, $p = .066$, $n = 10$) noch für die Realitätsnähe (asymptotischer Wilcoxon-Test: $z = 38.000$, $p = .284$, $n = 10$) einen signifikanten Unterschied (siehe Tabelle 12).

Freitext-Kommentare: SimuLab und SynDaver

In Freitext-Kommentaren gaben die Teilnehmer zusätzliche Eindrücke an. Die in Tabelle 13 abgebildeten Aspekte dienen als ergänzende Komponente zur quantitativen Evaluation der Modelle.

Tabelle 13: Freitext-Kommentare der Teilnehmer (bei Dopplungen zusammengefasst)

| Modell | Kommentare |
|-------------------------------------|---|
| SynDaver (siehe Abbildung 16) | <ul style="list-style-type: none"> Realistische Interaktion des Sternums mit den Instrumenten (hier Lebscher Meißel) keine Blutung Knochen weicher als menschlicher Knochen und splittert nicht, Haut derb Hili der Lunge ausschließlich technische Verbindungen; Herz aus technischen Gründen dorsal fixiert und weder luxierbar noch komprimierbar keine Pleura, wichtige Strukturen (z.B. N. phrenicus) fehlen; unrealistische anatomische Landmarken wie Pleura, Herz und thorakale Gefäße („blockhartes Gewebe“) Hilus der Milz sehr unrealistisch; Milz ist am Magen fixiert und Leber und Darm liegen frei in der Bauchhöhle Weder Aorta noch V. cava verfügen über Seitenäste stuhlgefüllter Darm realitätsnah anatomische Verhältnisse stimmen nicht mit denen des Menschen überein (Milz am Magen fixiert, Pankreas entfernt vom Duodenum) |
| SimuLab (siehe Abbildung 17) | <ul style="list-style-type: none"> Fehlen essentieller Organe: Milz, Leber sowie die V. cava fehlen ganz; Aorta, Magen und Darm nur rudimentär Darmanastomose allenfalls für das Training von Einsteigern geeignet |



Abbildung 16: Chirurgisches Ganzkörpermodell **SynDaver Surgical Model®**. Die einzelnen Bestandteile wie Organe, Muskulatur und Gefäße sind austauschbar (einzelne Komponenten im Bild unten rechts). Organaufhängungen und Gewebeschichten, wie beispielsweise das Retroperitoneum, fehlen.

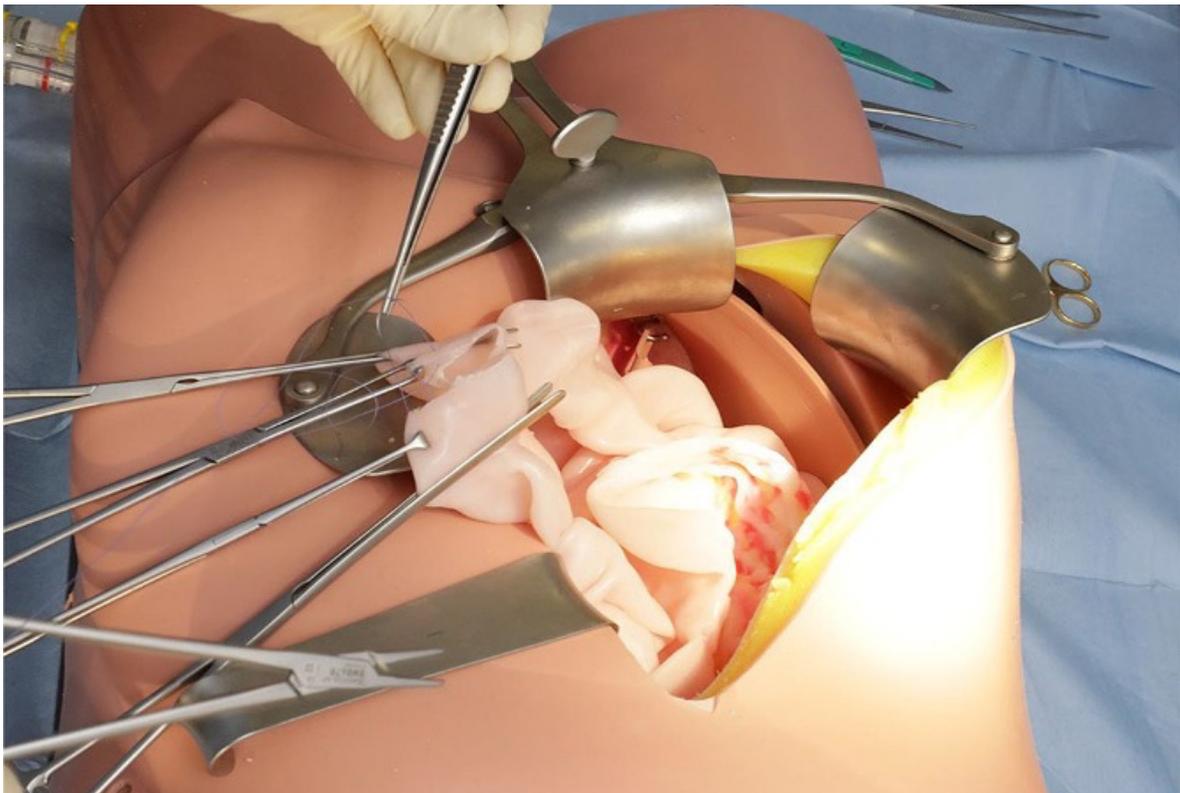


Abbildung 17: TraumaMan Surgical Abdomen®, hier **SimuLab**.

Freitext-Kommentare: StratOp und OpEx

In Freitext-Kommentaren gaben die Teilnehmer zusätzliche Eindrücke an. Die in Tabelle 14 abgebildeten Aspekte dienen als ergänzende Komponente zur quantitativen Evaluation.

Tabelle 14: Freitext-Kommentare der Teilnehmer (bei Dopplungen zusammengefasst)

| Modell | Kommentare |
|------------------------------------|--|
| OpEx (siehe Abbildung 18) | <ul style="list-style-type: none"> • Realistische Schichten des Abdomens, insbesondere Faszien und Muskulatur • Herz ähnelt LTT, realistische Darstellung kardialer Verletzungen • Lungengewebe zu dicht bzw. zu fest; Lungenhilus nicht realistisch • Platzverhältnisse im Thorax zu geräumig verglichen mit dem menschlichen Körper • cava mit exzellenten Blutungs- und Nahtqualitäten (ähnlich LTT) • Abgänge der Aorta fehlen und Darm nicht realistisch: trotz zu hoher Wanddicke fragiles Gewebe • Unterhalb des Rippenbogens: unphysiologische, scharfe Kanten, die die Arbeit behindern • Proportionen und anatomische Verhältnisse von Leber, Milz und V. cava positiv zu bewerten |
| StratOp (siehe Abbildung 19) | <ul style="list-style-type: none"> • Darstellung von Milz und Peritoneum sowie gute Fixierung des Darms sind hervorzuheben • Perfusion der Aa. gastricae breves spiegelt beispielhaft die hohe Detailtreue wider • fehlende Abgänge der Aorta und der V. cava • Organfixierungen im Bauchraum sind nicht oder nicht adäquat vorhanden • extraperitoneales Packing kann nicht an nicht anatomisch-korrekt Stelle durchgeführt werden • Haut und Knochen etwas zu weich; Pankreas zu fest, Dünndarm zu dick und ohne Schlingen • chirurgisch wichtige Schichten und Gewebe dargestellt; Orientierungspunkte sind allerdings nicht immer realistisch |

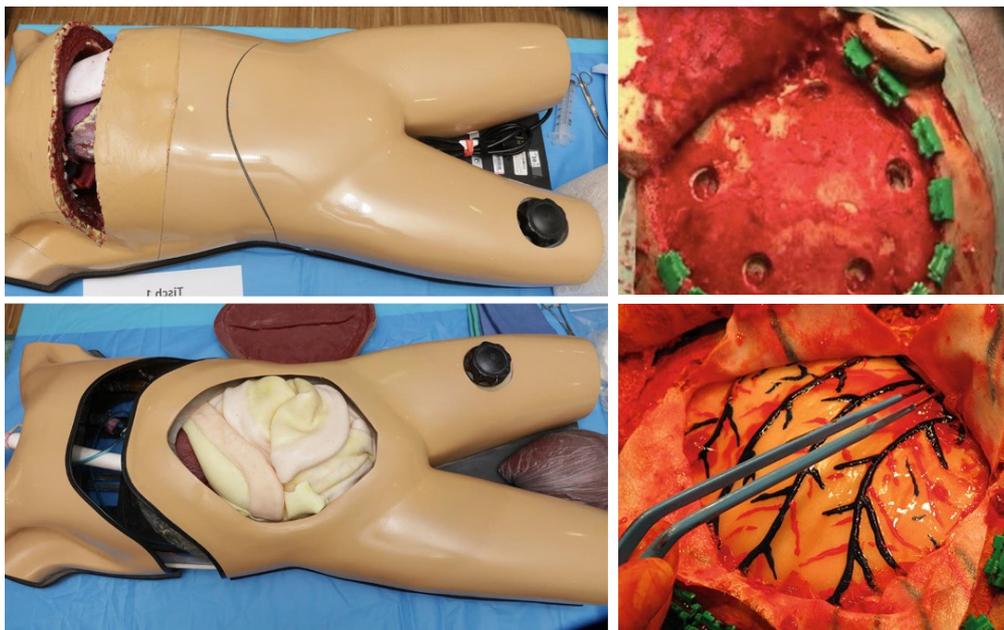


Abbildung 18: Links: Thorax- und Abdomenmodell der Fa. **Operative Experience Inc.** (Quelle: Eigene Aufnahme). Rechts: Kraniotomiemodell nach Setzen der Bohrlöcher und Heben der Schädelkalotte und Eröffnen der Dura zum Ausräumen eines subduralen Hämatoms.² Dieses Modell wurde in dieser Studie nicht getestet.



Abbildung 19: Abdomenmodell der Firma **Strategic Operations** (San Diego, CA, USA). Links im Bild lassen sich die Schläuche des Pumpensystems für Kunstblut erkennen, die wenigstens teilweise eine organspezifische Blutungsdarstellung ermöglicht. Quelle: Eigene Aufnahme.

7.3 Phase III: Training Einsatzchirurgie der Bundeswehr

Als Ergebnis der Evaluation der HPS wurden Prototypen abdomineller Simulationsmodelle der Firmen Operative Experience Inc. (OpEx) und Strategic Operations (StratOp) in das modifizierte Training Einsatzchirurgie 2018 integriert und mit Humanen Körperspendern und Live Tissue Training verglichen.

Es nahmen 16 Ärzt:innen der Bundeswehr, die sich zu diesem Zeitpunkt in der Weiterbildung zum Facharzt für Allgemeinchirurgie befanden oder diese bereits abgeschlossen hatten, am TEC teil. Zusätzlich durchliefen ein Facharzt für Anästhesie, drei Rettungsdienstmitarbeiter (Polizei und Bundeswehr) sowie vier Operationstechnische Assistent:innen den Kurs, die jedoch nicht als Studienteilnehmer gewertet wurden. Vier der Teilnehmenden waren weiblich und 12 männlich mit einem durchschnittlichen Alter von 34.

Physikalische Eigenschaften

Die Haptik sowie die Schnitt- und Nahtqualität der Gewebe und Organe wurde für alle Simulationsmodalitäten in ausreichendem Umfang bewertet. Zum statistischen Vergleich der Modalitäten wurden Scores aus den einzelnen Items gebildet, die ausreichend evaluiert wurden (siehe Tabelle 15).

Tabelle 15: Haptik und Schnitt- und Nahtqualität der Gewebe und Organe. Statistisch signifikante Unterschiede sind mit * bei $p < 0.05$ und ** bei $p < 0.01$ markiert.

| Gewebe und Organe | | HC | | OpEx | | StratOp | | LTT | | Friedmann-Tests | | |
|-------------------|------------------------------|-----------------------|---|--|---|---|---|----------|--------------------|-----------------|---|---|
| | | MW (SD) | Median (25;75) | MW (SD) | Median (25;75) | MW (SD) | Median (25;75) | MW (SD) | Median (25;75) | | | |
| I. Gewebe | a) Haptik | Deskriptive Statistik | 4,25 (0,89) | 5 (3; 5) | 1,86 (0,76) | 2 (1; 2) | 2,68 (0,91) | 3 (2; 3) | 4,89 (0,35) | 5 (5; 5) | Chi-Quadrat (3) = 40.78 $p < .001^{**}$ $n = 16$ | |
| | | Score-bildende Items | Haut Fettgewebe Muskulatur Gefäße | Haut Fettgewebe Muskulatur Gefäße | Haut Fettgewebe Muskulatur Gefäße | Haut Fettgewebe Muskulatur Gefäße | Haut Fettgewebe Muskulatur Gefäße Knochen | | | | | |
| | b) Schnitt- und Nahtqualität | Deskriptive Statistik | 4,36 (0,76) | 4 (5; 5) | 1,89 (0,65) | 2 (1; 2) | 2,69 (0,81) | 3 (2; 3) | 4,89 (0,36) | 5 (5; 5) | | Chi-Quadrat (3) = 42.52 $p < .001^{**}$ $n = 16$ |
| | | Score-bildende Items | Haut Fettgewebe Muskulatur Gefäße | Haut Fettgewebe Muskulatur Gefäße | Haut Fettgewebe Muskulatur Gefäße | Haut Fettgewebe Muskulatur Gefäße | Haut Fettgewebe Muskulatur Gefäße Knochen | | | | | |
| II. Organe | a) Haptik | Deskriptive Statistik | 4,10 (0,94) | 4 (3; 5) | 2,15 (0,81) | 2 (2; 3) | 2,97 (0,79) | 3 (2; 4) | 4,92 (0,28) | 5 (5; 5) | Chi-Quadrat (3) = 36.51 $p < .001^{**}$ $n = 15$ | |
| | | Score-bildende Items | Lunge Leber Milz Magen Dünndarm Colon Niere | Leber Milz Magen Dünndarm Colon Niere | Leber Milz Dünndarm Colon Niere | Leber Milz Dünndarm Colon Niere Magen | Lunge Leber Pankreas Milz Magen Dünndarm Colon Niere | | | | | |
| | b) Schnitt- und Nahtqualität | Deskriptive Statistik | 4,02 (0,81) | 3 (4; 5) | 2,02 (0,64) | 2 (2; 2) | 2,64 (0,85) | 2 (2; 3) | 4,99 (0,09) | 5 (5; 5) | | Chi-Quadrat (3) = 36.92 $p < .001^{**}$ $n = 15$ |
| | | Score-bildende Items | Lunge Leber Magen | Leber Milz Dünndarm Colon | Leber Milz Dünndarm | Lunge Leber Pankreas Milz Magen Dünndarm Colon Niere | | | | | | |

In jeder der vier Kategorien zeigten sich statistisch hochsignifikante Unterschiede in der Bewertung der Simulationsmodalitäten (siehe Tabelle 15, Friedmann-Tests). Die Post-hoc-Testungen (Dunn-Bonferroni) ergaben folgende spezifizierende Erkenntnisse:

1. In keiner der Kategorien zeigten sich statistisch signifikante Unterschiede in der Bewertung von
 - a. HC vs. LTT
 - b. OpEx vs. StratOp.
2. Die Bewertung von OpEx war immer hochsignifikant schlechter als HC und LTT.
3. Die Bewertung von StratOp zeigte in den Kategorien IIa) Haptik und IIb) Schnitt- und Nahtqualität der Organe keine signifikanten Unterschiede zu HC.
4. LTT wurde in jeder der Kategorien am besten bewertet.

Freitext-Kommentare

In Freitext-Kommentaren gaben die Teilnehmer zusätzliche Eindrücke an. Die in Tabelle 16 abgebildeten Aspekte dienen als ergänzende Komponente zur quantitativen Evaluation.

Tabelle 16: Freitext-Kommentare der Teilnehmer (bei Dopplungen zusammengefasst)

| Modell | Kommentare |
|---------|---|
| HC | <ul style="list-style-type: none"> teilweise „zerfließende“ Qualität der Organe unangenehmer Geruch der Körperhöhlen |
| OpEx | <ul style="list-style-type: none"> nicht mit menschlichem Gewebe zu vergleichen anatomische Details fehlen/falsch dargestellt |
| StratOp | <ul style="list-style-type: none"> realistischer als Vergleichsmodell anatomische Details fehlen/falsch dargestellt |
| LTT | <ul style="list-style-type: none"> realitätsnah mit menschlichem Patienten vergleichbar |

Thorax

Die Bewertung kann ausschließlich für HC und LTT erfolgen, da keine Thorax-Modelle der zwei getesteten HPS (OpEx, StratOp) zur Verfügung gestellt wurden (siehe Tabelle 17 und Abbildungen 20 und 21).

