

Aus der I. Medizinischen Klinik und Poliklinik
der Universitätsmedizin der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

Entwicklung, Etablierung und Integration eines Ultraschallsimulator-basierten
Trainings in die Sonographieausbildung der Universitätsmedizin Mainz

Inauguraldissertation
zur Erlangung des Doktorgrades der
Medizin
der Universitätsmedizin
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

Vorgelegt von

Franziska Marietta Sprengart
aus Seeheim-Jugenheim

Mainz, 2026

Wissenschaftlicher Vorstand: Univ.-Prof. Dr. med. Philipp Drees

1. Gutachter: Univ.-Prof. Dr. med. Julia Weinmann-Menke

2. Gutachter: PD Dr. med. Sebastian Göbel

Tag der Promotion: 21.08.2026

Nachnutzungslizenz: CC-BY-4.0

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	I
Abbildungsverzeichnis	II
Tabellenverzeichnis	V
1 Einleitung / Ziel der Dissertation	6
1.1 Gliederung der Dissertation	7
1.2 Zielformulierung und Hauptfragestellung der Dissertation	8
2 Literaturdiskussion	9
2.1 Historischer Hintergrund der Simulatoren in der Medizin	9
2.2 Simulation heute	10
2.2.1 Anwendungsbereiche der Simulatoren	10
2.2.2 Selbstgesteuertes Lernen als Schlüsselkompetenz in der medizinischen Ausbildung – Ein besonderer Fokus auf Ultraschall	13
2.3 Wirksamkeit des Simulationstrainings	16
2.3.1 Grundlagen und Vorteile des Simulationstrainings in der Medizin	16
2.3.2 Limitationen des Simulationstrainings in der Medizin	17
2.3.3 Simulationsbasiertes Training in der Kardiologie	18
2.4 Ultraschallsimulation im Allgemeinen	19
2.4.1 Vorteile der Anwendung von Ultraschallsimulation	20
2.4.2 Limitationen der Ultraschallsimulation	21
2.5 Ultraschallsimulation in der medizinischen Aus- und Weiterbildung	22
2.5.1 Ultraschallsimulation in verschiedenen Fachbereichen: Einsatzmöglichkeiten und Anwendungsgebiete	23
2.5.2 Aktuelle Studienlage zur Ultraschallsimulation in der medizinischen Aus- und Weiterbildung	24
2.5.3 Bedarf an strukturierten und evidenzbasierten Trainingsprogrammen	28
3 Material und Methoden	30
3.1 Beschreibung der ersten Stufe des Stufenmodells – Online-Umfrage	31
3.1.1 Entwicklung und Hintergrund der Umfrage	31
3.1.2 Zielformulierung	31
3.1.3 Studienbeschreibung und Teilnehmerrekrutierung	32
3.1.4 Fragebogen	33
3.1.5 Validität und Zuverlässigkeit des Fragebogens	35
3.1.6 Dateneingabe und -auswertung	36
3.2 Beschreibung der zweiten Stufe des Stufenmodells – Entwicklung eines Kurskonzeptes zur simulationsbasierten Ultraschalllehre und Ausbildung der Ultraschalldozenten	37
3.2.1 Studienentwicklung/ -hintergrund	37
3.2.2 Entwicklung eines Kurskonzeptes zur Einführung der simulationsbasierten Ultraschalllehre	39
3.2.3 Umsetzung des Kurskonzeptes und Ausbildung der Dozenten am Ultraschallsimulator	44
3.2.4 Evaluation des Simulatorhandbuchs	47

3.2.5	Ausblick auf die dritte Stufe des Stufenmodells: Probelauf des Kurskonzeptes zur FATE-Sim-Studie im Rahmen des sonoforklinik-students-Dozententreffens	48
3.3	Beschreibung der dritten Stufe des Stufenmodells – die FATE-Sim-Studie	48
3.3.1	Studiendesign zur FATE-Sim-Studie	49
3.3.2	Rahmenbedingungen	50
3.4	Beschreibung des Kursmodells und -ablaufs	54
3.4.1	Kurskonzept und Lernziele	54
3.4.2	Kursmodell	54
3.4.3	Präkursphase / Kursvorbereitung.....	55
3.4.4	Präsenzkursphase	55
3.4.5	Postkursphase	57
3.5	Beschreibung der Lehrmedien	57
3.5.1	Handbuch Simulator	58
3.5.2	Poster	58
3.5.3	Vorlesung zur Einführungsveranstaltung	59
3.5.4	Didaktische Leitfäden und Ablaufpläne für Dozenten	59
3.6	Beschreibung der Prüfungsformate	63
3.6.1	Evaluationen	63
3.6.2	Theoretische Wissensprüfung zur Evaluierung des Lernerfolgs	64
3.6.3	Praktische Prüfungen	65
3.6.4	Übersicht der Prüfungsformate	65
3.7	Dateneingabe und -auswertung	68
4	Ergebnisse	69
4.1	Erste Stufe des Stufenmodells: Online-Umfrage zum Thema simulationsbasiertes Training in der Medizin.....	69
4.1.1	Beschreibung der Daten	69
4.1.2	Studienpopulation	69
4.1.3	Studienergebnisse: Erfahrungen mit simulationsbasiertem Training	70
4.2	Zweite Stufe des Stufenmodells: Entwicklung eines Kurskonzeptes zur Einführung der simulationsbasierten Ultraschalllehre und Ausbildung der Ultraschalldozenten.....	84
4.2.1	Beschreibung der Daten	84
4.2.2	Ergebnisse der Evaluation	85
4.2.3	Ergebnisse der theoretischen Prüfungen	89
4.2.4	Einflussfaktoren auf die Kompetenzentwicklung	90
4.2.5	Evaluation des Benutzerhandbuchs.....	93
4.3	Dritte Stufe des Stufenmodells: FATE-Sim-Studie: Integration des simulationsbasierten Ultraschalltrainings in die Ultraschalllehre.....	95
4.3.1	Ergebnisse der Evaluationen	95
4.3.2	Objektiver Kompetenzzuwachs	99
5	Diskussion.....	103
5.1	Diskussion der ersten Stufe des Stufenmodells	103
5.1.1	Allgemeine Einstellung gegenüber simulationsbasiertem Training.....	103