Tabelle 17: Durchführbarkeit (D) und Realitätsnähe (R) definierter notfallchirurgischer Manöver am Thorax. OpEx und StratOp stellten keine Thoraxmodelle zur Verfügung. Leere Felder entsprechen einer nicht ausreichenden Evaluierung. Statistisch signifikante Unterschiede sind mit ** bei $p < 0.01$ markiert.

| Aspekt | HC | | | OpEx | | | StratOp | | | LTT | | | |
|--------------------------------|----|---------|--------------------|-----------------|---------|----------------|---------|---------|----------------|-----|-------------|--------------------|-----------------|
| | n | MW (SD) | Median (25;75) | n | MW (SD) | Median (25;75) | n | MW (SD) | Median (25;75) | n | MW (SD) | Median (25;75) | |
| 1 Thoraxdrainage | D | | | | | | | | | 16 | 4,69 (0,60) | 5 (5; 5) | |
| | R | | | | | | | | | 15 | 4,60 (0,63) | 5 (4; 5) | |
| 2 Thorakotomie | D | 15 | 4,81 (0,54) | 5 (5; 5) | | | | | | | 15 | 4,73 (0,59) | 5 (5; 5) |
| | R | 15 | 4,27 (0,80) | 4 (4; 5) | | | | | | | 15 | 4,80 (0,41) | 5 (5; 5) |
| 3 Clamshell-Thorakotomie | D | 16 | 5,00 (0,00) | 5 (5; 5) | | | | | | | 16 | 4,88 (0,34) | 5 (5; 5) |
| | R | 15 | 4,20 (0,78) | 4 (4; 5) | | | | | | | 15 | 4,80 (0,41) | 5 (5; 5) |
| 4 Sternotomie | D | 16 | 4,88 (0,34) | 5 (5; 5) | | | | | | | | | |
| | R | 15 | 4,27 (0,70) | 4 (4; 5) | | | | | | | | | |
| 5 Blutungskontrolle Thoraxwand | D | | | | | | | | | 14 | 4,86 (0,36) | 5 (5; 5) | |
| | R | | | | | | | | | 13 | 4,85 (0,38) | 5 (5; 5) | |

| | | | | | | | | |
|----|--|---|----|-------------|----------|----|--------------------|-------------------|
| 6 | Naht des Lungenparenchyms | D | | | | 14 | 5,00 (0,00) | 5 (5; 5) |
| | | R | | | | 13 | 4,92 (0,28) | 5 (5; 5) |
| 7 | Atypische Lungensektion | D | | | | 14 | 4,93 (0,27) | 5 (5; 5) |
| | | R | | | | 13 | 4,92 (0,28) | 5 (5; 5) |
| 8 | Hiluskontrolle | D | 16 | 4,25 (0,76) | 4 (4; 5) | 16 | 4,69 (0,60) | 5 (4; 5) |
| | | R | 15 | 3,53 (0,83) | 4 (3; 4) | 15 | 4,53 (0,74) | 5 (4; 5) |
| 9 | Blutungskontrolle der A. subclavia von intrathorakal | D | 14 | 4,07 (1,07) | 4 (4; 5) | | | |
| | | R | 13 | 3,54 (1,20) | 4 (2; 4) | | | |
| 10 | Blutungskontrolle an supraaortalen Gefäßen | D | 15 | 4,07 (0,88) | 4 (4; 5) | | | |
| | | R | 14 | 3,71 (0,99) | 4 (3; 4) | | | |
| 11 | Intrathorakale Herzmassage | D | | | | 16 | 5,00 (0,00) | 5 (5; 5) |
| | | R | | | | 15 | 4,87 (0,35) | 5 (5; 5) |
| 12 | Versorgung einer Herzverletzung | D | | | | 16 | 5,00 (0,00) | 5 (5; 5) |
| | | R | | | | 15 | 4,80 (0,56) | 5 (5; 5) |
| 13 | Abklemmen der thorakalen Aorta | D | 16 | 4,19 (0,98) | | 16 | 4,69 (0,60) | 5 (5; 5) |
| | | R | 15 | 3,27 (0,96) | 3 (2; 4) | 15 | 4,73 (0,59) | 5 (5; 5) |
| I. | Thorax gesamt | D | | 4,65 (0,61) | 5 (4; 5) | | 4,84 (0,20) | 5 (5; 5) |
| | | R | | 3,77 (0,78) | 4 (3; 5) | | 4,75 (0,35) | 5 (5; 5)** |

Die Bewertungen der Durchführbarkeit der notfallchirurgischen Manöver am Thorax unterschieden sich für HC (Median = 5) und LTT (Median = 5) nicht signifikant (asymptotischer Wilcoxon-Test: $z = -.401, p = .688, n = 16$). Die Realitätsnähe dieser Manöver wurde statistisch hochsignifikant besser für LTT (Median = 5) als für HC (Median = 4) bewertet (asymptotischer Wilcoxon-Test: $z = -3.103, p = .002, n = 16$). Die Effektstärke nach Cohen liegt bei $r = 0.78$ und entspricht einem starken Effekt.

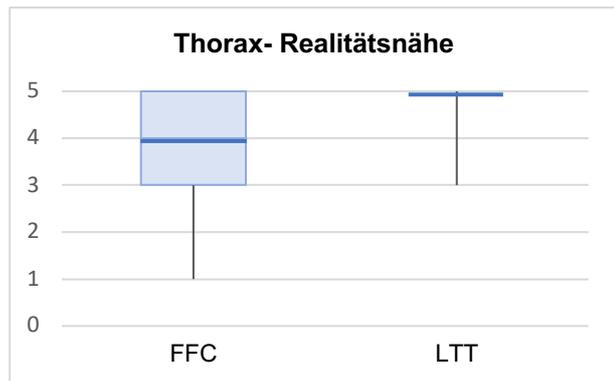
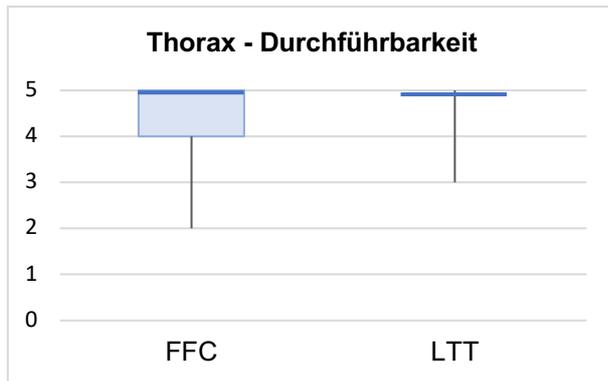


Abbildung 20: Verteilung der Bewertung der Durchführbarkeit notfallchirurgischer Manöver am Thorax
 Abbildung 21: Verteilung der Bewertung der Realitätsnähe notfallchirurgischer Manöver am Thorax

Der Vergleich der notfallchirurgischen Manöver am Abdomen konnte für die vier Modalitäten HC, OpEx, StratOp und LTT durchgeführt werden (Tabelle 18 und Abbildungen 22 und 23).

Tabelle 18: Durchführbarkeit (D) und Realitätsnähe (R) definierter notfallchirurgischer Manöver am Abdomen. Leere Felder entsprechen einer nicht ausreichenden Evaluierung. Statistisch signifikante Unterschiede sind mit ** bei $p < 0.01$ markiert.

| Aspekt | | HC | | | OpEx | | | StratOp | | | LTT | | | |
|--------|---|----|---------|--------------------|----------|-------------|----------------|----------|-------------|----------------|----------|--------------------|--------------------|----------|
| | | n | MW (SD) | Median (25;75) | n | MW (SD) | Median (25;75) | n | MW (SD) | Median (25;75) | n | MW (SD) | Median (25;75) | |
| 1 | Laparotomie | D | 16 | 4,88 (0,34) | 5 (5; 5) | 16 | 3,69 (1,14) | 4 (3; 4) | 16 | 3,69 (1,01) | 4 (3; 4) | 16 | 4,88 (0,34) | 5 (5; 5) |
| | | R | 15 | 4,20 (0,56) | 4 (4; 4) | 15 | 2,47 (0,92) | 2 (2; 3) | 14 | 2,86 (0,77) | 3 (2; 3) | 15 | 4,73 (0,46) | 5 (4; 5) |
| 2 | Kocher-Manöver | D | 16 | 4,63 (0,50) | 5 (4; 5) | 14 | 3,07 (1,33) | 3 (2; 4) | 13 | 3,38 (1,04) | 4 (3; 4) | 12 | 4,92 (0,29) | 5 (5; 5) |
| | | R | 15 | 3,73 (0,88) | 4 (3; 4) | 13 | 2,00 (0,91) | 2 (1; 2) | 12 | 2,42 (0,79) | 3 (2; 3) | 12 | 4,42 (0,67) | 5 (4; 5) |
| 3 | Splenektomie | D | | | 16 | 3,63 (1,09) | 4 (3; 4) | 16 | 3,75 (0,86) | 4 (3; 5) | 15 | 4,93 (0,26) | 5 (5; 5) | |
| | | R | | | 15 | 2,13 (0,74) | 2 (2; 3) | 15 | 2,87 (0,99) | 3 (2; 3) | 15 | 4,33 (0,90) | 5 (3; 5) | |
| 4 | Lebermobilisation | D | 15 | 4,73 (0,49) | 5 (4; 5) | 14 | 3,14 (1,29) | 3 (2; 4) | 12 | 3,42 (1,08) | 4 (3; 4) | 14 | 4,86 (0,36) | 5 (5; 5) |
| | | R | 14 | 3,71 (0,83) | 4 (3; 4) | 13 | 2,08 (0,86) | 2 (2; 3) | | | 3 (2; 3) | 14 | 4,21 (0,70) | 4 (4; 5) |
| 5 | Lebernaht | D | | | 13 | 3,15 (1,35) | 3 (2; 4) | 15 | 3,33 (1,18) | 4 (2; 4) | 15 | 4,87 (0,35) | 5 (5; 5) | |
| | | R | | | 12 | 2,00 (1,13) | 2 (1; 3) | 14 | 2,64 (0,84) | 3 (2; 3) | 14 | 4,93 (0,27) | 5 (5; 5) | |
| 6 | Mobilisation der rechten + linken Colonflexur | D | 15 | 4,67 (0,49) | 5 (4; 5) | | | 12 | 3,58 (1,08) | 4 (2; 4) | 12 | 4,42 (1,24) | 5 (4; 5) | |
| | | R | 14 | 3,93 (0,83) | 4 (3; 4) | | | 13 | 2,62 (1,33) | 3 (1; 3) | 12 | 3,42 (1,17) | 4 (3; 4) | |
| 7 | Darmresektion | D | | | 13 | 3,31 (1,11) | 4 (2; 4) | | | | 15 | 5,00 (0,00) | 5 (5; 5) | |
| | | R | | | 12 | 2,33 (0,65) | 2 (2; 3) | | | | 15 | 4,87 (0,35) | 5 (5; 5) | |
| 8 | Cattell-Braasch-Manöver | D | 15 | 4,53 (0,74) | 5 (4; 5) | 13 | 2,62 (1,12) | 3 (2; 3) | | | 12 | 4,92 (0,29) | 5 (5; 5) | |
| | | R | 15 | 3,60 (0,91) | 4 (3; 4) | 12 | 1,50 (0,67) | 1 (1; 2) | | | 12 | 3,92 (1,00) | 4 (3; 5) | |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|-------------------------------------|---|----|-------------|----------|----|-------------|----------|----|-------------|--------------------|-----------------|--------------------|-------------------|
| 9 | Mattox-Manöver | D | 15 | 4,53 (0,74) | 5 (4; 5) | 13 | 2,54 (1,13) | 2 (2; 3) | | 13 | 4,92 (0,28) | 5 (5; 5) | | |
| | | R | 15 | 3,60 (0,91) | 4 (3; 4) | 12 | 1,50 (0,67) | 1 (1; 2) | | 12 | 3,92 (1,00) | 4 (3; 5) | | |
| 10 | Intraabdominelles Packing | D | 14 | 4,64 (0,63) | 5 (4; 5) | 16 | 3,69 (1,08) | 4 (3; 4) | 16 | 4,00 (0,73) | 4 (3; 5) | 16 | 4,88 (0,34) | 5 (5; 5) |
| | | R | 15 | 3,60 (0,91) | 4 (3; 4) | 15 | 2,47 (0,99) | 3 (2; 3) | 15 | 3,33 (0,62) | 3 (3; 4) | 15 | 4,87 (0,35) | 5 (5; 5) |
| 11 | Pringle-Manöver | D | 15 | 4,73 (0,59) | 5 (4; 5) | 16 | 3,56 (1,09) | 4 (3; 4) | 15 | 3,80 (0,68) | 4 (3; 4) | 15 | 5,00 (0,00) | 5 (5; 5) |
| | | R | 15 | 3,60 (1,06) | 4 (3; 4) | 15 | 2,13 (0,83) | 2 (2; 2) | 14 | 3,29 (0,73) | 3 (3; 4) | 15 | 4,87 (0,35) | 5 (5; 5) |
| 12 | Versorgung einer Pankreasverletzung | D | | | | | | | | | | 13 | 4,92 (0,28) | 5 (5; 5) |
| | | R | | | | | | | | | | 12 | 4,42 (0,67) | 5 (4; 5) |
| II. | Abdomen gesamt | D | | 4,68 (0,42) | 5 (4; 5) | | 3,35 (0,99) | 3 (3; 4) | | 3,65 (0,80) | 4 (3; 4) | | 4,82 (0,24) | 5 (5; 5)** |
| | | R | | 3,78 (0,81) | 4 (3; 4) | | 2,16 (0,72) | 2 (2; 3) | | 2,83 (0,72) | 3 (2; 3) | | 4,82 (0,24) | 5 (4; 5)** |

Die Bewertungen der notfallchirurgischen Manöver am Abdomen unterschieden sich statistisch hochsignifikant zwischen den Modalitäten. Dies gilt sowohl für die Durchführbarkeit (Friedman-Test: Chi-Quadrat (3) = 22.192, $p < .001$, $n = 16$) als auch die Realitätsnähe (Friedman-Test: Chi-Quadrat (3) = 37.528, $p < .001$, $n = 16$). Die anschließend durchgeführten Post-hoc-Tests (Dunn-Bonferroni-Tests) zeigen, dass sich die Bewertungen der Durchführbarkeit für HC (Median = 5) und OpEx (Median = 3) signifikant unterscheiden ($z = 1.281$, $p_{angepasst} = .030$, Effektstärke nach Cohen (1992): $r = 0.32$ zugunsten HC). Ebenso unterscheiden sie sich hochsignifikant zwischen StratOp (Median = 4) und LTT (Median = 5) ($z = -1.469$, $p_{angepasst} = .008$, Effektstärke nach Cohen (1992): $r = 0.37$ zugunsten LTT) und OpEx und LTT ($z = -1.906$, $p_{angepasst} < .001$, Effektstärke nach Cohen (1992): $r = 0.48$ zugunsten LTT). Es zeigten sich keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den HPS (OpEx vs. StratOp), den etablierten Modalitäten (HC vs. LTT) und StratOp und HC. Die durchgeführten Post-hoc-Tests (Dunn-Bonferroni-Tests) zeigen Ähnliches für die Bewertungen der Realitätsnähe, jedoch sind die Effektstärken hier noch größer: für HC und OpEx unterscheiden sie sich hochsignifikant ($z = 1.719$, $p_{angepasst} = .001$, Effektstärke nach Cohen (1992): $r = 0.43$ zugunsten HC). Ebenso unterschieden sie sich hochsignifikant zwischen StratOp und LTT ($z = -1.781$, $p_{angepasst} = .001$, Effektstärke nach Cohen (1992): $r = 0.45$ zugunsten LTT) und OpEx und LTT ($z = -2.656$, $p_{angepasst} < .001$, Effektstärke nach Cohen (1992): $r = 0.66$ zugunsten LTT). Es zeigten sich keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den Simulationsmodellen (OpEx vs. StratOp), den etablierten Trainingsmodalitäten (HC vs. LTT) und StratOp und HC.