5.1.2	Herausforderungen bei der Betreuung und Integration von simulationsbasiertem Training in die Pflichtausbildung.....	104
5.1.3	Vorteile und die Notwendigkeit adaptiver Lehrmethoden	106
5.1.4	Training am Ultraschallsimulator.....	107
5.1.5	Ansprüche an die Nutzung und Weiterentwicklung von Ultraschallsimulatoren	109
5.1.6	Limitationen	110
5.1.7	Fazit	111
5.2	Diskussion der zweiten Stufe des Stufenmodells: Entwicklung eines Kurskonzeptes zur Einführung der simulationsbasierten Ultraschalllehre und Ausbildung der Ultraschalldozenten	111
5.2.1	Einleitung und Überblick	111
5.2.2	Einfluss der Vorerfahrung auf den Kompetenzzuwachs.....	112
5.2.3	Subjektive Einschätzung und realistische Selbsteinschätzung.....	112
5.2.4	Nutzungsverhalten und Individualisierung im Lernprozess.....	112
5.2.5	Haltung gegenüber simulationsbasiertem Training	113
5.2.6	Objektiver Kompetenzgewinn	113
5.2.7	Bewertung des Benutzerhandbuchs	113
5.2.8	Motivation und Aufrechterhaltung des Lernverhaltens	114
5.2.9	Limitationen der zweiten Stufe des Stufenmodells.....	115
5.2.10	Gesamtbewertung und curriculare Relevanz.....	115
5.3	Diskussion der dritten Stufe des Stufenmodells: Die FATE-Sim-Studie	116
5.3.1	Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse und Relevanz der Forschung	116
5.3.2	Kompetenzerwerb	116
5.3.3	Einstellung gegenüber Simulation, Motivation und Kursbewertung.....	117
5.3.4	Stärken und Einschränkungen.....	118
5.3.5	Fazit	119
5.4	Diskussion unter dem Aspekt der COVID-19-Pandemie	120
5.5	Methodische Limitationen des gesamten Stufenmodells.....	121
5.6	Zukunftsaussichten: Die vierte Stufe des Stufenmodells.....	122
5.7	Schlussbetrachtung	123
6	Zusammenfassung.....	124
7	Literaturverzeichnis	IV
8	Anhang	XII
9	Danksagung.....	XXXV
10	Tabellarischer Lebenslauf	XXXVI

Abkürzungsverzeichnis

AED.....	Automatisierter externer Defibrillator
BLS	Basic Life Support
COVID-19	Coronavirus Disease 2019
CPR	Kardiopulmonale Reanimation
DOPS.....	Direct observation of procedural skills
FAST	Focused Assessment with Sonography for Trauma
FATE.....	Focused Assessed Transthoracic Echocardiography
FOCUS	Focused cardiac ultrasound
ILT.....	Instructor-led Training
KG.....	Kontrollgruppe
POCUS	Point-of-care-Ultraschall
SBT	Simulationsbasiertes Training
SDL.....	Self-directed learning
SG.....	Studiengruppe
TTE	Transthorakale Echokardiographie
ZVK.....	Zentraler Venenkatheter

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Stufenmodell.....	8
Abbildung 2: Simulationsentwicklung in der Medizin.....	10
Abbildung 3: Einteilung der Simulatoren anhand technischer Aspekte	10
Abbildung 4: Überblick über die Anwendungsbereiche von Simulatoren in der Medizin.....	12
Abbildung 5: Überblick über die verschiedenen Ultraschallsimulatoren hinsichtlich technischer Aspekte	20
Abbildung 6: Überblick über die Vorteile und Herausforderungen bei der Einrichtung eines simulationsbasierten Trainingskurses {Pedersen, 2024 #99}.....	21
Abbildung 7: Übersicht über die Anwendungsbereiche der Ultraschallsimulation mit Beispielen.....	23
Abbildung 8: Stufenmodell.....	30
Abbildung 9: Chronologischer Ablauf der Dissertationsdurchführung und des Studienablaufes	30
Abbildung 10: Stufenmodell.....	31
Abbildung 11: Stufenmodell.....	37
Abbildung 12: Chronologische Darstellung des Studiendesigns einschließlich des Entwicklungs-, Rekrutierungs- und Studienablaufs sowie der Zeitpunkte der Datenerhebung (T1 und T2). (A) Entwicklungsprozess des Trainings- und Evaluationsmaterials; (B) Rekrutierungsprozess; (C) Studienablauf und Messzeitpunkte mit Baseline-Erhebung (T1), Einführung in die Simulatorgrundfunktionen, selbstgesteuerter Trainingsphase sowie abschließender subjektiver Evaluation und Wissenstest (T2).	39
Abbildung 13: Auszug aus dem Benutzerhandbuch des Vimedix. Einzelne grafische Elemente basieren auf Material von CAE Healthcare und wurden mit freundlicher Genehmigung übernommen.....	42
Abbildung 14: Übersicht der Lerneinheiten und Themen	43
Abbildung 15: Auszug aus dem Arbeitsheft. Hier abgebildet ist die erste Seite der Lerneinheit 1. Weitere Auszüge aus dem Arbeitsheft sind in Anhang B dargestellt. Einzelne grafische Elemente basieren auf Material von CAE Healthcare und wurden mit freundlicher Genehmigung übernommen.....	44
Abbildung 16: Stufenmodell.....	48
Abbildung 17: Chronologische Darstellung des Studiendesigns und des Kurskonzeptes, einschließlich der Zeitpunkte der Datenerhebung (T1, T2a und T2b). (A) Der Entwicklungsprozess des Kursdesigns und der Kursinhalte;(B) Rekrutierung ;(C) Kurskonzept; (D) Kursmodule einschließlich Lerninhalte.....	50
Abbildung 18: Vorstellung der im Kurs verwendeten Trainingsgeräte. Die Kontrollgruppe wurde am Ultraschallsystem GE F8 der General Electric Company, Boston geschult (Abbildungen a und c), während die Studiengruppe mit dem Ultraschallsimulator Vimedix von CAE Healthcare, Montreal, Kanada (Abbildungen b und d) trainierte.{Weimer, 2025 #103} .	53
Abbildung 19: Studiendurchführung mit Erhebungszeitpunkten, Fallgruppe am Simulator, Kontrollgruppe am Menschen.....	55
Abbildung 20: Poster zum FATE-Protokoll.....	59
Abbildung 21: Zeitplan der Kleingruppe M. Dargestellt sind die einzelnen Praxisstationen mit jeweils 40 Minuten Dauer, die nacheinander durchlaufen wurden. Jede Station wurde von einem Dozenten betreut (Raum 1–6). Im Anschluss erfolgten strukturierte praktische Prüfungen (DOPS) in zwei Durchgängen à 40 Minuten. Den Abschluss bildeten eine gemeinsame Evaluation sowie ein Posttest im Hörsaal. Der gleiche Zeitplan galt am darauffolgenden Kurstag für die Kleingruppe R.	60
Abbildung 22: Auszug aus den Schallanleitungen für das Training am Simulator (oben) und das Training am Menschen (links unten) sowie einer allgemeinen Information über das TEE (rechts unten). Einzelne grafische Elemente basieren auf Material von CAE Healthcare und wurden mit freundlicher Genehmigung übernommen. Weitere Beispiele im Anhang C und D.	62
Abbildung 23: (A) Rain-Plot der mittleren Unterskalenbewertungen in der Kategorie „Integration in die Pflichtlehre“ auf einer Likert-Skala (1–7). (b) Der Violin-Plot zeigt die	

Verteilung der Bewertungen für die Unterskala „hohe Anschaffungskosten“ für Studierende im dritten Jahr (rot), PJ-Studierende (blau) und Ärzte (grün). (B-E) Der Violin-Plot zeigt die Verteilung der Bewertungen für die Unterskala „fehlende Einführung in die Nutzung des Simulators“ für Studierende im dritten Jahr (rot), PJ-Studierende (blau) und Ärzte (grün). Die p-Werte als Ergebnisse der Post-hoc-Tests nach Vergleich der einzelnen Gruppen sind oberhalb der Klammern mit den entsprechenden Sternchen angegeben (* $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$, **** $p < 0,0001$, n.s. = nicht signifikant).73

Abbildung 24: (A) Rain-Plot der mittleren Unterskalenbewertungen für das Hauptmerkmal „Vorteile des simulationsbasierten Trainings“ auf einer Likert-Skala (1–7). Die Verteilungen für Studierende im dritten Jahr (rot), PJ-Studierende (blau) und Ärzte (grün) sind durch Dichtekurven dargestellt, wobei die einzelnen Bewertungspunkte als Streuung unterhalb dieser Kurven angezeigt werden. Vertikale Linien innerhalb jeder Farbgruppe zeigen den Median und die Quartile an. (B-H) Violin-Plots, welche die Verteilung der Unterskalenbewertungen auf einer Likert-Skala für Studierende im dritten Jahr (rot), PJ-Studierende (blau) und Ärzte (grün) darstellen. Die p-Werte als Ergebnisse der Post-hoc-Tests nach Vergleich der einzelnen Gruppen sind oberhalb der Klammern mit den entsprechenden Sternchen angegeben (* $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$, **** $p < 0,0001$, n.s. = nicht signifikant).75