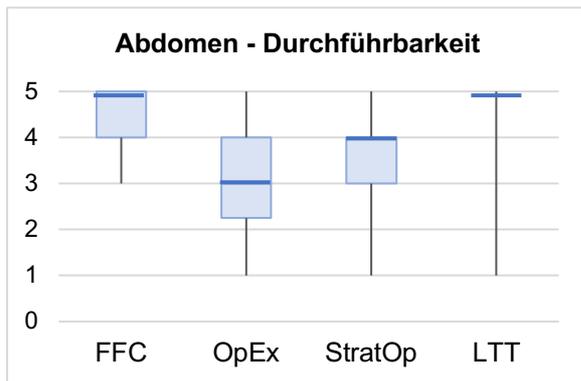


Abbildung 22: Verteilung der Bewertung der Durchführbarkeit notfallchirurgischer Manöver am Abdomen

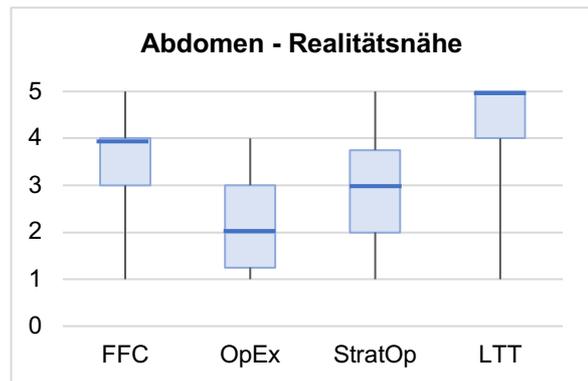


Abbildung 23: Verteilung der Bewertung der Realitätsnähe notfallchirurgischer Manöver am Abdomen

Gefäßsystem

Der Vergleich der notfallchirurgischen Manöver am Gefäßsystem konnte für die drei Modalitäten HC, OpEx und LTT durchgeführt werden (siehe Tabelle 19 und Abbildungen 24 und 25).

Tabelle 19: Durchführbarkeit (D) und Realitätsnähe (R) definierter notfallchirurgischer Manöver am Gefäßsystem. Leere Felder entsprechen einer nicht ausreichenden Evaluierung. Statistisch signifikante Unterschiede sind mit ** bei $p < 0.01$ markiert.

| Aspekt | | HC | | | OpEx | | | StratOp | | | LTT | | |
|--------|---|-------------|-------------|----------------|-------------|-------------|----------------|---------|---------|--------------------|--------------------|-----------------|----------------|
| | | n | MW (SD) | Median (25;75) | n | MW (SD) | Median (25;75) | n | MW (SD) | Median (25;75) | n | MW (SD) | Median (25;75) |
| 1 | Zugang zu A. carotis interna/externa/communis | D 16 | 4,63 (0,50) | 5 (4; 5) | | | | | | | | | |
| | R 15 | 3,80 (0,56) | 4 (3; 4) | | | | | | | | | | |
| 2 | Zugang zur A. brachialis | D 16 | 4,75 (0,45) | 5 (4; 5) | | | | | | | | | |
| | R 15 | 4,00 (0,66) | 4 (3; 4) | | | | | | | | | | |
| 3 | Zugang zu A. radialis | D 16 | 4,81 (0,40) | 5 (4; 5) | | | | | | | | | |
| | R 15 | 4,00 (0,66) | 4 (3; 4) | | | | | | | | | | |
| 4 | Zugang zur A. femoralis sup. Femoralisgabel | D 16 | 4,81 (0,40) | 5 (4; 5) | | | | | | | | | |
| | R 15 | 4,00 (0,66) | 4 (3; 4) | | | | | | | | | | |
| 5 | Gefäßnaht an Arterie und Vene | D 16 | 4,56 (0,81) | 5 (4; 5) | 13 | 3,15 (0,99) | 3 (2; 4) | | | 15 | 5,00 (0,00) | 5 (5; 5) | |
| | R 15 | 3,73 (0,80) | 4 (3; 4) | 12 | 1,92 (0,52) | 2 (2; 2) | | | 14 | 4,93 (0,27) | 5 (5; 5) | | |
| 6 | Blutungskontrolle an Mesenterialgefäßen | D | | | | | | | | 15 | 4,87 (0,35) | 5 (5; 5) | |
| | R | | | | | | | | 14 | 4,64 (0,50) | 5 (4; 5) | | |
| 7 | Abklemmen der Aorta supra- und subdiaphragmal | D 16 | 4,31 (0,87) | 4 (4; 5) | 14 | 2,86 (1,10) | 3 (2; 4) | | | 15 | 4,86 (0,56) | 5 (5; 5) | |
| | R 15 | 3,53 (0,83) | 4 (3; 4) | 13 | 2,31 (1,11) | 2 (1; 3) | | | 14 | 4,64 (0,63) | 5 (4; 5) | | |

| | | | | | | | | | | | |
|----|--|---|----|-------------|----------|----|-------------|----------|-------------|--------------------|-------------------|
| 8 | REBOA (Resuscitative endovascular balloon occlusion of the aorta) | D | | | | | | 16 | 4,56 (1,03) | 5 (5; 5) | |
| | | R | | | | | | 15 | 4,47 (0,74) | 5 (4; 5) | |
| 9 | Zugang zur V. cava inferior + Blutungs- kontrolle | D | 15 | 4,53 (0,64) | 5 (4; 5) | 16 | 3,19 (1,11) | 3 (2; 4) | 16 | 4,94 (0,25) | 5 (5; 5) |
| | | R | 14 | 3,64 (1,01) | 4 (3; 4) | 15 | 1,93 (0,96) | 2 (1; 2) | 15 | 4,53 (0,74) | 5 (4; 5) |
| 10 | Gefäßsystem gesamt | D | | 4,48 (0,63) | 5 (4; 5) | | 3,01 (1,01) | 3 (2; 4) | | 4,92 (0,23) | 5 (5; 5)** |
| | | R | | 3,61 (0,82) | 4 (3; 4) | | 2,02 (0,84) | 2 (1; 2) | | 4,71 (0,40) | 5 (5; 5)** |

Die Bewertungen der notfallchirurgischen Manöver am Gefäßsystem unterschieden sich statistisch hochsignifikant zwischen den Modalitäten. Dies gilt sowohl für die Durchführbarkeit (Friedman-Test: Chi-Quadrat (2) = 26.069, $p < .001$, $n = 16$) als auch die Realitätsnähe (Friedman-Test: Chi-Quadrat (2) = 26.656, $p < .001$, $n = 16$). Die anschließend durchgeführten Post-hoc-Tests (Dunn-Bonferroni-Tests) zeigen, dass sich die Bewertungen der Durchführbarkeit für HC (Median = 5) und OpEx (Median = 3) hochsignifikant unterscheiden ($z = 1.125$, $p_{angepasst} = .004$, Effektstärke nach Cohen (1992): $r = 0.28$ zugunsten HC). Ebenso unterscheiden sie sich hochsignifikant zwischen OpEx (Median = 3) und LTT (Median = 5) ($z = 1.688$, $p_{angepasst} < .001$, Effektstärke nach Cohen (1992): $r = 0.42$ zugunsten LTT). Es zeigten sich keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den etablierten Modalitäten (HC vs. LTT). Die durchgeführten Post-hoc-Tests (Dunn-Bonferroni-Tests) für die Bewertungen der Realitätsnähe zeigen einen hochsignifikanten Unterschied zwischen OpEx (Median = 2) und LTT (Median = 5) ($z = -1.781$, $p_{angepasst} < .001$, Effektstärke nach Cohen (1992): $r = 0.45$ zugunsten LTT) und auch einen signifikanten Unterschied zwischen HC (Median = 4) und LTT (Median = 5) ($z = -0.938$, $p_{angepasst} = .024$, Effektstärke nach Cohen (1992): $r = 0.23$ zugunsten LTT). Es zeigten sich keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen OpEx und HC.

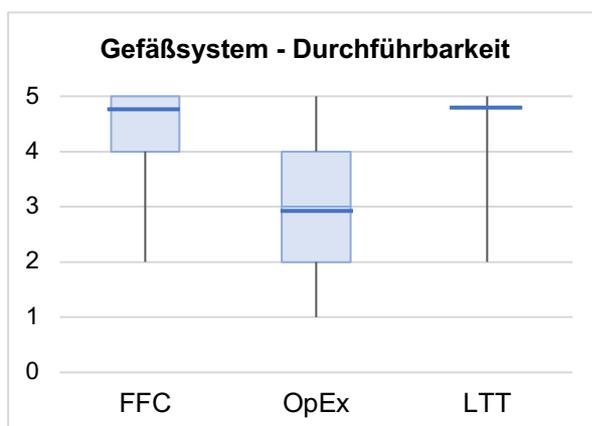


Abbildung 25: Verteilung der Bewertung der Durchführbarkeit notfallchirurgischer Manöver am Gefäßsystem

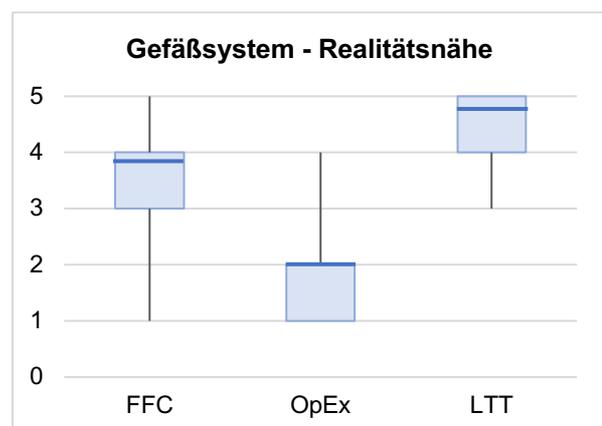


Abbildung 25: Verteilung der Bewertung der Realitätsnähe notfallchirurgischer Manöver am Gefäßsystem

Freitext-Kommentare

In Freitext-Kommentaren gaben die Teilnehmer zusätzliche Eindrücke an. Die in Tabelle 20 abgebildeten Aspekte dienen als ergänzende Komponente zur quantitativen Evaluation der Modelle.

Tabelle 20: Freitext-Kommentare der Teilnehmer (bei Dopplungen zusammengefasst)

| Modell | Kommentare |
|---------|---|
| HC | <ul style="list-style-type: none"> • decken alle drei Bereiche der Evaluation (Thorax, Abdomen, Gefäße) ab • korrekte anatomische Verhältnisse und die damit verbundene Möglichkeit zur Verbesserung des topographischen Verständnisses • gute Präparationsmöglichkeiten = Alleinstellungsmerkmal der humanen Körperspender • großer Nachteil: kein intraluminale Druck im Gefäßsystem und fehlende Perfusion der Gewebe und Organe • Manöver zur Blutstillung können nicht realitätsnah trainiert werden, wichtiger Stressfaktor entfällt also |
| OpEx | <ul style="list-style-type: none"> • Prototyp eines Abdomen-Modells mit Organen in formstabilem Rumpf eingebettet: können nach ihrem Einsatz repariert oder ersetzt werden; Perfusion durch Pumpensystem liefert Organ-unspezifische, diffuse Blutung • Potenzial vor allem für Training von OP-Taktiken und Team-Arbeit, weniger zum Erlernen von konkreten Manövern • Strukturen liegen unrealistischer Weise gänzlich frei im Situs, Mobilisation kann nicht trainiert werden • Blutung entwickelt sich diffus aus der Tiefe und nicht konkret aus definierten Organläsionen: begrenzter Lernerfolg begrenzt und unrealistischere Simulation • Regulation des Pumpensystems (Kunstblut) erfolgte manuell durch Mitarbeiter der Firma Operative Experience, Inc. mit häufigen Diskonnektionen der flüssigkeitsführenden Schläuche • Widerstandsfähigkeit der Modelle sollte verbessert werden, da nach den Trainingseinheiten lange (2 h) Aufbereitungspausen notwendig waren • Diathermie kann nicht angewandt werden |
| StratOp | <ul style="list-style-type: none"> • Prototyp eines Westen-ähnlichen Abdomen-Modells: kann getragen werden • eingesetzte Organe können nach ihrem Einsatz repariert oder ersetzt werden • Perfusion wird durch ein Pumpensystem simuliert und liefert eine teils Organ-spezifische, eher diffuse Blutung; Blutungssimulation erfolgt eher diffus und unterliegt wiederholten Interventionen durch die Mitarbeiter von Strategic Operations. • Einsatz zum Ablauf- und Team-Training, nicht für Fertigungs- und Manöver-Trainer |
| LTT | <ul style="list-style-type: none"> • große Ähnlichkeit der anatomischen Verhältnisse zur humanen Anatomie und allen drei Bereichen der Evaluation (Thorax, Abdomen, Gefäße) zugänglich • hohe Realitätsnähe der Trainingsmodalität • Arbeit mit lebendigem Gewebe und physiologisches Feedback des „Patienten“: Nähe zum menschlichen Patienten = Alleinstellungsmerkmal dieser Modalität • größter Lernerfolg – überwiegt ethischen Bedenken |

Psychische Beanspruchung

Die Bewertung der subjektiven psychischen Beanspruchung (siehe Tabelle 21) setzte sich aus den drei Komponenten

1. Stress,
2. Lernfortschritt und
3. moralische Konflikte

zusammen. Jedes der Items wurde für alle Modalitäten in ausreichendem Maße bewertet.

Tabelle 21: Bewertung der psychischen Beanspruchung und des subjektiven Lernfortschritts. Statistisch signifikante Unterschiede sind mit * bei $p < 0.05$ und ** bei $p < 0.01$ markiert.

| Aspekt | HC | | OpEx | | StratOp | | LTT | | Friedmann-Test |
|------------------------|-------------|----------------|-------------|----------------|-------------|----------------|--------------------|----------------|--|
| | MW (SD) | Median (25;75) | MW (SD) | Median (25;75) | MW (SD) | Median (25;75) | MW (SD) | Median (25;75) | |
| 1 Stressempfinden | 2,47 (1,13) | 2 (2; 3) | 2,94 (1,03) | 3 (2; 4) | 3,65 (0,93) | 4 (3; 4) | 4,19 (1,11) | 5 (3; 5) | Chi-Quadrat (3) = 18.214 $p < .001^{**}$ $n = 16$ |
| 2 Lernfortschritt | 4,82 (0,35) | 5 (5; 5) | 3,05 (0,90) | 3 (3; 4) | 3,91 (1,02) | 4 (4; 5) | 4,93 (0,25) | 5 (5; 5) | Chi-Quadrat (3) = 34.364 $p < .001^{**}$ $n = 16$ |
| 3 Moralische Konflikte | 1,35 (0,86) | 1 (1; 1) | 1,12 (0,49) | 1 (1; 1) | 1,18 (0,53) | 1 (1; 1) | 1,75 (1,00) | 1 (1; 3) | Chi-Quadrat (3) = 10.238 $p = .017^*$ $n = 16$ |

Die post-hoc-Testungen (Dunn-Bonferroni-Tests) für die Bewertungen des subjektiven Stressempfindens ergaben zwischen HC (Median = 2) und LTT (Median = 5) einen hochsignifikanten statistischen Unterschied ($z = -1.688$, $p_{angepasst} = .001$, Effektstärke nach Cohen (1992): $r = 0.42$ zugunsten LTT). Die weiteren Paarungen zeigten keine statistisch signifikanten Unterschiede. Die post-hoc-Testungen für den subjektiven Lernfortschritt ergaben keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den Bewertungen

- a) der etablierten Simulationsmodalitäten (HC vs. LTT),
- b) der HPS (OpEx vs. StratOp),
- c) StratOp und HC

Die Bewertung des subjektiven Lernfortschritts bei der Ausbildung an OpEx (Median = 3) unterschied sich statistisch hochsignifikant von HC (Median = 5; $z = 1.875$, $p_{angepasst} < .001$, Effektstärke nach Cohen (1992): $r = 0.47$ zugunsten HC) und LTT (Median = 5; $z = -2.125$, $p_{angepasst} < .001$, Effektstärke nach Cohen (1992): $r = 0.53$ zugunsten LTT).

Die Bewertung von StratOp (Median = 4) zeigte im Vergleich zu LTT (Median = 5) statistisch signifikante Unterschiede ($z = -1.375$, $p_{angepasst} = .016$, Effektstärke nach Cohen (1992): $r = 0.34$ zugunsten LTT).

Der moralische Konflikt wurde bei der Arbeit mit LTT als statistisch signifikant höher empfunden als bei der Arbeit mit HPS oder HC ($p = .017$).

Subjektive Handlungssicherheit - global

Die subjektiv empfundene Handlungssicherheit der Teilnehmer und deren Entwicklung über den Kursverlauf wurde durch den ALPHA- (Kursbeginn) und den OMEGA- (Kursende) Fragebogen erfasst (siehe Tabelle 22).