Abbildung 25: (A) Rain-Plot der mittleren Unterskalenbewertungen für das Hauptmerkmal „Kriterien für effektives simulationsbasiertes Training“ auf einer Likert-Skala (1–7). Die Verteilungen für Studierende im dritten Jahr (rot), PJ-Studierende (blau) und Ärzte (grün) sind durch Dichtekurven dargestellt, wobei die einzelnen Bewertungspunkte als Streuung unterhalb dieser Kurven angezeigt werden. Vertikale Linien innerhalb jeder Farbgruppe zeigen den Median und die Quartile an. (B-H) Violin-Plots, welche die Verteilung der Unterskalenbewertungen auf einer Likert-Skala für Studierende im dritten Jahr (rot), PJ-Studierende (blau) und Ärzte (grün) darstellen. Die p-Werte als Ergebnisse der Post-hoc-Tests nach Vergleich der einzelnen Gruppen sind oberhalb der Klammern mit den entsprechenden Sternchen angegeben (* $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$, **** $p < 0,0001$, n.s. = nicht signifikant).77

Abbildung 26: (A) Rain-Plot der mittleren Unterskalenbewertungen für das Hauptmerkmal „Limitationen von simulationsbasiertem Training“ auf einer Likert-Skala (1–7). Die Verteilungen für Studierende im dritten Jahr (rot), PJ-Studierende (blau) und Ärzte (grün) sind durch Dichtekurven dargestellt, wobei die einzelnen Bewertungspunkte als Streuung unterhalb dieser Kurven angezeigt werden. Vertikale Linien innerhalb jeder Farbgruppe zeigen den Median und die Quartile an. (B-C) Violin-Plots, welche die Verteilung der Unterskalenbewertungen auf einer Likert-Skala für Studierende im dritten Jahr (rot), PJ-Studierende (blau) und Ärzte (grün) darstellen. Die p-Werte als Ergebnisse der Post-hoc-Tests nach Vergleich der einzelnen Gruppen sind oberhalb der Klammern mit den entsprechenden Sternchen angegeben (* $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$, n.s. = nicht signifikant).78

Abbildung 27: (A) Rain-Plot der mittleren Unterskalenbewertungen für das Hauptmerkmal „Bewertung des Ultraschallsimulator-Trainings“ auf einer Likert-Skala (1–7). Die Verteilungen für Studierende im dritten Jahr (rot), PJ-Studierende (blau) und Ärzte (grün) sind durch Dichtekurven dargestellt, wobei die einzelnen Bewertungspunkte als Streuung unterhalb dieser Kurven angezeigt werden. Vertikale Linien innerhalb jeder Farbgruppe zeigen den Median und die Quartile an. (B) Der Violin-Plot zeigt die Verteilung der Bewertungen für die Unterskala „Wert des Pathologie-Trainings“ auf einer Likert-Skala für Studierende im dritten Jahr (rot), PJ-Studierende (blau) und Ärzte (grün). (C) Violin-Plot, der die Verteilung der Bewertungen für die Unterskala „Eignung von simulationsbasiertem Ultraschall-Training (SBUT) für Ultraschallfähigkeiten“ auf einer Likert-Skala für Studierende im dritten Jahr (rot), PJ-Studierende (blau) und Ärzte (grün) zeigt. (D) Der Violin-Plot zeigt die Verteilung der Bewertungen für die Unterskala „Vertiefung des theoretischen Verständnisses“ auf einer Likert-Skala für Studierende im dritten Jahr (rot), PJ-Studierende (blau) und Ärzte (grün). Die p-Werte als Ergebnisse der Post-hoc-Tests nach Vergleich der einzelnen Gruppen sind oberhalb der Klammern mit den entsprechenden Sternchen angegeben (* $p < 0,05$, n.s. = nicht signifikant).80