Tabelle 22: Subjektive Handlungssicherheit der Teilnehmer vor und nach der Teilnahme am modifizierten TEC. Statistisch signifikante Unterschiede sind mit ** bei $p < 0.01$ markiert.

| Subjektive Handlungssicherheit | Thorax | | | Abdomen | | | Gefäßsystem | | | |
|--------------------------------|--------|---|-------------|----------------|---|-------------|----------------|---|-------------|----------------|
| | | n | MW (SD) | Median (25;75) | n | MW (SD) | Median (25;75) | n | MW (SD) | Median (25;75) |
| Deskriptive Statistik | PRE | 16 | 2,58 (1,39) | 2 (2; 2) | 16 | 3,11 (1,53) | 3 (2; 4) | 16 | 2,63 (1,21) | 2 (2; 3) |
| | POST | 16 | 4,55 (1,33) | 5 (4; 6) | 16 | 4,65 (1,34) | 5 (4; 6) | 16 | 4,47 (1,14) | 5 (4; 5) |
| Wilcoxon-Vorzeichentest | | $n = 15$ $z = 120.00$ $p = .001^{**}$ | | | $n = 15$ $z = 118.50$ $p = .001^{**}$ | | | $n = 15$ $z = 105.00$ $p = .001^{**}$ | | |

Wie in Tabelle 22 dargestellt, zeigte sich, dass die Teilnahme am TEC einen statistisch signifikanten Einfluss auf die subjektive Handlungssicherheit in allen drei Ausbildungs-Regionen I. Thorax, II. Abdomen und III. Gefäßsystem hatte. Nach der Ausbildung schätzen die Teilnehmer ihre Handlungssicherheit für notfallchirurgische hochsignifikant höher ein als vor der Ausbildung.

Subjektive Handlungssicherheit – bezogen auf eine einzelne Fertigkeit

Um das Lehrpotenzial der verschiedenen Ausbildungsmodalitäten beispielhaft zu untersuchen, schätzten die Teilnehmer ihre subjektive Handlungssicherheit in Bezug auf die Versorgung einer Verletzung der A. iliaca communis (Indexoperation) vor und nach der Intervention ein, die an jeder Trainingsmodalität (HC, HPS, LLT) durchgeführt wurde. Hier wurden die Ergebnisse beider HPS (StratOp und OpEx) zu einem Item zusammengefasst.

Tabelle 23: Subjektive Einschätzung der Teilnehmer zur Handlungssicherheit bei der Versorgung einer Gefäßverletzung der A. iliaca communis. Statistisch signifikante Unterschiede sind mit * bei $p < 0.05$ und ** bei $p < 0.01$ markiert.

| Subjektive Handlungssicherheit | | HC | | | HPS | | | LTT | | |
|--|------|---|-------------|----------------|---|-------------|----------------|---|-------------|----------------|
| | | n | MW (SD) | Median (25;75) | n | MW (SD) | Median (25;75) | n | MW (SD) | Median (25;75) |
| Naht der A. iliaca communis | PRE | 15 | 2,40 (0,99) | 2 (2; 3) | 15 | 4,00 (1,20) | 4 (3; 5) | 15 | 4,33 (1,18) | 5 (3; 5) |
| | POST | 16 | 4,56 (0,89) | 5 (4; 5) | 14 | 4,64 (1,28) | 5 (4; 6) | 16 | 5,13 (1,36) | 6 (5; 6) |
| Friedmann-Test | | Chi-Quadrat (5) = 30.639, $p < .001^{**}$, $n = 12$ | | | | | | | | |
| Post-hoc-Testungen (Dunn-Bonferroni-Korrekturen) | | HC (PRE-POST): $z = -2,625$, $p_{angepasst} = .019^*$ | | | HPS (PRE-POST): $z = -1.333$, $p_{angepasst} = 1.000$ | | | LTT (PRE-POST): $z = -1.042$, $p_{angepasst} = 1.000$ | | |
| Naht der A. iliaca communis unter Stress | PRE | 16 | 1,53 (0,72) | 1 (1; 2) | 16 | 3,13 (1,20) | 4 (2; 4) | 15 | 4,33 (1,18) | 4 (2; 5) |
| | POST | 16 | 3,75 (1,20) | 4 (3; 5) | 15 | 3,57 (1,40) | 4 (3; 5) | 16 | 4,56 (1,41) | 5 (4; 6) |
| Friedmann-Test | | Chi-Quadrat (5) = 30.639, $p < .001$, $n = 12$ | | | | | | | | |
| Post-hoc-Testungen (Dunn-Bonferroni-Korrekturen) | | HC (PRE-POST): $z = -2,846$, $p_{angepasst} = .002^*$ | | | HPS (PRE-POST): $z = -0.615$, $p_{angepasst} = 1.000$ | | | LTT (PRE-POST): $z = -1.231$, $p_{angepasst} = 1.000$ | | |

Es zeigten sich statistisch hochsignifikante Unterschiede in der subjektiven Handlungssicherheit zu den verschiedenen Messzeitpunkten, sowohl bei der Naht der A. iliaca communis generell als auch unter Stress (siehe Tabelle 23). Die post-hoc-Testungen (Dunn-Bonferroni-Korrekturen) zeigten in beiden Kategorien jedoch nur einen statistisch signifikanten PRE-POST-Unterschied für die Ausbildung mit HC, da diese zu Anfang des Lehrgangs stand. Die weiteren direkten Vergleiche (HPS PRE vs. POST und LTT PRE vs. POST) wiesen keine statistisch signifikanten Unterschiede auf. In zukünftigen Untersuchungen sollte hier ein Rotationsprinzip zur weiteren Differenzierung angewandt werden.

Objektive Handlungssicherheit – bezogen auf eine einzelne Fertigkeit

Die Bewertung der objektiven Handlungssicherheit der Lehrgangsteilnehmer bei der Versorgung einer Verletzung der A. iliaca communis zeigte keine Veränderung im Verlauf des Lehrgangs (siehe Tabelle 24). Der maximal erreichbare Punktwert für die Checkliste entsprach Punkte = 10 (10 Schritte, je 0 oder 1) und für die Global Rating Scale Punkte = 35 (7 Kategorien, je 1 bis 5).

Tabelle 24: Fremdrating anhand Checkliste der definierten Operationsschritte und Global Rating Scale des OSATS-Scores (n=16)

| Score | | HC | | HPS | | LTT | |
|-------|-----------------------------|--------------|--------|--------------|--------|--------------|--------|
| | | MW (SD) | Median | MW (SD) | Median | MW (SD) | Median |
| 1 | Checkliste | 9,44 (0,81) | 10 | 9,81 (0,40) | 10 | 9,75 (0,68) | 10 |
| 2 | Global Rating Scale (OSATS) | 28,19 (5,58) | 31 | 28,63 (3,20) | 29 | 28,21 (4,94) | 30 |

8. Diskussion

Die simulationsbasierte notfallchirurgische Ausbildung muss mit dem Ziel der Ausbildungsoptimierung und einem verantwortungsvollen Einsatz von Live Tissue neu strukturiert werden.⁷⁵ Die Beurteilung der Wertigkeit etablierter Simulationsmodalitäten (Humane Körperspender, Live Tissue Training) und die Bewertung sowie Weiterentwicklung ihrer Alternativen (Human Patient Simulators) sind hierfür notwendige Voraussetzungen. Die durchgeführte Mixed-Methods-Studie hatte zum Ziel, die Anforderungen an Simulationsmodalitäten in der notfallchirurgischen Ausbildung zu definieren, die weltweit führenden HPS zu evaluieren und darauf aufbauend das Spektrum an durchführbaren notfallchirurgischen Manövern und deren Realitätsnähe, die Auswirkung der Ausbildung auf die subjektive Handlungssicherheit der Teilnehmer sowie die psychische Beanspruchung durch Live Tissue Training, Humane Körperspender und Human Patient Simulators zu vergleichen.

Die durchgeführte Fokusgruppe definierte die **Anforderungen** an alternative Simulationsmodalitäten anhand der charakteristischen Merkmale der etablierten Modalitäten LTT und HC: Relevant sind die anatomische Korrektheit der HC und die Trainingsmöglichkeiten des Stress- und Teammanagements durch realitätsnahes Blutungsverhalten bei LTT. Die HPS sollten standardisiert sein und in eine möglichst realistische Simulationsumgebung (Setting) sowie in ein Zielgruppen-orientiertes Notfallchirurgie-Curriculum eingebettet werden. Das Kosten-Nutzen-Verhältnis der Modalitäten muss optimiert werden.

Der Vergleich der am besten bewerteten HPS (OpEx, StratOp) mit LTT und HC ergab eine Überlegenheit von LTT und HC gegenüber HPS in den meisten untersuchten Aspekten. Sowohl die **physikalischen Gewebeeigenschaften** als auch die **Durchführbarkeit** und die **Realitätsnähe** der definierten Manöver wurden bei den HPS signifikant schlechter bewertet. Die drei untersuchten Aspekte der psychischen Beanspruchung ergaben ein signifikant höheres **subjektives Stressempfinden** bei der Ausbildung an LTT als bei HC, einen signifikant geringeren **subjektiven Lernfortschritt** bei der Ausbildung an HPS als bei HC und LTT, und statistisch signifikante Unterschiede der **ethischen Bedenken** während der Ausbildung zu Lasten von LTT. Die gesamte Ausbildungsmaßnahme steigerte die **subjektive Handlungssicherheit** der Teilnehmenden signifikant. Die fertigungsbezogene Zunahme der subjektiven Handlungssicherheit, hier am Beispiel einer Gefäßnaht (A. iliaca communis), zeigte nur nach der ersten Intervention (HC) eine statistisch signifikante Steigerung. Die objektive Bewertung der Steigerung der Handlungssicherheit mit Hilfe des OSATS-Scores zeigte keine statistisch signifikanten Unterschiede.

8.1 Anforderungen und derzeitiger Einsatz

Es existieren derzeit keine vergleichbaren Studien, die die Eignung von Human Patient Simulators für die Ausbildung komplexer notfallchirurgischer Manöver evaluieren. Für den Einsatz in anderen Bereichen der Medizin ist die Forschung jedoch schon weiter fortgeschritten: In der notfallmedizinischen Ausbildung sind Patientensimulatoren (Human Patient Simulators, Mannequins) bereits seit Jahrzehnten mit Erfolg im Einsatz und der Lernerfolg durch Simulationstraining sowohl im zivilen als auch im militärischen Umfeld statistisch belegt.^{61,76,77} Die Erfolgsgeschichte des HPS-basierten ATLS-Kurses (Advanced Trauma Life Support) wurde durch Mohammed et al.⁷⁸ in einem Systematic Review aufgearbeitet: Sowohl der Wissenszuwachs in Verbindung mit einer Verbesserung der praktischen Fertigkeiten als auch nicht-technische Fähigkeiten (Organisation, Priorisierung, Entscheidungsfindung) wurden durch die Teilnahme am Kurs signifikant verbessert. Studien, die die Qualität der Ausbildung einzelner notfallmedizinischer Fertigkeiten in Abhängigkeit der eingesetzten Simulationsmodalität untersuchen, - beispielhaft der Vergleich von Skill Trainern und Körperspendern in der Ausbildung der Thoraxdrainagen-Anlage durch Xu Tan et al.⁷⁹ – ergeben häufig eine gleichwertige Eignung der Modalitäten. Bei den eingesetzten Simulationsmodellen handelt es sich um Skill Trainer, also Modelle, die speziell die Gegebenheiten für die Ausbildung einer (oder weniger) Fertigkeit(en) hergestellt wurden. Teilweise werden improvisierte low-fidelity Modelle wie der „Yogaman“ eingesetzt, die wenig realitätsnah sind, aber die einzelnen Schritte der Ausbildung abbilden können.⁸⁰ LTT spielt im zivilen Umfeld der notfallmedizinischen Ausbildung eine deutlich geringere Rolle als im militärischen Umfeld. Reviews von da Luz et al. aus dem Jahr 2015⁵⁵ sowie Goolsby et al. aus dem Jahr 2017⁶⁷ untersuchten den Einsatz von LTT und alternativen Simulationsmodalitäten in der notfallmedizinischen Ausbildung. Hier fanden sich acht von zwölf (da Luz) beziehungsweise zehn von zwölf (Goolsby) Studien mit einem militärischen Hintergrund.

Knapp 80% der NATO-Mitgliedsstaaten verzichten auf lebendige Tiermodelle in der medizinischen Ausbildung und setzen stattdessen ausschließlich alternative Simulationsmodalitäten wie Low- und High-Fidelity-Simulatoren, Simulationspatient:innen, Virtual und Augmented Reality, humane Körperspender und Tierkadaver ein.⁸¹ Die Auswahl aus dieser Vielfalt und die Komplexität der gewählten Simulationsmodalität muss sich an den angestrebten Lernzielen der Ausbildung und dem Ausbildungsstand der Teilnehmenden orientieren.⁸² Für das in dieser Studie geforderte notwendige Maß an Komplexität hinsichtlich Anatomie, Physiologie und darstellbarer Verletzungsmuster sind bisher keine Modalitäten beschrieben, die dieses allumfassend abbilden können. In einem von Davies et al. veröffentlichten Review zu eingesetzten Simulationsmodalitäten in der Ausbildung offener chirurgischer Eingriffe wurden Simulationsmodelle (hier: Berliner OP-Trainer, BOPT), LTT,

Körperspender und VR in verschiedenen Einsatzgebieten identifiziert.³⁶ In keiner der dort ausgewerteten Studien wird die eingesetzte Simulationsmodalität den Ansprüchen gerecht, die die Ausbildung Notfallchirurgischer Manöver einfordert. Es zeichnet sich jedoch auch bisher nicht ab, dass eine vollkommen neue Modalität entwickelt werden wird, um diese Lücke zu füllen. Zukünftige Alternativen werden voraussichtlich aus der Reihe der bereits bestehenden Modalitäten weiterentwickelt.⁸¹

Für diese notwendigen Entwicklungsschritte können Erfahrungen aus anderen Fachgebieten abseits der Notfallchirurgie betrachtet werden, wobei die Wertigkeit verschiedener Simulationsmodalitäten in Abhängigkeit der Anforderungen der Fachgebiete variiert. Ein großes Gebiet, das als Vorreiter für den Einsatz und die Evaluation von Simulation angesehen werden kann, ist die Ausbildung mithilfe simulierter endoskopischer Eingriffe. Ein 3D-gedrucktes Trachealmodell zur Bronchoskopie-Ausbildung brachte sowohl hinsichtlich der Nutzerzufriedenheit als auch der *Face Validity*, also der Fähigkeit des Modells, die Realität abzubilden, ähnliche Ergebnisse wie eingesetzte Tiermodelle.⁸³ Da die zweidimensionalen Simulationsmodalitäten (Bildschirm-basierte Simulation, Virtual and Augmented Reality) oft leicht modifizierbar und versatil sind, sind sie in der endoskopischen Ausbildung bereits etabliert. In vielen Studien lässt sich – teilweise kostengünstig⁸⁴ – ein Fertigkeitsszuwachs nachweisen⁸⁵, dessen Nachhaltigkeit sich jedoch häufig noch nicht über längere Zeiträume (beispielsweise 6 Monate bei Howells et al.⁸⁶) bestätigen lässt.^{85,86}

In der unfallchirurgischen Ausbildung wurde der Einsatz von Virtual Reality von Bartlett et al.⁸⁷ in einer Literaturrecherche untersucht und zeigte für arthroskopische Eingriffe Potenzial. Simulationen anhand von Kunstknöcheln und simulierten Operationsszenarien stellen bereits ein sowohl subjektiv⁸⁸ als auch objektiv⁸⁹ erfolgreiches Ausbildungswerkzeug dar.

8.2 Human Patient Simulators in der Notfallchirurgischen Ausbildung

Zwei den Einsatz von Human Patient Simulators in der Notfallchirurgischen Ausbildung limitierende Faktoren, die durch Lobel et al.² beispielhaft in Bezug auf Kraniotomie-Simulatoren aufgezeigt wurden, sind der notwendige Grad an haptischer und anatomischer Realitätsnähe sowie die hohen initialen und langfristigen Kosten. Untersucht wurde ein speziell für die Ausbildung konzipiertes Kopf-Modell der Firma Operative Experience Inc. (North East, MD, USA), das von den Trainingsteilnehmern als subjektiv gut und aufgrund der hohen Detailtreue als realitätsnah empfunden wurde. Es zeigt sich also, dass eine Entwicklung der Modelle ausdrücklich anhand der Ansprüche der chirurgischen Ausbildung stattfinden muss, um eine ausreichende Realitätsnähe zu erzeugen. Die in dieser Studie untersuchten HPS, die den weltweiten Stand der aktuellen Entwicklung reflektieren, erfüllen derzeit nicht die Ansprüche, die Notfallchirurgisches Skill Training erfordert. Das Fehlen anatomischer Strukturen, die als

intraoperative Landmarken dienen, haptische Mängel, schlechte Schnitt- und Nahtqualitäten und mangelhafte Blutungssimulation wurden als Defizite angegeben, die die Ausbildung limitierten. Die von Lobel et al.² des Weiteren beschriebenen Kosten von 1500 US-Dollar für ein Modell, das zwei Ausbildungsversuche (je einmal rechts und links) bietet, sind erheblich. In der Objektivierung des Lernerfolgs durch Testungen zeigen sich lediglich Tendenzen und bis auf einen Aspekt (Größe der Kraniotomie) keine statistisch signifikanten Ergebnisse. Ein ähnliches Bild (hohe Kosten, nicht signifikanter Lernerfolg) zeigt sich bei der Betrachtung des Kosten-Nutzen-Verhältnisses in dieser Studie: Der Preis pro Ausbildungstag (16 Teilnehmende) betrug 38.640 € (HPS), 20.310 € (HC) und 9.025 € (LTT). Dies steht im inversen Verhältnis zum subjektiven Erkenntnisgewinn der Teilnehmer, der bei HC und LTT signifikant größer war als bei den HPS.