Abbildung 28: (A) Rain-Plot der mittleren Unterskalenbewertungen für das Hauptmerkmal „Bewertung des CAE Vimedix 3.0 Simulators“ auf einer Likert-Skala (1–7). Die Verteilungen für Studierende im dritten Jahr (rot), PJ-Studierende (blau) und Ärzte (grün) sind durch Dichtekurven dargestellt, wobei die einzelnen Bewertungspunkte als Streuung unterhalb dieser Kurven angezeigt werden. Vertikale Linien innerhalb jeder Farbgruppe zeigen den Median und die Quartile an. (B-G) Violin-Plots, welche die Verteilung der Unterskalenbewertungen auf einer Likert-Skala für Studierende im dritten Jahr (rot), PJ-Studierende (blau) und Ärzte (grün) darstellen. Die p-Werte als Ergebnisse der Post-hoc-Tests nach Vergleich der einzelnen Gruppen sind oberhalb der Klammern mit den entsprechenden Sternchen angegeben (* $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, **** $p < 0,0001$, n.s. = nicht signifikant).	82
Abbildung 29: (A) Rain-Plot der mittleren Unterskalenbewertungen für das Hauptmerkmal „Übertragbarkeit des CAE Vimedix 3.0 Simulators“ auf einer Likert-Skala (1–7). Die Verteilungen für Studierende im dritten Jahr (rot), PJ-Studierende (blau) und Ärzte (grün) sind durch Dichtekurven dargestellt, wobei die einzelnen Bewertungspunkte als Streuung unterhalb dieser Kurven angezeigt werden. Vertikale Linien innerhalb jeder Farbgruppe zeigen den Median und die Quartile an. (B-D) Violin-Plots, welche die Verteilung der Unterskalenbewertungen auf einer Likert-Skala für Studierende im dritten Jahr (rot), PJ-Studierende (blau) und Ärzte (grün) darstellen. Die p-Werte als Ergebnisse der Post-hoc-Tests nach Vergleich der einzelnen Gruppen sind oberhalb der Klammern mit den entsprechenden Sternchen angegeben (* $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, n.s. = nicht signifikant).	83
Abbildung 30: Vergleich der Ergebnisse des Wissenstests zwischen den Messzeitpunkten T1 und T2. Dargestellt sind Boxplots für (A) die Gesamtpunktzahl des Theorietests, (B) die Punktzahl im Bereich Grundlagen, (C) die Punktzahl im Bereich Normalbefunde sowie (D) die Punktzahl im Bereich Pathologien. Die Boxplots zeigen Median, Interquartilsabstand sowie Minimal- und Maximalwerte; rote Punkte kennzeichnen die Mittelwerte. Die angegebenen p-Werte geben die Ergebnisse der statistischen Tests zum Vergleich zwischen T1 und T2 an. Δ beschreibt die mittlere Differenz $\pm$ Standardabweichung, d die Effektstärke nach Cohen.	92
Abbildung 31: Bewertungen des Simulatorskripts und der Lerneinheiten in aggregierten Kategorien. Gezeigt werden Boxplots mit Mittelwerten (rote Punkte). Niedrigere Werte spiegeln eine höhere Zustimmung wider (Skala: 1 = voll und ganz, 7 = überhaupt nicht).	93
Abbildung 32: Flussdiagramm nach CONSORT zur Darstellung des Studienablaufs. Die Grafik zeigt die Einschreibung, Zuteilung und Analyse der Teilnehmer. Von den 174 auf Eignung überprüften Teilnehmern wurden 138 randomisiert und entweder der Kontrollgruppe (Training am Menschen, $n = 69$) oder der Studiengruppe (Training am Simulator, $n = 69$) zugewiesen. In der Kontrollgruppe nahmen 67 Teilnehmer an der zugewiesenen Lehrmethode teil, während 2 Teilnehmer den Kurs nicht besuchten. In der Studiengruppe erhielten 66 Teilnehmer die zugewiesene Lehrmethode, während 3 Teilnehmer nicht am Kurs teilnahmen. Schließlich wurden 65 Teilnehmer der Kontrollgruppe und 63 Teilnehmer der Studiengruppe in die Analyse einbezogen.	95
Abbildung 33: Selbstbewertung der (A) Motivation und (B) des Erreichens der Lernziele zu den Zeitpunkten T1 und T2. Die Kontrollgruppe ist in rot und die Studiengruppe in blau dargestellt.	97
Abbildung 34: Bewertungsergebnisse bei T2 mit der Kontrollgruppe in rot und der Studiengruppe in blau dargestellt. (A) Ergebnisse der Bewertung des Kurskonzepts; (B) der Lernerfahrung; (C) der Realitätsnähe des Trainings; (D) der Zufriedenheit und des Nutzens; (E) der Bereitschaft zur Nutzung des Ultraschallsimulators; (F) der Bewertung der Dozenten. ...	98
Abbildung 35: Ergebnisse der subjektiven Kompetenzentwicklung zu den Zeitpunkten T1 und T2, mit der Kontrollgruppe in rot und der Studiengruppe in blau dargestellt. (A) Gesamtbewertung; (B-J) Unterpunkte.	99
Abbildung 36: Ergebnisse des Theorietests bei T1 und T2, mit der Kontrollgruppe in rot und der Studiengruppe in blau dargestellt. (A) Die Gesamtbewertung; (B) die Unterkategorien Ultraschall-Pathologien; (C) Grundlagen; (D) Bildzuordnung; (E) Ultraschall-Normalbefunde.	100
Abbildung 37: Ergebnisse des praktischen Tests zum Zeitpunkt T2 der Kontrollgruppe (rot) und der Studiengruppe (blau). Die Violin-Plots zeigen die Ergebnisse von: (A, D) DOPS ^{Human} ; (B, C) DOPS ^{Sim} ; (E, F) DOPS ^{SimPatho}	101