8.3 Psychische Beanspruchung während der Ausbildung

Zusätzlich zu den praktischen Fertigkeiten und den damit verbundenen Anforderungen an die Simulationsmodelle spielen besonders in der komplexen notfallchirurgischen Ausbildung nicht-technische Fähigkeiten und die psychische Beanspruchung während der Ausbildung eine Rolle. Durch ein realitätsnahes Simulationssetting, das beispielsweise einem realen Operationssaal entspricht, sollen ähnliche Stresslevel erzeugt werden wie bei tatsächlichen notfallchirurgischen Eingriffen. Der Einfluss von Stress auf den Lernerfolg ist jedoch vieldiskutiert. Die Konsolidierung von Erfahrungen, die im Zusammenhang mit Stress entstehen, wird durch eine Noradrenalin- und Glucocorticoid-abhängige Interaktion in der basolateralen Amygdala verbessert.⁹⁰ Dieser Effekt wurde für die Ausbildung notfallmedizinischer Fertigkeiten von DeMaria et al.⁹¹ aufgezeigt, indem Teilnehmer sich durch zusätzliche psychische Stressoren während der Ausbildungseinheiten praxisbezogene Lerninhalte nachhaltiger aneigneten. Dies zeigt sich nicht für den ebenfalls durchgeführten schriftlichen Wissenstest.⁹¹ Um das antizipierte höhere Stresserleben der Ausbildungsteilnehmer durch Live Tissue Training im Gegensatz zu Simulationsmodellen aufzuzeigen, untersuchten Peng et al.⁹² objektivierende Stress-Parameter unter dem Einfluss von Simulationstraining an LTT und HPS. Es zeigten sich statistisch signifikante Unterschiede der Prä- und Post-Interventions-Level von α -Amylase (im Speichel, sA), und Noradrenalin (im Blut), jedoch nicht zwischen den Simulationsmodalitäten.⁹² A-Amylase reagierte sensitiver (größere Dynamik) als Noradrenalin, was weitere Studien ebenso belegen.^{93,94} Andere objektivierende Parameter des subjektiven Stresserlebens, die in der notfallmedizinischen Ausbildung eingesetzt werden, sind die Herzfrequenz (HF) und die Herzfrequenzvariabilität (Heart Rate Variability, HRV).^{91,95} Sowohl die Bestimmung der α -Amylase-Werte im Speichel als auch die Messung von HF und HRV korrelieren in hohem Maße mit dem subjektiven Stresserleben, das mithilfe des (verkürzten) Spielberger State-Trait Anxiety Inventory (STAI)

Scores gemessen wurde.^{91,93,96} In dieser Studie im Rahmen des Trainings Einsatzchirurgie zeigten sich hochsignifikante Unterschiede im subjektiven Stresserleben bei der Arbeit mit LTT und HC. Die anderen Vergleichspaarungen ergaben keine signifikanten Unterschiede. Unter Einbeziehung der entsprechenden Freitext-Kommentare erklärt am ehesten die fehlende Blutung bei Eingriffen an HC und somit die geringere *fidelity* diesen Unterschied. Dies steht im Kontrast zu Ergebnissen in der Literatur von beispielsweise Peng et al.⁹², die objektive Stressparameter (α -Amylase im Speichel, Katecholamine und Neuropeptid Y im Blut) bei der präklinischen Traumaversorgung durch Einsatzsanitäter des kanadischen Militärs an LTT und HPS (hier: CAESAR; CAE Healthcare, Saint-Laurent, Quebec, Canada) untersuchten. Sie konnten keinen signifikanten Unterschied hinsichtlich der Stressparameter zwischen den Ausbildungsmodalitäten feststellen.⁹² In der Arbeit von Peng et al.⁹² fehlt jedoch eine subjektive Stresserfassung, was einen Vergleich mit den Ergebnissen der vorliegenden Studie nicht zulässt. Äquivalente Untersuchungen in der notfallchirurgischen Ausbildung sind bisher nicht durchgeführt worden. Aufgrund der Diskrepanzen hinsichtlich Zielgruppe, Fertigkeitsspektrum und benötigtem *fidelity*-Level sind die Ergebnisse von präklinischer Traumausbildung auch nur bedingt auf die Ausbildung notfallchirurgischer Manöver übertragbar. Eine differenzierte Erfassung des subjektiven Stresserlebens durch validierte Fragebögen (beispielsweise Spielberger State-Trait Anxiety Inventory) und eine Objektivierung des Stresserlebens vor, während und nach der Intervention fehlen im Rahmen des TEC jedoch, sind aber notwendig, um die psychische Belastung der Trainees durch die Ausbildung an den Modalitäten zu erfassen.

8.4 Selbstwirksamkeitserwartung und Lernerfolg

Auch wenn sie nicht mit dem tatsächlichen „Wissenszuwachs“ gleichzusetzen ist, spielt die Selbstwirksamkeitserwartung für die Handlungsfähigkeit der Chirurg:innen eine wichtige Rolle. Bandura beschrieb⁹⁷, dass man „die wahrgenommene Selbstwirksamkeit über jene eigenen Fähigkeiten bezieht, die man benötigt, um eine bestimmte Handlung zu organisieren und auszuführen, um damit bestimmte Ziele zu erreichen. Selbstwirksamkeitserwartungen beeinflussen vor allem die Auswahl von Handlungen (Schwierigkeitsgrad), die investierte Anstrengung im Zielerreichungsprozess, die Ausdauer angesichts von Schwierigkeiten und Barrieren sowie indirekt den Grad des Handlungserfolges.“⁹⁷ Ein hoher Grad an Selbstwirksamkeit korreliert somit positiv mit einem größeren Erfolg bei der Ausführung der Fertigkeit („Ich kann das“). Bei einem Trainingsteilnehmer, der die Simulation erfolgreich abschließt und nach der Intervention die subjektive Handlungssicherheit signifikant höher beschreibt als vorher, kann dies somit als Indikator für eine erhöhte Selbstwirksamkeitserwartung und somit einen erfolgreichen Transfer des Erlernten in den Alltag dienen. Dies zeigt sich auch in der vorliegenden Studie.

Weitere Studien, die Ausbildungseinheiten an Human Patient Simulators direkt mit Live Tissue Training vergleichen, zeigen einen statistisch signifikanten Zuwachs der Selbstwirksamkeit durch die Interventionen, der sich jedoch nicht signifikant zwischen den Modalitäten unterscheidet^{55,75,98-100} und weder der objektivierbare noch der subjektive Lernerfolg erfuhren unterschiedlich große Steigerungen.^{98,99} Dies entspricht jedoch nicht der Wahrnehmung der Teilnehmenden, die nahezu ausschließlich die Ausbildung an LTT präferierten – sowohl in den aufgeführten Studien als auch in dieser Arbeit. Aus verschiedenen Gründen lassen sich diese Ergebnisse und die Resultate der hier vorliegenden Studie sowohl methodisch als auch inhaltlich nur bedingt vergleichen:

1. Zunächst ist die gesamte Forschung in diesem Feld sehr heterogen. Zwei systematische Reviews von da Luz⁵⁵ und Goolsby et al.⁶⁷, die einen großen Anteil der aktuellen Literatur erfassen, zeigen auf, dass die meisten Studien von niedriger bis mittlerer Qualität sind. Beispielsweise erfolgt in zwei Arbeiten, die auch im Review von da Luz erfasst sind, keine Spezifizierung der Angabe „LTT“ als Trainingsmodalität – es könnte sich somit um jede Art von Tiermodell handeln.^{60,101} Außerdem gibt es keine Evidenz, die LTT oder eine andere Simulationsmodalität als überlegen einordnet. Block et al.¹⁰² und McCarthy et al.¹⁰³ zeigen einen statistisch signifikanten Unterschied bei der Zunahme der subjektiven Handlungssicherheit nach dem Training mit Simulatoren gegenüber LTT. Hierbei handelt es sich allerdings nicht um notfallchirurgische Fertigkeiten, sondern um den ATLS Kurs (Block) und die Krikothyreotomie (McCarthy). Iverson et al.¹⁰⁴ und Hall et al.⁹⁹ hingegen konnten keine statistisch signifikanten Unterschiede aufzeigen, weder für objektivierbare Parameter wie Dauer des Eingriffs und Erfolgsrate bei der Krikothyreotomie (Iverson et al.) noch für die Selbstwirksamkeitserwartung (Hall et al.) bei notfallmedizinischen Manövern. Klare Evidenz fehlt sowohl für die präklinische als auch die chirurgische Notfallbehandlung.
2. Effekte hinsichtlich der Steigerung der subjektiven Handlungssicherheit lassen sich nur bedingt mit der vorliegenden Studie vergleichen. Hier zeigte sich eine signifikante Steigerung der subjektiven Handlungssicherheit als Grundlage der Selbstwirksamkeitserwartung über das gesamte TEC. Bei der dreimaligen Durchführung des gleichen Manövers gaben die Teilnehmenden eine signifikante Zunahme der subjektiven Handlungssicherheit (2 Items: Naht der A. iliaca communis und Naht der A. iliaca communis unter Stress) bereits nach der ersten Intervention (HC) an. Diese Steigerung war nach der zweiten (HPS) und dritten Intervention (LTT) nicht signifikant. Hieraus lässt sich ableiten, dass es einen (subjektiven) Deckeneffekt bei der wiederholten Ausbildung eines Manövers gibt. Eine Aussage über die Relevanz der einzelnen Simulationsmodalitäten oder der Reihenfolge lässt sich jedoch nicht treffen. Die mit Hilfe des OSATS-Scores bewertete objektive Zunahme der Handlungssicherheit ergab weder

für die handlungsbezogene Checkliste noch für die allgemeine Global Rating Scale eine signifikante Steigerung. Um fundierte Aussagen über die Steigerung der Handlungssicherheit und den Lerneffekt treffen zu können, müssen folgende Punkte modifiziert werden:

3. Eine Steigerung der subjektiven Handlungssicherheit kann nur auf eine Simulationsmodalität zurückgeführt werden, wenn ein Rotationsprinzip oder ein Cross-Over-Design eingesetzt wird, das ein Durchlaufen der verschiedenen Modalitäten in derselben Reihenfolge für alle Trainees verhindert. Es müssten somit parallel verschiedene Trainee-Gruppen an LTT, HC und HPS die gleichen Manöver absolvieren, um die Ergebnisse vergleichbar zu machen. Alternativ müssten verschiedene Kurse so gestaltet werden, dass Rotationsprinzipien mit unterschiedlicher Reihenfolge durchgeführt würden.
4. Die Zuteilung der Trainees zu den Modalitäten müsste durch Randomisierung erfolgen.
5. Zur Ergänzung der subjektiven Angaben zur Handlungssicherheit müssen objektivierende Parameter mit geeigneten Messverfahren erhoben werden. Hier gilt es, sowohl die Fragebögen als auch die Umsetzung durch Fremdrater zu optimieren. Der OSATS-Score als validierter Score sollte beibehalten werden; die Global Rating Scale kann unverändert einfließen und die Checkliste sollte für Indexoperationen (hier: Naht der *A. iliaca communis*) durch Experten definiert werden. Die Auswertung erfolgt dann videobasiert durch ein oder zwei verblindete Rater (z.B. Ausbilder:innen des Trainings Einsatzchirurgie der Bundeswehr und ein internationaler Experte für notfallchirurgische Ausbildung). Diese Verblindung ist wichtig, um eine Verfälschung des Bewertungsergebnisses durch das Trainer-Trainee-Verhältnis zu verhindern. Ein weiterer Schritt, der in der Endoskopie zur Differenzierung der Fertigungsniveaus der Trainingsteilnehmer bereits genutzt wird,¹⁰⁵ ist der Einsatz validierter Simulatoren. Diese Möglichkeit besteht auf den Gebieten der Orthopädie und der Notfallchirurgie noch nicht, ist aber anzustreben. Als objektivierende Parameter könnten beispielsweise außerdem die Dichtigkeit der Gefäßnaht, die Dauer des Eingriffs und der Blutverlust erhoben werden.

Grundsätzlich gilt, dass eine umfassende Evaluation der Leistung der Teilnehmenden innerhalb einer Simulation Rückschlüsse auf die Qualität der Ausbildung und somit auf die Qualität der Simulation erlaubt. Eine Simulation ohne Evaluation der Leistung erlaubt diese Rückschlüsse nicht und sollte daher eher kritisch gesehen werden.

8.5 Anwendung des Vier-Ebenen-Modells nach Kirkpatrick

In einigen wenigen Studien wurden Outcome Raten und Langzeit-Performance von Simulations-trainierten Notfallmediziner untersucht. Es zeigten sich statistisch signifikant

bessere Ergebnisse als vor der Intervention.^{61,76} Insgesamt lassen sich jedoch lediglich Trends erfassen.^{106,107} In einer prospektiven Studie zum Einfluss regelmäßiger simulationsbasierter Reanimationsausbildung auf das Outcome von innerklinischen Kreislaufstillständen konnten Young et al. eine statistisch signifikante Steigerung von ROSC (return of spontaneous circulation) und post-ROSC-Entlassungsrate, sowie eine Verbesserung von Qualitätsparametern (Frequenz und Tiefe der Thoraxkompressionen) aufzeigen.¹⁰⁸ Das gewählte Studiendesign könnte somit prinzipiell als Beispiel für ähnliche Untersuchungen in der Notfallchirurgie dienen. Niedrige Fallzahlen im Inland erschweren bzw. verhindern jedoch eine wissenschaftliche Studie mit Kontrollgruppe, die die Mortalität und Morbidität nach notfallchirurgischen Manövern untersucht.^{20,35} Zusätzliche simulationsbasierte Follow-Up-Testungen in längeren Zeitabständen nach der Intervention (6 Monate, 12 Monate) könnten wenigstens die Retention der Lerninhalte abbilden. Die hohen Kosten der Kursdurchführung, der dadurch bedingte hohe Tier- und Körperspenderverbrauch und die Notwendigkeit, eine relativ hohe Zahl von chirurgisch tätigen Sanitätsoffizieren vor dem Auslandseinsatz durch Teilnahme am TEC zu qualifizieren, erschweren allerdings die repetitive Testung des gleichen Teilnehmerkollektivs in regelmäßigen Zeitabständen. Um eine eindeutige Empfehlung hinsichtlich des zukünftigen Einsatzes von Live Tissue Training und Simulationsmodellen geben zu können, die die formativen Ergebnisse dieser Studie unterstützen oder widerlegen, müssen auch die Level 3 (Transfer) und 4 (Systemeffekt) des Modells nach Kirckpatrick abgebildet werden. Solange dies nicht möglich ist, muss eine verbesserte Analyse besonders auf Level 2 (Lerneffekt) angestrebt werden.