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht über den Fragebogen der Online-Umfrage. Beispielfragen des verwendeten Fragebogens sind in Anhang A dargestellt.	35
Tabelle 2: Übersicht der Evaluationen im Rahmen der Dozentenausbildung	45
Tabelle 3: Übersicht über die Wissensüberprüfung im Rahmen der Dozentenausbildung ...	47
Tabelle 4: Übersicht über die Evaluationen.....	66
Tabelle 5: Übersicht über die Wissensüberprüfung.....	66
Tabelle 6: Übersicht über die praktischen Prüfungen.....	67
Tabelle 7: Demografische Daten	69
Tabelle 8: Kontakt mit simulationsbasiertem Training und Einsatzgebiete	70
Tabelle 9: Instruktoren, Bewertung des Lernerfolgs und Ausbau von Simulationszentren ...	71
Tabelle 10: Integration in die Pflichtausbildung und vermittelte Inhalte	79
Tabelle 11: Persönliche Daten und Dozentenausbildung.....	86
Tabelle 12: Anzahl beobachteter und eigenständig durchgeführter Ultraschalluntersuchungen zu den Erhebungszeitpunkten T1 und T2.	86
Tabelle 13: Motivation, Erwartung und Lernziele	89
Tabelle 14: Gruppenstatistik der persönlichen Daten und Vorerfahrung	96
Tabelle J.415: Theorietest Ergebnisse	XXXII

1 Einleitung / Ziel der Dissertation

Die Sonographie als bildgebendes Verfahren - unter Einsatz von Ultraschall zur Darstellung von organischem Gewebe - hat in fast allen medizinischen Fachbereichen im Rahmen der Diagnostik einen wichtigen Stellenwert eingenommen und ist inzwischen weit verbreitet. Gründe hierfür liegen u.a. in der schnellen Durchführung und der risikoarmen, schmerzlosen und strahlenexpositionsfreien Anwendung [2]. Ihre Etablierung in nahezu allen medizinischen Fachbereichen beruht auf einer kontinuierlichen Weiterentwicklung seit den ersten Anwendungen in den 1940er-Jahren, die zahlreiche Innovationen hervorgebracht hat [3].

Die stetige Ausbreitung des Point-of-care-Ultraschalls (POCUS) und das steigende Interesse an der Bildgebung führen zu einer stärkeren Nachfrage entsprechender Schulungen in allen Fachbereichen. Das Sammeln der erforderlichen Erfahrungen für die Umsetzung der hierfür relevanten Kompetenzen kann jedoch schwierig sein [4-7].

Studierende und Assistenzärzte¹ – ebenso wie Fachärzte und andere Mitarbeitende im medizinischen Bereich - stehen unter dem Druck des Wandels der modernen Medizin. Begrenzte Lehr- und Ausbildungszeiten, der Mangel an Supervisoren, sowie die verstärkte Konzentration auf Patientensicherheit spielen hierbei eine beachtliche Rolle [8].

Es existiert bis heute kein einheitliches und vor allem in das medizinische Curriculum integriertes Lehrkonzept der Ultraschallausbildung² in Deutschland, sowie international. Wolf et. al. fasste 2019 anhand einer Umfrage den Stand der Ultraschallausbildung an deutschsprachigen Universitäten zusammen. An einzelnen Universitäten etablierten sich ultraschallspezifische Pflichtkurse und teilweise findet die Ausbildung durch freiwillige Kurse statt [9, 10].

An der Universitätsmedizin Mainz wurde im Wintersemester 2016/2017 ein Ultraschallprojekt von Studierenden initiiert und über die Jahre ausgebaut.[11] Somit besteht hier für die Studierenden die Chance, bereits während des klinischen Abschnittes Ultraschallkenntnisse zu erlangen und diese direkt in Famulaturen, Praktika und Hospitationen anzuwenden.

Die Ultraschallausbildung besteht aus theoretischem Wissen, praktischen Fertigkeiten, Bildinterpretation und der Integration in den klinischen Kontext. Diese Aspekte können durch unterschiedliche Lehrmethoden vermittelt werden. Theoretisches Wissen wird üblicherweise im Rahmen von Vorlesungen oder Seminaren vermittelt, kann jedoch auch durch digitale Lehrmethoden wie E-Learning-Module, Webinare oder Lernplattformen unterstützt werden.

¹ Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird in dieser Arbeit das generische Maskulinum verwendet. Es sind jedoch stets alle Geschlechter gleichermaßen gemeint.

² Zur Vereinfachung der Lesbarkeit wird in den meisten Fällen der Begriff „Ultraschallausbildung“ verwendet, auch wenn „Sonographieausbildung“ der fachlich korrekte Ausdruck wäre

Die praktischen Fähigkeiten erlangen die Anwender meist durch Ultraschallkurse sowie durch die Anwendung im klinischen Alltag.

Eine Lösung für die oben aufgeführten Herausforderungen in der Lehre der Studierenden und den Assistenzärzten könnte in der Integration einer innovativen Ausbildungsmethode – „simulationsbasiertes Training in der Sonographie“ – liegen, wie sie auch im aktuellen WFUMB-State-of-the-Art-Paper zur Rolle von Simulatoren in der Ultraschallausbildung hervorgehoben wird.[12] Zur Einführung einer neuen Ausbildungsmethode sollten die Vorteile anhand evidenzbasierter Studien belegt werden. Die Studienlage bzgl. simulationsbasierten Trainings im Rahmen der Sonographie ist zu Beginn der Planungsarbeiten gering.

1.1 Gliederung der Dissertation

Der nachstehende Abschnitt gibt einen kurzen Überblick über den Aufbau der Dissertationsschrift.

Die Literaturdiskussion bildet den ersten Teil. Sie greift zunächst den geschichtlichen Hintergrund der Simulatoren sowie deren Entwicklung und Etablierung in der Medizin auf und fokussiert anschließend die Ultraschallsimulation. Dabei werden die Vor- und Nachteile sowie die Limitationen des simulationsbasierten Trainings diskutiert. Zudem diene eine umfassende Literaturrecherche als Grundlage für die gesamte Arbeit und ermögliche den Vergleich mit bisher veröffentlichten Studien.

Der zweite Teil – Material und Methodik – wird anhand eines Stufenmodells dargestellt.

Die erste Stufe umfasst die Entwicklung und Durchführung einer Online-Umfrage, die sich an Studierende, Assistenzärzte und Fachärzte richtete. Inhaltlich wurden unter anderem bisherige Erfahrungen mit simulationsbasiertem Training sowie die Bewertung eines Ultraschallsimulators erfragt.

Die zweite Stufe beschreibt die Entwicklung eines speziellen Lehrkonzeptes zur Integration des simulationsbasierten Trainings in die Ultraschallausbildung. Primäres Ziel war es, ein strukturiertes Curriculum für die Dozenten von Ultraschallkursen am Simulator zu erstellen.

Die dritte Stufe umfasst die Planung und Durchführung der FATE-Sim-Studie mit dem Ziel, den Lernerfolg eines Echokardiographie-Trainings am Simulator (Focus Assessed Transthoracic Echocardiography, FATE) im Vergleich zum Training am Patienten zu untersuchen. Studierende des ersten klinischen Semesters nahmen an einem freiwilligen Workshop teil und wurden randomisiert entweder der Studiengruppe (Training am Simulator) oder der Kontrollgruppe (Training am Menschen) zugeteilt.

Im dritten Teil der Dissertation werden die Ergebnisse der drei Stufen dargestellt und im Kontext der Forschungsfragen analysiert. Der vierte Teil umfasst die Diskussion, in der die

Ergebnisse im wissenschaftlichen Kontext eingeordnet und Limitationen reflektiert werden. Gleichzeitig wird hier die vierte Stufe des Stufenmodells aufgegriffen, die einen Ausblick auf die zukünftige Entwicklung sowie die Formulierung weiterer Forschungsfragen beinhaltet.

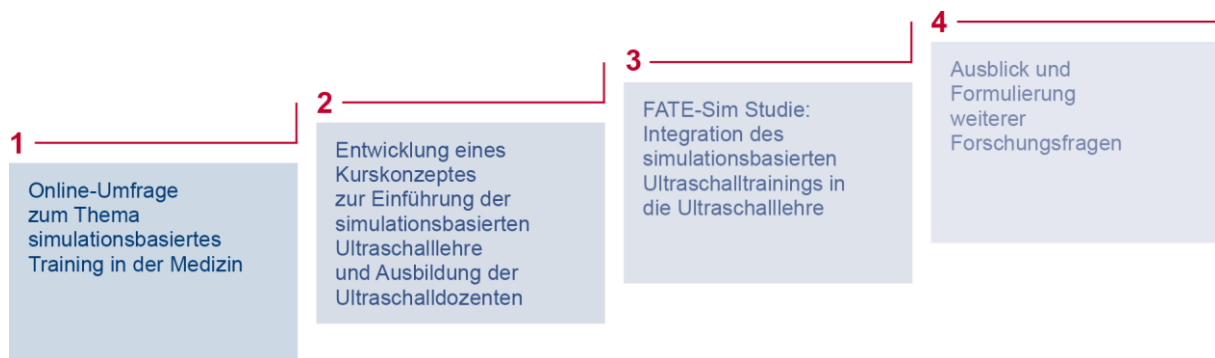


Abbildung 1: Stufenmodell

1.2 Zielformulierung und Hauptfragestellung der Dissertation

Zusammenfassend beschäftigt sich die Dissertation und die darin enthaltene FATE-Sim-Studie mit der Fragestellung, ob und wie die neue Lehrmethode des simulationsbasierten Trainings sinnvoll in der Ultraschallausbildung etabliert und integriert werden kann bzw. sollte. Darüber hinaus wird untersucht, ob eine solche Lehrform von den Lernenden überhaupt gewünscht ist, welche praktischen, kognitiven und anderen Fähigkeiten sich daraus ergeben, wie sich der Erfolg der Lehre am Simulator im Vergleich zur Lehre am Menschen verhält und welche Vor- bzw. Nachteile und Limitationen diese Lehrmethode aufzeigt. Das Ziel dieser Arbeit besteht darin, die neue Ausbildungsmethode auf Grundlage einer evidenzbasierten Studie in die Lehre der Universitätsmedizin Mainz zu integrieren.