8.6 Limitationen

Limitationen dieser Studie sind sowohl methodischer als auch praktischer Natur. Die niedrige Fallzahl ($n = 16$) lässt eine quantitative Bewertung und Abstraktion ins Allgemeingültige nur bedingt zu. Die statistische Auswertung hatte im Sinne eines Pilotprojektes einen explorativen Charakter und die errechneten p-Werte sollten eher als komplementär, denn als confirmatorisch betrachtet werden. Eine weitere Schwierigkeit stellt hier ebenso das duale Format dieser Pilotstudie im Rahmen des Trainings Einsatzchirurgie dar: Sowohl den wissenschaftlichen als auch den Ausbildungsauftrag gänzlich zu erfüllen war aufgrund eines stringent strukturierten Zeitplans nicht durchgängig möglich, was die Bereitschaft zur Durchführung von Evaluationsabschnitten sowohl auf Seiten der Instruktoren als auch der Teilnehmenden einschränkte. Die Evaluation war insgesamt umfangreich und zeitintensiv (ca. 60 min pro Tag), was bei einigen Trainees subjektiv zu einer Reduktion der Ausbildungszeit und somit zu einer reduzierten Motivation zur gewissenhaften Teilnahme an der Studie führte. Das zur Objektivierung des Lernerfolgs eingesetzte Messinstrument – die Global Rating Scale und die für das Manöver angepasste Checkliste – ist als OSATS-Score für das Assessment

chirurgischer Fertigkeiten validiert.⁷³ Besonders die Global Rating Scale differenziert jedoch hauptsächlich zwischen grundsätzlichen chirurgischen Fertigniveaus. Bei einer Proband:innengruppe, die aus überwiegend eher erfahrenen Chirurg:innen bestand, ließ sich anhand dieser Skala keine Steigerung der Fertigkeiten innerhalb einer Woche nachweisen. Das Rating anhand des OSATS-Scores erfolgte nur durch einen Rater und nicht-verblindet. Die Objektivierung des Lernerfolgs sollte auch durch quantifizierbare Parameter wie die Dauer des Eingriffs, den Blutverlust sowie den Erfolg der Maßnahme (beispielsweise Dichtigkeit der Gefäßnaht) ergänzt werden. Des Weiteren fand die Evaluation der Simulationsmodalitäten für alle Proband:innen in derselben Reihenfolge statt. Ein Kontrasteffekt¹⁰⁹ ist also wahrscheinlich und ein Lernerfolg nur bedingt auf einzelne Modalitäten zurückzuführen. Stattdessen sollten hier ein Rotationsprinzip bzw. ein Cross-Over-Design eingesetzt werden. Dies bedeutet, dass eine Subgruppierung der Proband:innen erfolgt und jede Subgruppe die Simulationsmodalitäten in einer unterschiedlichen Reihenfolge evaluiert, um Vergleichseffekte auszuschließen. Insgesamt sollte der Fokus von subjektiven Parametern (Selbstwirksamkeit, subjektiv empfundener Stress oder Lernzuwachs) durch objektive Parameter ergänzt oder ersetzt werden.

8.7 Entwicklung eines simulationsorientierten Curriculums

Parallel zur Weiterentwicklung der Simulationstechnologie sollte eine gestaffelte Ausbildungssequenz im Sinne eines simulationsbasierten Curriculums diskutiert werden. Eine Metaanalyse von Sterling et al. beschreibt Virtual Reality als einen Einstieg für unerfahrene Chirurg:innen, um grundsätzliche Abläufe und Fertigkeiten der Eingriffe zu erlernen. Darauf aufbauend könnte die Ausbildung an einfachen Low-Fidelity Modellen (Skill-Trainer) folgen und letztendlich zum Abschluss der Lerneinheit humane Körperspender eingesetzt werden.⁸² Ein ähnliches Stufenmodell ließe sich für die Notfallchirurgie adaptieren: Komplexe Manöver werden in Computer-basierten Simulationen geübt, an HPS weiter trainiert und an Tiermodellen oder perfundierten Körperspendern unter Stress gefestigt. Eine so geartete Integration von Simulationsmodellen in die notfallchirurgische Ausbildung allgemein und dem hier untersuchten TEC im Speziellen wurde explizit durch Teilnehmende vorgeschlagen und befürwortet. Eigens für chirurgische Simulation ausgestattete Simulationszentren, die bereits regelhaft für notfallmedizinische Ausbildung an medizinischen Universitäten weltweit zu finden sind, bieten hierfür hervorragende Bedingungen. Als Vorreiter lässt sich das Surgical Skills Simulation and Education Center der Keck Medical School (der University of Southern California) benennen, das beispielsweise im Rahmen des „Procedural Skills Curriculum des Department of Surgery“ genutzt wird. Hier können Medizinstudierende und chirurgische (Assistenz-)Ärzt:innen zielgruppenorientierte, multi-modale Simulationsausbildung durchlaufen.⁵⁴ Im Rahmen eines solchen Curriculums muss auch weiterhin die

ressourcenorientierte Effizienzsteigerung notfallchirurgischer Ausbildung im Vordergrund stehen. Bis Alternativen gefunden sind, müssen Tiermodelle so effizient wie möglich eingesetzt und verschiedene Ausbildungsziele parallel verfolgt werden. Onufer et al. beschreiben beispielsweise Teamtraining mit einem 4:1-Schlüssel (Anzahl Teilnehmende zu Anzahl Tiere), das für einige Teilnehmer einen Zuwachs technischer Fertigkeiten bringt, während es dem Team-Leader das Erlernen nicht-technischer Organisationsfähigkeiten ermöglicht.¹¹⁰ Dieser Schlüssel wird auch im TEC eingesetzt. Eine bewusste Ausweitung des didaktischen Konzepts des TEC auf nicht-technische Fähigkeiten erscheint sinnvoll. Ein wichtiges Element sollte hierbei ein strukturiertes Debriefing darstellen, für das verschiedene Techniken zur Verfügung stehen. Ein geeignetes Konzept von Eppich et al.¹¹¹, Promoting Excellence and Reflective Learning in Simulation (PEARLS), bietet einen Leitfaden zur Durchführung eines strukturierten Debriefings und ist somit auch für darin wenig geübte Instruktoren gut geeignet.¹¹¹

8.8 Ausblick

Die durchgeführte Studie zeigt, dass Human Patient Simulators für die Ausbildung komplexer notfallchirurgischer Manöver noch nicht ausreichend geeignet sind. Insbesondere die immens hohen Kosten und der zusätzliche Zeitbedarf seitens des Technikteams macht die Integration von HPS in bestehende Kursformate schwierig. Aus einer Zusammenschau der Ergebnisse und Limitationen dieser Studie sowie der Ergebnisdarstellung aus der Literatur der letzten zehn Jahre lassen sich Hypothesen anpassen sowie weiterführende Studienziele und deren Umsetzung neu definieren.

Zur Beurteilung dieser Hypothesen sollten die METHODEN-, ALPHA- und OMEGA-Fragebögen der Pilotstudie beibehalten werden. Diese dienen zur Evaluation der Realitätsnähe der physikalischen Eigenschaften, der Durchführbarkeit der Manöver und der Selbstwirksamkeit der Teilnehmer. Jedoch sollte die Auswahl der evaluierten Manöver auf jene reduziert werden, die an allen Simulationsmodalitäten durchführbar sind (siehe Ergebnisse). Der theoretische Wissenszuwachs kann durch schriftliche Tests vor und nach Durchlaufen der Interventionen erfasst werden. Hier sollte jedes der im METHODEN-Bogen aufgeführten Manöver mit Fragen im Multiple-Choice-Format repräsentiert sein. Die Verbesserung der praktischen Fertigkeiten sollte durch wiederholte Durchführung und Beurteilung (mindestens) eines notfallchirurgischen Manövers dargestellt werden, wobei aus der Gruppe der Teilnehmer:innen eine randomisierte Kontrollgruppe generiert wird. Die Bewertung der Ausführung des Manövers erfolgt durch zwei unabhängige Rater anhand einer videotecnischen, verblindeten Aufnahme. Als Rater sollten ein Instruktor des TEC und ein:e Expert:in der Notfallchirurgie fungieren. Diese Bewertung erfolgt anhand einer Checkliste (Metric Scale), die alle kritischen Schritte des Manövers erfasst und durch hohe Detailliertheit

eine Graduierung der Fertigungslevel zulässt. Zusätzlich soll eine Global Rating Scale im Sinne des OSATS-Scores eingesetzt werden.

Die subjektive und objektive Erfassung des Stresslevels im Verlauf der Studie sollte mittels des STAI-Scores (subjektiv) und der α -Amylase (Speichel), der Herzfrequenz und der Herzfrequenzvariabilität erfolgen.

Die Durchführung der Evaluation als eigenständige Entität, die der Forschung vorbehalten ist und nicht parallel als Ausbildungskurs dient, ist grundsätzlich anzustreben. Diese ginge jedoch mit einem erhöhten Verbrauch humaner und tierischer Modelle einher, was dem Bestreben nach einer maximalen Reduktion der Anzahl eingesetzter Präparate widerspricht.

Bis zur Weiterentwicklung von HPS, die den Anforderungen der notfallchirurgischen Ausbildung gerecht wird, erscheint eine weiterführende Untersuchung oder Integration in die Ausbildung wenig erfolgversprechend. Eine innovative Simulationstechnik, die die Lücke zwischen anatomischer Korrektheit (HC) und realistischen Blutungseigenschaften (LTT) mittelfristig schließen könnte, stellen perfundierte humane Körperspender (perfused human cadavers, pHC) dar.¹¹²⁻¹¹⁴ Diese sollten in zukünftige Evaluationen mit aufgenommen werden. Verschiedene internationale Gruppen forschen an möglichen Umsetzungs- und Anwendungsmöglichkeiten von pHC, deren Kreislauf durch extrakorporale Pumpensysteme nach Kanülierung großer Gefäße (z.B. Arteria carotis communis, Vena jugularis, Arteria und Vena femorales) aufrechterhalten wird. In der neurochirurgischen Ausbildung werden isoliert perfundierte Spenderköpfe bereits erfolgreich eingesetzt.^{115,116}

Die aufgeführten Ansätze können zum Vergleich jeder Art von zur Verfügung stehenden Modalitäten dienen. Sollten zukünftig weitere Modalitäten jenseits von HPS, HC und LTT entwickelt werden, könnte man sie entsprechend diesem Konzept ebenfalls evaluieren.

8.9 Fazit

Diese Arbeit erlaubt verschiedene inhaltliche und methodische Schlussfolgerungen. Der derzeitige Entwicklungsstand von Human Patient Simulators ist dahingehend einzuschätzen, dass sie derzeit noch nicht das den Anforderungen der notfallchirurgischen Ausbildung entsprechende Komplexitätsniveau erreichen und somit für einen Einsatz hier nicht geeignet sind.

Auf Live Tissue Training und humane Körperspender kann in Ermangelung geeigneter Alternativen derzeit nicht verzichtet werden. Defizite der etablierten Modalitäten können durch Weiterentwicklungen ergänzt werden, wie beispielsweise durch die Reperfusion humaner Körperspender.

Die methodischen Limitationen der aktuellen Forschung zu Simulationsmodalitäten in der notfallchirurgischen Ausbildung sind derzeit noch umfassend. Geeignete Instrumente zur Ausbildungsevaluation sind für die notfallchirurgische Ausbildung noch nicht entwickelt. Die

Durchführung von Cross-over-Studien, RCT oder separaten Forschungs-Kursen ist ethisch nicht möglich, da sie zu einem gesteigerten Verbrauch von humanen und tierischen Modellen führen würden. Der Impuls, den der Prozess zur Optimierung von Notfallchirurgischer Simulation derzeit innehat, sollte genutzt werden, um die bestehenden Ansätze weiterzuverfolgen und besonders den Einfluss von Simulationstraining im Hinblick auf das Outcome von Patient:innen zu evaluieren.

9. Literaturverzeichnis

1. Chambers LW, Green DJ, Gillingham BL, Sample K, Rhee P, Brown C, Brethauer S, Nelson T, Narine N, Baker B, Bohman HR. The experience of the US Marine Corps' Surgical Shock Trauma Platoon with 417 operative combat casualties during a 12 month period of operation Iraqi Freedom. *J Trauma* 2006;60:1155-61; discussion 61-4.
2. Lobel DA, Elder JB, Schirmer CM, Bowyer MW, Rezai AR. A novel craniotomy simulator provides a validated method to enhance education in the management of traumatic brain injury. *Neurosurgery* 2013;73 Suppl 1:57-65.
3. Ambu® Man. Ambu, 2020. (Accessed 18.12.2020, 2020, at <https://www.ambu.com/emergency-care-and-training/training-manikins/product/ambu-man>.)
4. CAE Caesar™. 2019. (Accessed 18.12.2020, 2020, at <https://www.medim.info/katalog/vyukove-simulatory/pacientske-simulatory-meti-cae/62012-07-11-09-00-186-detail>.)
5. Mark Bowyer BE. Training for Expeditionary Surgery Critical Readiness Skills: Current Capabilities and Gaps: Department of Surgery Uniformed Services University, Walter Reed National Military Medical Center; 2017.
6. Kirkpatrick D.L. KJD. Evaluating Training Programs: The Four Levels. Oakland, CA, USA: Berrett-Koehler; 1994.
7. e.V. DGfU. Weißbuch Schwerverletztenversorgung: Empfehlungen zur Struktur, Organisation, Ausstattung sowie Förderung von Qualität und Sicherheit in der Schwerverletzten- versorgung in der Bundesrepublik Deutschland. Berlin: Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie e.V.; 2019:18-9.
8. Hunter A, Eisma R, Lamb C. Thiel embalming fluid—A new way to revive formalin-fixed cadaveric specimens. *Clinical Anatomy* 2014;27:853-5.
9. Bundeswehr KSd. Kompetenzerwerb und -erhalt der Sanitätsoffiziere Arzt Einsatzchirurgie und Sanitätsoffiziere Zahnarzt Fachzahnarzt Oralchirurgie. In: Bundeswehr Sd, ed. Koblenz2018:8; 11.
10. Archives TNCC. Photo shoot of Nursing faculty and students with practice mannequin and models, 2001. flickr; 2018.
11. Doucet G, Ryan S, Bartellas M, Parsons M, Dubrowski A, Renouf T. Modelling and Manufacturing of a 3D Printed Trachea for Cricothyroidotomy Simulation. *Cureus* 2017;9:e1575.

12. Hauer T, Schneider K, Mayer D, Huschitt N, Lieber A, Willy C. Technische Trainingsmodelle für die notfallchirurgische Ausbildung. *Der Unfallchirurg* 2019;122:452-63.
13. Shem S. *House of God*. New York Berkley Book; 1978.
14. George BC, Dunnington GL, DaRosa DA. Trainee Autonomy and Patient Safety. *Ann Surg* 2018;267:820-2.
15. Kotsis SV, Chung KC. Application of the "see one, do one, teach one" concept in surgical training. *Plastic and reconstructive surgery* 2013;131:1194-201.
16. Zahiri HR, Park AE, Pugh CM, Vassiliou M, Voeller G. "See one, do one, teach one": inadequacies of current methods to train surgeons in hernia repair. *Surg Endosc* 2015;29:2867-72.
17. European Parliament CotEU. Directive 2003/88/EC of the European Parliament and of the Council of 4 November 2003 concerning certain aspects of the organisation of working time. In: Union E, ed.2003.
18. Brown LR, McLean RC, Perren D, O'Loughlin P, McCallum IJ. Evaluating the effects of surgical subspecialisation on patient outcomes following emergency laparotomy: A retrospective cohort study. *Int J Surg* 2019;62:67-73.
19. 5-Punkte-Plan der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie und der Bundeswehr zur medizinischen Versorgung der Bevölkerung in besonderen Katastrophen und bei möglichen Terroranschlägen. 2016. (Accessed 29. November 2017, at http://www.dgu-online.de/fileadmin/published_content/2.Aktuelles/Presse/PDF/2016_5_Punkte_Plan_Website_Pressemappe_F.pdf.)
20. Willy C, Gutcke A, Klein B, Rauhut F, Friemert B, Kollig EW, Weller N, Lieber A. [The educational program for modern military surgeons]. *Unfallchirurg* 2010;113:114-21.
21. Barbier O, Malgras B, Choufani C, Bouchard A, Ollat D, Versier G. Surgical support during the terrorist attacks in Paris, November 13, 2015: Experience at Begin Military Teaching Hospital. *J Trauma Acute Care Surg* 2017;82:1122-8.
22. Ahmed N, Devitt KS, Keshet I, Spicer J, Imrie K, Feldman L, Cools-Lartigue J, Kayssi A, Lipsman N, Elmi M, Kulkarni AV, Parshuram C, Mainprize T, Warren RJ, Fata P, Gorman MS, Feinberg S, Rutka J. A systematic review of the effects of resident duty hour restrictions in surgery: impact on resident wellness, training, and patient outcomes. *Annals of surgery* 2014;259:1041-53.
23. Maruthappu M, Gilbert BJ, El-Harasis MA, Nagendran M, McCulloch P, Duclos A, Carty MJ. The influence of volume and experience on individual surgical performance: a systematic review. *Ann Surg* 2015;261:642-7.

24. Garner JP, Prytherch D, Senapati A, O'Leary D, Thompson MR. Sub-specialization in general surgery: the problem of providing a safe emergency general surgical service. *Colorectal Dis* 2006;8:273-7.
25. Bundesärztekammer. (Muster-)Weiterbildungsordnung 2003 Facharztweiterbildung Allgemein Chirurgie. Berlin: Bundesärztekammer; 2003.
26. Scherer J, Sprengel K, Simmen H-P, Pape H-C, Osterhoff G. Survey on structural preparedness for treatment of thoracic and abdominal trauma in German-speaking level 1 trauma centers. *European Journal of Trauma and Emergency Surgery* 2019.
27. Acute Care Surgery. 2018. (Accessed 16.12.2020, 2020, at <https://www.aast.org/acute-care-surgery-overview>.)
28. GÜSGEN C, Franke A, Hentsch S, Kollig E, Schwab R. Das Terroranschlagstrauma – eine eigene Entität des Polytraumas. *Der Chirurg* 2017;88:821-9.
29. Mancini DJ, Smith BP, Polk TM, Schwab CW. Forward Surgical Team Experience (FSTE) Is Associated With Increased Confidence With Combat Surgeon Trauma Skills. *Mil Med* 2018;183:e257-e60.
30. Duchesne JC, McSwain NE, Jr., Cotton BA, Hunt JP, Dellavolpe J, Lafaro K, Marr AB, Gonzalez EA, Phelan HA, Bilski T, Greiffenstein P, Barbeau JM, Rennie KV, Baker CC, Brohi K, Jenkins DH, Rotondo M. Damage Control Resuscitation: The New Face of Damage Control. *Journal of Trauma and Acute Care Surgery* 2010;69.
31. Lechner R, Achatz G, Hauer T, Palm HG, Lieber A, Willy C. [Patterns and causes of injuries in a contemporary combat environment]. *Unfallchirurg* 2010;113:106-13.
32. Vincent E. Attentat du 13-Novembre : deux ans après, les révélations de l'enquête. *Le Monde* 2017 11 novembre 2017.
33. Bonnet S, Gonzalez F, Poichotte A, Duverger V, Pons F. Lessons learned from the experience of visceral military surgeons in the French role 3 Medical Treatment Facility of Kabul (Afghanistan): An extended skill mix required. *Injury* 2012;43:1301-6.
34. GÜSGEN C, Achatz G, Palm H-G, Kollig E, Engelhardt M, Willy C, Lieber A. Spektrum der Operationen in deutschen Sanitätseinrichtungen in Afghanistan im Jahr 2008. *Der Unfallchirurg* 2010;113:99-105.
35. Back DA, Waldmann K, Hauer T, Huschitt N, Bowyer MW, Wesemann U, Lieber A, Willy C. Concept and evaluation of the German War Surgery Course - Einsatzchirurgie-Kurs der Bundeswehr. *J R Army Med Corps* 2017;163:206-10.
36. Davies J, Khatib M, Bello F. Open surgical simulation--a review. *J Surg Educ* 2013;70:618-27.
37. Lernpyramide für Digitales Lernen von NTL – Darstellung by Intercessio. 2018. (Accessed 16.12.2020, 2020, at <https://intercessio.de/24-digital-learning-buzzwords>-

- einfach-erklart-infographic/lernpyramide-fuer-digitales-lernen-von-ntl-darstellung-by-intercessio/.)
38. Learning pyramide. Wikipedia, The Free Encyclopedia. (Accessed 18.12.2020, 2020, at https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Learning_pyramid&oldid=985307641.)
 39. Letrud K. A rebuttal of NTL Institute's learning pyramid. *Education* 2012;133:117-24.
 40. Page RL. Brief History of Flight Simulation. *SimTecT 2000 Proceedings* 2000:11-7.
 41. Aebersold M. The History of Simulation and Its Impact on the Future. *AACN Adv Crit Care* 2016;27:56-61.
 42. Veneziano D, Cacciamani G, Shekhar Biyani C. Simulation and training in Urology - in collaboration with ESU/ESUT. *Arch Esp Urol* 2018;71:55-62.
 43. Fidelity. Wikipedia, The Free Encyclopedia, 2020. (Accessed 18.12.2020, 2020, at <https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Fidelity&oldid=991916023>.)
 44. Johnson GG, Brindley PG, Gillman LM. Fidelity in surgical simulation: further lessons from the S.T.A.R.T.T. course. *Can J Surg* 2020;63:E161-e3.
 45. Berkenstadt H, Munz Y, Trodler G, Blumenfeld A, Rubin O, Ziv A. Evaluation of the Trauma-Man® Simulator for Training in Chest Drain Insertion. *European Journal of Trauma* 2006;32:523-6.
 46. TraumaMan v5. 2017. (Accessed 18.12.2020, at <https://www.simulab.com/traumaman-v5>.)
 47. GmbH A. Ambu® Man Airway (Wireless). In: GmbH A, ed. Bad Nauheim: Ambu® GmbH; 2018.
 48. Einsatz von Simulationspatienten. Charité - Universitätsmedizin Berlin, 2020. (Accessed 18.12.2020, 2020,
 49. Qureshi AA, Zehra T. Simulated patient's feedback to improve communication skills of clerkship students. *BMC Med Educ* 2020;20:15.
 50. Kennel L, Martin, David, Shaw, Hannah, Wilkinson, Tracey. Learning anatomy through Thiel- vs. formalin-embalmed cadavers: Student perceptions of embalming methods and effect on functional anatomy knowledge. *Anatomical Sciences Education* 2017;11.
 51. Hayashi S, Naito M, Kawata S, Qu N, Hatayama N, Hirai S, Itoh M. History and future of human cadaver preservation for surgical training: from formalin to saturated salt solution method. *Anatomical Science International* 2016;91:1-7.
 52. Trauma ACoSCo. ASSET (Advanced Surgical Skills for Exposure in Trauma). Chicago, IL, USA: American College of Surgeons; 2010.
 53. Lloyd GM, Maxwell-Armstrong C, Acheson AG. Fresh frozen cadavers: an under-utilized resource in laparoscopic colorectal training in the United Kingdom. *Colorectal Disease* 2011;13:e303-e4.

54. Minneti M, Baker CJ, Sullivan ME. The Development of a Novel Perfused Cadaver Model With Dynamic Vital Sign Regulation and Real-World Scenarios to Teach Surgical Skills and Error Management. *J Surg Educ* 2018;75:820-7.
55. da Luz LT, Nascimento B, Tien CH, Kim MJ, Nathens AB, Vlachos S, Glassberg CE. Current use of live tissue training in trauma: a descriptive systematic review. *Canadian Journal of Surgery* 2015;58:S125-S34.
56. Salomon F GH, Gille U. *Anatomie für die Tiermedizin*. Stuttgart: Thieme; 2020.
57. Loh CYY, Wang AYL, Tiong VTY, Athanassopoulos T, Loh M, Lim P, Kao H-K. Animal models in plastic and reconstructive surgery simulation—a review. *Journal of Surgical Research* 2018;221:232-45.
58. Hofmann J. *Ein Physiologiemodell für Tactical Combat Casualty Care Training in mobilen Serious Games*. Neubiberg: Deutsche Nationalbibliografie; 2019.
59. McGrath JL, Taekman JM, Dev P, Danforth DR, Mohan D, Kman N, Crichlow A, Bond WF. Using Virtual Reality Simulation Environments to Assess Competence for Emergency Medicine Learners. *Academic Emergency Medicine*:n/a-n/a.
60. McLaughlin T, Hennecke P, Garraway NR, Evans DC, Hameed M, Simons RK, Doucet J, Hansen D, Annand S, Bell N, Brown DR. A predeployment trauma team training course creates confidence in teamwork and clinical skills: a post-Afghanistan deployment validation study of Canadian Forces healthcare personnel. *J Trauma* 2011;71:S487-93.
61. Steinemann S, Berg B, Skinner A, DiTulio A, Anzelon K, Terada K, Oliver C, Ho HC, Speck C. In Situ, Multidisciplinary, Simulation-Based Teamwork Training Improves Early Trauma Care. *Journal of Surgical Education* 2011;68:472-7.
62. Schuetz M, Moenk S, Vollmer J, Kurz S, Mollnau H, Post F, Heinrichs W. High degree of realism in teaching percutaneous coronary interventions by combining a virtual reality trainer with a full scale patient simulator. *Simul Healthc* 2008;3:242-6.
63. *The Complete Guide to Gap Analysis*. Smartsheet Inc., 2020. (Accessed 18.12.2020, 2020, at <https://www.smartsheet.com/gap-analysis-method-examples>.)
64. Gunnar Duttge CV. *Würde und Selbstbestimmung über den Tod hinaus*. Göttinger Schriften zum Medizinrecht. Göttingen: Universitätsverlag Göttingen; 2017:23-4.
65. *Schweine in OP-Kursen der Bundeswehr verstümmelt – jetzt helfen!* PETA Deutschland e.V., 2019. (Accessed 18.12.2020, 2020, at <https://www.peta.de/themen/bundeswehr-op-kurse-petition/>.)
66. *The 3 Rs*. National Centre for the Replacement, Refinement & Reduction of Animals in Research. (Accessed 05/06/2020, 2020, at <https://www.nc3rs.org.uk/the-3rs>.)

67. Goolsby C, Branting A, Ausman J, Williams D, Ausman C, David J, Allard R. Systematic Review of Live Tissue Versus Simulation Education for Prehospital Trauma Providers. *Mil Med* 2017;182:e1824-e33.
68. Doumouras AG, Keshet I, Nathens AB, Ahmed N, Hicks CM. A Crisis of Faith? A Review of Simulation in Teaching Team-Based, Crisis Management Skills to Surgical Trainees. *Journal of Surgical Education* 2012;69:274-81.
69. Kuckartz U. DT, Rädiker S., Stefer C. *Qualitative Evaluation*. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften; 2008.
70. Mayring P. *Qualitative Inhaltsanalyse*. Weinheim: Beltz; 2015.
71. Tierschutzgesetz. 1972-07-24. BGBl I1972.
72. Märdian S, Klein F, Solarek A, Nonnen L, Cwojdzinski D, Auhuber T, Lembke V. The Berlin Acute Trauma Care Instrument Set (BATMIN) - A Selected Combination of Surgical Instruments for Damage Control and Hemostasis Surgery in Severe Acute Trauma. *Disaster Med Public Health Prep* 2020:1-6.
73. Martin JA, Regehr G, Reznick R, MacRae H, Murnaghan J, Hutchison C, Brown M. Objective structured assessment of technical skill (OSATS) for surgical residents. *Br J Surg* 1997;84:273-8.
74. Cohen J. *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. Hillsdale, N.J.: L. Erlbaum Associates; 1988.
75. Barnes SL, Bukoski A, Kerby JD, Llerena L, Armstrong JH, Strayhorn C, University of Missouri Combat Casualty Training C. Live tissue versus simulation training for emergency procedures: Is simulation ready to replace live tissue? *Surgery* 2016;160:997-1007.
76. Capella J, Smith S, Philp A, Putnam T, Gilbert C, Fry W, Harvey E, Wright A, Henderson K, Baker D, Ranson S, ReMine S. Teamwork Training Improves the Clinical Care of Trauma Patients. *Journal of Surgical Education* 2010;67:439-43.
77. Amin MR, Friedmann DR. Simulation-based training in advanced airway skills in an otolaryngology residency program. *Laryngoscope* 2013;123:629-34.
78. Mohammad A, Branicki F, Abu-Zidan FM. Educational and clinical impact of Advanced Trauma Life Support (ATLS) courses: a systematic review. *World J Surg* 2014;38:322-9.
79. Tan TX, Buchanan P, Quattromani E. Teaching Residents Chest Tubes: Simulation Task Trainer or Cadaver Model? *Emergency medicine international* 2018;2018:9179042-.
80. Young TP, Schaefer MD, Kuntz HM, Estes MK, Kiemeney M, Wolk BJ, Guptill M. Yogaman: An Inexpensive, Anatomically-detailed Chest Tube Placement Trainer. *The western journal of emergency medicine* 2019;20:117-21.

81. D C. Simulation training for medical combat care. 2017.
82. Stirling ER, Lewis TL, Ferran NA. Surgical skills simulation in trauma and orthopaedic training. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research* 2014;9:126.
83. Al-Ramahi J, Luo H, Fang R, Chou A, Jiang J, Kille T. Development of an Innovative 3D Printed Rigid Bronchoscopy Training Model. *Annals of Otolaryngology & Rhinology* 2016;125:965-9.
84. Caban AM, Guido C, Silver M, Rossidis G, Sarosi G, Ben-David K. Use of collapsible box trainer as a module for resident education. *Jsls* 2013;17:440-4.
85. Bonrath EM, Weber BK, Fritz M, Mees ST, Wolters HH, Senninger N, Rijcken E. Laparoscopic simulation training: Testing for skill acquisition and retention. *Surgery* 2012;152:12-20.
86. Howells NR, Auplish S, Hand GC, Gill HS, Carr AJ, Rees JL. Retention of arthroscopic shoulder skills learned with use of a simulator. Demonstration of a learning curve and loss of performance level after a time delay. *J Bone Joint Surg Am* 2009;91:1207-13.
87. Bartlett JD, Lawrence JE, Stewart ME, Nakano N, Khanduja V. Does virtual reality simulation have a role in training trauma and orthopaedic surgeons? *Bone Joint J* 2018;100-b:559-65.
88. Karam MD, Kho JY, Yehyawit TM, Ohrt GT, Thomas GW, Jonard B, Anderson DD, Marsh JL. Application of Surgical Skill Simulation Training and Assessment in Orthopaedic Trauma. *The Iowa Orthopaedic Journal* 2012;32:76-82.
89. Egol KA, Phillips D, Vongbandith T, Szyld D, Strauss EJ. Do orthopaedic fracture skills courses improve resident performance? *Injury* 2015;46:547-51.
90. Schwabe L, Joëls M, Roozendaal B, Wolf OT, Oitzl MS. Stress effects on memory: An update and integration. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews* 2012;36:1740-9.
91. Demaria S, Jr., Bryson EO, Mooney TJ, Silverstein JH, Reich DL, Bodian C, Levine AI. Adding emotional stressors to training in simulated cardiopulmonary arrest enhances participant performance. *Med Educ* 2010;44:1006-15.
92. Peng HT, Tenn C, Vartanian O, Rhind SG, Jarmasz J, Tien H, Beckett A. Biological Response to Stress During Battlefield Trauma Training: Live Tissue Versus High-Fidelity Patient Simulator. *Mil Med* 2018.
93. Takai N, Yamaguchi M, Aragaki T, Eto K, Uchihashi K, Nishikawa Y. Effect of psychological stress on the salivary cortisol and amylase levels in healthy young adults. *Archives of Oral Biology* 2004;49:963-8.
94. Valentin B, Grottko O, Skorning M, Bergrath S, Fischermann H, Rortgen D, Mennig MT, Fitzner C, Muller MP, Kirschbaum C, Rossaint R, Beckers SK. Cortisol and alpha-amylase as stress response indicators during pre-hospital emergency medicine training

- with repetitive high-fidelity simulation and scenarios with standardized patients. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med* 2015;23:31.
95. Ghazali DA, Faure JP, Breque C, Oriot D. Evaluation of stress patterns during simulated laparoscopy in residency. *Minerva Chir* 2016;71:252-61.
 96. Jones KI, Amawi F, Bhalla A, Peacock O, Williams JP, Lund JN. Assessing surgeon stress when operating using heart rate variability and the State Trait Anxiety Inventory: will surgery be the death of us? *Colorectal Dis* 2015;17:335-41.
 97. A B. Self-efficacy: Toward a unifying theory of behavioral change. *Psychological Review* 1977;84:191-215.
 98. Savage EC, Tenn C, Vartanian O, Blackler K, Sullivan-Kwantes W, Garrett M, Blais AR, Jarmasz J, Peng H, Pannell D, Tien HC. A comparison of live tissue training and high-fidelity patient simulator: A pilot study in battlefield trauma training. *J Trauma Acute Care Surg* 2015;79:S157-63.
 99. Hall AB, Riojas R, Sharon D. Comparison of self-efficacy and its improvement after artificial simulator or live animal model emergency procedure training. *Mil Med* 2014;179:320-3.
 100. Hall AB. Randomized objective comparison of live tissue training versus simulators for emergency procedures. *Am Surg* 2011;77:561-5.
 101. Rubiano AM, Sánchez AI, Guyette F, Puyana JC. Trauma care training for National Police nurses in Colombia. *Prehospital emergency care : official journal of the National Association of EMS Physicians and the National Association of State EMS Directors* 2010;14:124-30.
 102. Block EF, Lottenberg L, Flint L, Jakobsen J, Liebnitzky D. Use of a human patient simulator for the advanced trauma life support course. *Am Surg* 2002;68:648-51.
 103. McCarthy MC, Ranzinger MR, Nolan DJ, Lambert CS, Castillo MH. Accuracy of cricothyroidotomy performed in canine and human cadaver models during surgical skills training. *J Am Coll Surg* 2002;195:627-9.
 104. Iverson K, Riojas R, Sharon D, Hall AB. Objective comparison of animal training versus artificial simulation for initial cricothyroidotomy training. *Am Surg* 2015;81:515-8.
 105. King N, Kunac A, Merchant AM. A Review of Endoscopic Simulation: Current Evidence on Simulators and Curricula. *Journal of Surgical Education* 2016;73:12-23.
 106. Kellicut DC, Kuncir EJ, Williamson HM, Masella PC, Nielsen PE. Surgical Team Assessment Training: improving surgical teams during deployment. *Am J Surg* 2014;208:275-83.
 107. Popp J, Yochum L, Spinella PC, Donahue S, Finck C. Simulation training for surgical residents in pediatric trauma scenarios. *Conn Med* 2012;76:159-62.

108. Young AK, Maniaci MJ, Simon LV, Lowman PE, McKenna RT, Thomas CS, Cochuyt JJ, Vadeboncoeur TF. Use of a simulation-based advanced resuscitation training curriculum: Impact on cardiopulmonary resuscitation quality and patient outcomes. *Journal of the Intensive Care Society* 2020;21:57-63.
109. Kahneman D, Miller DT. Norm theory: Comparing reality to its alternatives. *Psychological Review* 1986;93:136-53.
110. Onufer EJ, Cullinan DR, Wise PE, Punch LJ. Trauma Technical Skill and Management Exposure for Junior Surgical Residents – The “SAVE Lab 1.0”. *Journal of Surgical Education* 2019;76:824-31.
111. Eppich W, Cheng A. Promoting Excellence and Reflective Learning in Simulation (PEARLS): Development and Rationale for a Blended Approach to Health Care Simulation Debriefing. *Simulation in Healthcare* 2015;10:106-15.
112. Carey JN, Minneti M, Leland HA, Demetriades D, Talving P. Perfused fresh cadavers: method for application to surgical simulation. *American journal of surgery* 2015;210:179-87.
113. Held JM, McLendon RB, McEvoy CS, Polk TM. A Reusable Perfused Human Cadaver Model for Surgical Training: An Initial Proof of Concept Study. *Mil Med* 2019;184:43-7.
114. Faure JP, Breque C, Danion J, Delpech PO, Oriot D, Richer JP. SIM Life: a new surgical simulation device using a human perfused cadaver. *Surgical and Radiologic Anatomy* 2017;39:211-7.
115. Aboud E, Aboud G, Al-Mefty O, Aboud T, Rammos S, Abolfotoh M, Hsu SP, Koga S, Arthur A, Krisht A. "Live cadavers" for training in the management of intraoperative aneurysmal rupture. *J Neurosurg* 2015;123:1339-46.
116. Ciporen JN, Lucke-Wold B, Mendez G, Cameron WE, McCartney S. Endoscopic Management of Cavernous Carotid Surgical Complications: Evaluation of a Simulated Perfusion Model. *World Neurosurg* 2017;98:388-96.

10. Eidesstattliche Versicherung

„Ich, Katja Schneider, versichere an Eides statt durch meine eigenhändige Unterschrift, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Thema: *Simulation in der Notfallchirurgischen Ausbildung/ Simulation in Emergency Surgery Training* selbstständig und ohne nicht offengelegte Hilfe Dritter verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel genutzt habe.

Alle Stellen, die wörtlich oder dem Sinne nach auf Publikationen oder Vorträgen anderer Autoren/innen beruhen, sind als solche in korrekter Zitierung kenntlich gemacht. Die Abschnitte zu Methodik (insbesondere praktische Arbeiten, Laborbestimmungen, statistische Aufarbeitung) und Resultaten (insbesondere Abbildungen, Graphiken und Tabellen) werden von mir verantwortet.

Meine Anteile an etwaigen Publikationen zu dieser Dissertation entsprechen denen, die in der untenstehenden gemeinsamen Erklärung mit dem Erstbetreuer, angegeben sind. Für sämtliche im Rahmen der Dissertation entstandenen Publikationen wurden die Richtlinien des ICMJE (International Committee of Medical Journal Editors; www.icmje.org) zur Autorenschaft eingehalten. Ich erkläre ferner, dass ich mich zur Einhaltung der Satzung der Charité – Universitätsmedizin Berlin zur Sicherung Guter Wissenschaftlicher Praxis verpflichte.

Weiterhin versichere ich, dass ich diese Dissertation weder in gleicher noch in ähnlicher Form bereits an einer anderen Fakultät eingereicht habe.

Die Bedeutung dieser eidesstattlichen Versicherung und die strafrechtlichen Folgen einer unwahren eidesstattlichen Versicherung (§§156, 161 des Strafgesetzbuches) sind mir bekannt und bewusst.“

Datum

Unterschrift

11. Anteilserklärung an etwaigen erfolgten Publikationen

Katja Schneider hatte folgenden Anteil an der folgenden Publikation:

Hauer T., Schneider K., Mayer D., Huschitt N, Lieber A, Willy C. Technische Trainingsmodelle für die notfallchirurgische Ausbildung – Bedarf, Status quo und Potenzial“ von, *Unfallchirurg* 122, 452–463. 2019.

Anteil: Erstellen der Fragebögen und Durchführung der Studie im Rahmen der Arbeitsgruppe, statistische Auswertung der Ergebnisse, Erstentwurf des Artikels

Unterschrift, Datum und Stempel des erstbetreuenden Hochschullehrers

Unterschrift der Doktorandin

12. Lebenslauf

Mein Lebenslauf wird aus datenschutzrechtlichen Gründen in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht veröffentlicht.

13. Publikationsliste

Katja Schneider (Schneider K) hat an den folgenden wissenschaftlichen Arbeiten mitgewirkt:

1. Vortrag: Schneider K, *Vergleichende Untersuchung chirurgischer Simulationsmodelle für die Ausbildung chirurgischer Notfallmaßnahmen*, Hausarbeit im Rahmen M23, MSM 2.0, 2017. Beitrag im Einzelnen: Erstellen der Diskussionsfragen, Transkription und Auswertung der Diskussion, Verfassen der Arbeit
2. Vortrag: Schneider K, Back D A, Maaz A, Peters H, Hauer T, *Technische Simulationsmodelle in der notfallchirurgischen Ausbildung – Expertenmeinungen*, Vortrag im Rahmen der 25. Jahrestagung Arbeitskreis chirurgisch tätiger Sanitätsoffiziere, Koblenz, 02/2018. Beitrag im Einzelnen: Erstellen der Diskussionsfragen, Transkription und Auswertung der Diskussion, Erstellen und Vortragen der Präsentation.
3. Abstract zum Vortrag (siehe oben): Schneider K, Back D A, Maaz A, Peters H, Hauer T, *Technische Simulationsmodelle in der notfallchirurgischen Ausbildung – Expertenmeinungen*. Wehrmedizinische Monatsschrift 6/2018, 2018. Beitrag im Einzelnen: Erstellen der Diskussionsfragen, Transkription und Auswertung der Diskussion, Erstellen des Abstracts.
4. Vortrag: Schneider K, Willmund G, Back D A, Maaz A, Peters H, Lieber A, Hauer T, *Technische Simulationsmodelle in der notfallchirurgischen Ausbildung – eine Alternative zu Live Tissue Training und humanen Präparaten?*, Vortrag im Rahmen des Heinz-Gerngroß-Förderpreises des 49. Jahreskongress der Deutschen Gesellschaft für Wehrmedizin und Wehrpharmazie, 10/2018. Beitrag im Einzelnen: Erstellen der Fragebögen und Durchführung der Befragung mit der Arbeitsgruppe, Auswertung der Ergebnisse, Erstellen und Präsentieren des Vortrags.
5. Extended Abstract: Schneider K, Willmund G, Back D A, Maaz A, Peters H, Lieber A, Hauer T, *Technische Simulationsmodelle in der notfallchirurgischen Ausbildung – eine Alternative zu Live Tissue Training und humanen Präparaten? (Extended Abstract zum Vortrag, siehe oben)*, Wehrmedizinische Monatsschrift 12/2018, 2018. Beitrag im Einzelnen: Erstellen der Fragebögen und Durchführung der Studie mit der Arbeitsgruppe, Auswertung der Ergebnisse, Erstellen und Präsentieren des Vortrags.

6. Vortrag: Schneider K, Willmund G, Back D A, Maaz A, Peters H, Lieber A, Hauer T, *Live Tissue Training - advantages and alternatives?*, Vortrag im Rahmen des International Military Medical Simulation Symposium in Stuttgart 05/2018, 2018. Beitrag im Einzelnen: Erstellen der Fragebögen und Durchführung der Studie mit der Arbeitsgruppe, Auswertung der Ergebnisse, Erstellen und Präsentieren des Vortrags.
7. Vortrag: Schneider K, Willmund G, Back D A, Maaz A, Peters H, Lieber A, Hauer T, *Evaluation of Live Tissue Training: Pilot Study Results*, Vortrag im Rahmen des Assessment of Perfused Human Cadavers in Wendisch-Rietz 11/2018, 2018. Beitrag im Einzelnen: Erstellen der Fragebögen und Durchführung der Studie mit der Arbeitsgruppe, Auswertung der Ergebnisse, Erstellen und Präsentieren des Vortrags.
8. Artikel: Hauer T, Schneider K, Mayer D, Huschitt N, Lieber A, Willy C, *Technische Trainingsmodelle für die notfallchirurgische Ausbildung*, Der Unfallchirurg 06/2019, 2019-Beitrag im Einzelnen: Erstellen der Fragebögen und Durchführung der Studie mit der Arbeitsgruppe, Auswertung der Ergebnisse, Erstentwurf des Artikels
9. Vortrag: Hauer T, Schneider K, Back DA, Willy C, Huschitt N, Lieber A, *Perfused Human Cadaver Model for Surgical Trauma Training*, Vortrag im Rahmen des World Congress of Surgery in Krakau 08/2019, 2019. Die Inhalte decken sich nicht direkt mit der vorliegenden Monographie, sie bauen jedoch auf der Methodik und den Ergebnissen auf. Beitrag im Einzelnen: Erstellen der Fragebögen und Durchführung der Studie mit der Arbeitsgruppe, Auswertung der Ergebnisse, Erstellen der Tabellen (Results 1 – 4), Erstellen der Grafik „Outlook“

Unterschrift, Datum und Stempel des erstbetreuenden Hochschullehrers

Unterschrift des Doktoranden/der Doktorandin

14. Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen bedanken, die mich auf meinem bisherigen Weg in der medizinischen Forschung begleitet und die Vollendung meiner Promotion ermöglicht haben.

Allen voran gilt mein Dank meinem Doktorvater, Herrn Oberfeldarzt PD Dr. David Alexander Back, und meinem Betreuer, Herrn Oberfeldarzt Dr. Thorsten Hauer, die meinen Lernzuwachs durch diese Promotion im Sinne des Forderns und Förderns maximiert haben.

Herrn Oberfeldarzt PD Dr. David Alexander Back danke ich besonders für den Brückenschlag zwischen seinen Arbeiten am Bundeswehrkrankenhaus Berlin und dem Dieter Scheffner Fachzentrum für medizinische Hochschullehre der Charité. Außerdem danke ich ihm für die stete Begleitung durch die Studie und den Prozess des Schreibens, die kompetente Beratung zu allen forschungsbezogenen Fragen und den manchmal nötigen Impuls, das Ziel nicht aus den Augen zu verlieren.

Herrn Oberfeldarzt Dr. Thorsten Hauer möchte ich für die zeitintensive und umfängliche Betreuung danken, die dieses vielschrittige Projekt mit sich brachte. Viele Stunden des Ideenfindens und -umsetzens, Probevorträge und unzählige Korrekturen, sowie spannende Chirurgie-Kurse und -Kongresse haben es mir ermöglicht, aktiv zum Gelingen des Projekts beizutragen, von den Erfahrungen der Arbeitsgruppe zu lernen und alle Aspekte eines Forschungsprojekts zu erleben. Das weiß ich sehr zu schätzen. Nicht zuletzt möchte ich mich auch für die Wertschätzung meiner Arbeit bedanken, die so nicht selbstverständlich ist.

Dem Dieter Scheffner Fachzentrum für medizinische Hochschullehre und evidenzbasierte Ausbildungsforschung danke ich als betreuendes Institut der Charité – Universitätsmedizin Berlin. Mein Dank gilt Herrn Prof. Dr. Harm Peters und Frau Dr. Asja Maaz im Allgemeinen für die Beratung der Arbeitsgruppe in methodischen Fragen und im Besonderen für die Unterstützung bei der Planung und Durchführung des Experteninterviews, das den Grundstein für diese Arbeit legte.

Herrn Oberstarzt Dr. André Lieber und Herrn Oberstarzt Dr. Niels Huschitt danke ich sowohl persönlich als auch stellvertretend für die Klinik der Allgemein-, Viszeral- und Thoraxchirurgie des Bundeswehrkrankenhauses Berlin. Ein Mitglied dieser Arbeitsgruppe zu sein hat meine Vorfreude auf die mögliche zukünftige Arbeit in der Klinik II noch verstärkt.

Den Instruktoren des Trainings Einsatzchirurgie danke ich für ihre Teilnahme an der Studie sowie das Einbinden in die Ausbildung, was unter anderem den besonderen Reiz dieser Arbeit darstellte.

Herrn Oberstarzt Dr. Gerd Willmund danke ich für die Beratung zur Erforschung der psychischen Aspekte notfallchirurgischer Ausbildung und für Vorschläge zur Weiterführung des Projekts.

Meinen Eltern, Kerstin und Klaus Schneider, möchte ich für alles danken, was sie mir zur Bewältigung des Projekts „Promotion“, des Studiums und des Lebens mit auf den Weg gegeben haben. Unzählige Male konnte ich mich zur Problemlösung auf nützliche Fähigkeiten berufen, deren Besitz ich mir eigentlich nicht bewusst war, aber die ich eindeutig vorgelebt bekommen habe. Auch des Privilegs eines korrekturlesenden Back-Offices bin ich mir dankend bewusst.

Zuletzt möchte ich hier meinen Freunden, allen voran David Janke und Francis Feldmann, für die Geduld danken, die sie meinen Terminen und der für Arbeit genutzten Freizeit entgegenbringen, sowie für die Begeisterung, die sie für jeden noch so kleinen Fortschritt des Projekts gezeigt haben. Mit niemandem sonst säße ich lieber wortlos und in Arbeit vertieft nebeneinander am Küchentisch.

15. Bescheinigung Statistik



CharitéCentrum für Human- und Gesundheitswissenschaften

Charité | Campus Charité Mitte | 10117 Berlin

Institut für Biometrie und klinische Epidemiologie (iBikE)

Direktor: Prof. Dr. Geraldine Rauch

Postanschrift:
Charitéplatz 1 | 10117 Berlin
Besucheranschrift:
Reinhardtstr. 58 | 10117 Berlin

Tel. +49 (0)30 450 562171
geraldine.rauch@charite.de
<https://biometrie.charite.de/>



Name, Vorname: Schneider, Katja

Bescheinigung

Hiermit bescheinige ich, dass Frau Katja Schneider innerhalb der Service Unit Biometrie des Instituts für Biometrie und klinische Epidemiologie (iBikE) bei mir eine statistische Beratung zu einem Promotionsvorhaben wahrgenommen hat. Folgende Beratungstermine wurden wahrgenommen:

- Termin 1: *07.05.2019*
- Termin 2: *28.05.2019*

Folgende wesentliche Ratschläge hinsichtlich einer sinnvollen Auswertung und Interpretation der Daten wurden während der Beratung erteilt:

- Angabe von Median mit 25. und 75. Perzentilen bzw Mittelwert mit Standardabweichung zur Deskription der Likert-Scores
- Bitte explizit in den Methoden schreiben, dass alle Auswertungen rein explorativ sind und die p-Werte entsprechend keinen konfirmatorischen Charakter haben, sowie dass keine globale Adjustierung für multiples Testen vorgenommen wurde.
- Wahl der Abbildungen: Boxplots nach Möglichkeit mit individuellen Datenpunkten
- Statistische Signifikanz ist nicht mit klinischer Relevanz gleichzusetzen. Auch nicht statistisch signifikante Unterschiede können von relevanter Größenordnung sein. Interpretation der explorativen p-Werte bitte mit Vorsicht.

Diese Bescheinigung garantiert nicht die richtige Umsetzung der in der Beratung gemachten Vorschläge, die korrekte Durchführung der empfohlenen statistischen Verfahren und die richtige Darstellung und Interpretation der Ergebnisse. Die Verantwortung hierfür obliegt allein dem Promovierenden. Das Institut für Biometrie und klinische Epidemiologie übernimmt hierfür keine Haftung.

Datum: 20.5.2020

Unterschrift BeraterIn, Institutsstempel