2 Literaturdiskussion

Der Einsatz von Simulatoren zum Zweck der medizinischen Ausbildung hat eine jahrhundertlange Tradition. Der Ursprung liegt in der Anatomie, Physiologie und in geburtshilflichen Maßnahmen [13]. Simulationen von Geburten aus Holz- und Wachsmodellen wurden bereits im neunten Jahrhundert angewandt [14]. Die Patientensimulation, wie wir sie heute kennen, hat ihre Ursprünge in der zweiten Hälfte des letzten Jahrhunderts. Die Simulationstechniken nehmen einen zunehmenden Stellenwert ein und werden immer mehr im Training für medizinisches Handling eingesetzt. Vorangetrieben wurde dies vor allem durch kardiopulmonale Reanimationen (Resusci-Anne), die Entwicklung humanoider Full-Scale-Simulatoren für Physiologie und klinische Pharmakologie und die Reform der medizinischen Ausbildung, wie etwa die Verbreitung von Skills Labs. Der folgende Abschnitt gibt einen Überblick über die Geschichte, Entwicklung und die Integration der Simulatoren in der Medizin basierend auf der aktuellen Studienlage.

2.1 Historischer Hintergrund der Simulatoren in der Medizin

Der Ursprung der heutigen Ausbildung mit Hilfe von Simulatoren in der Medizin stammt u.a. aus der Luftfahrt. Der erste richtige Flugsimulator wurde 1929 von Edwin Link erbaut und patentiert, nach 1950 wurden diese digital erweitert. Link fusionierte mit weiteren Firmen (Link Simulation Systems) und wurde 1988 von CAE Industries (kanadischer Marktführer unter den Simulationsherstellern) aufgekauft. Die Simulation von unvorhersehbaren Ereignissen und einfacher Grundlagen beim Fliegen anhand von Flugsimulatoren erwies sich als positiv für die Flugsicherheit. Die Entwicklungen in der Medizin und die Erfahrungen aus der Luftfahrt führten zu Akzeptanz von Training mit Simulatoren in der Medizin [13, 15, 16].

1960 wurde von einer kleinen Gruppe norwegischer Anästhesisten in Zusammenarbeit mit einem Spielzeughersteller die „Resusci-Anne“ für Basic Life Support (BLS) im Rahmen des Mega-Code-Trainings konstruiert. Die Puppe, die ein sterbendes Opfer simulierte, keinen Herzschlag und keine Atmung hatte, verbreitete sich schnell auf der ganzen Welt [17].

Später wurden nach und nach weitere Simulatoren auf dem Markt etabliert. Die anfangs sehr teuren Produkte, wurden mit der Erfindung des „Sim-Man“ von Laerdal Mitte der 1990er Jahre auf etwa ein Zehntel der Kosten reduziert. Es folgten weitere Simulatoren wie bspw. der „Baby-Sim“, „SimOne“ zum Training von Narkoseeinleitungen und endotrachealer Intubation, sowie speziell für kardiologische Patienten entworfene Simulatoren mit audiovisueller Lernhilfe (Herztöne, Pulse, Blutdruck und Atmung) und der Gainesville Anesthesia Simulator, welcher direkt ein gesamtes klinisches Setting beinhaltete (Puppe, Beatmungsgerät und Standardmonitoring) [17-20]. 1994 wurde in Basel der „Wilhelm-Tell-Simulator“ erstmals installiert. Er bildete einen gesamten Operationssaal nach, der aus einem

Anästhesiesimulator, chirurgischem Simulator und einer laparoskopisch assistierten Komponente bestand. Das Ziel war dabei, mögliche operative Komplikationen gemeinsam im Team mit den Anästhesisten und Operateuren zu meistern [18].

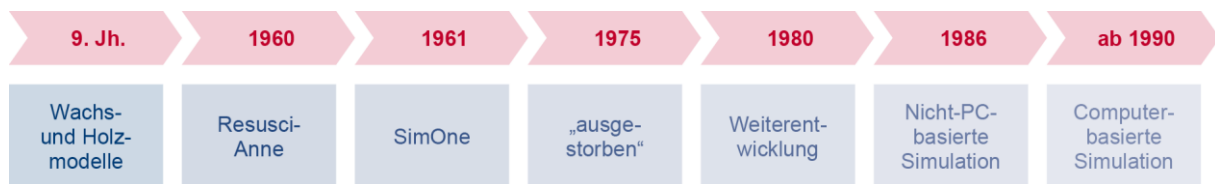


Abbildung 2: Simulationsentwicklung in der Medizin

2.2 Simulation heute

Der Einsatz der Simulatoren in der Medizin ist heute vielfältig und findet im pflegerischen, präklinischen und klinischen Bereich Verwendung. Sie präsentieren ein breites Spektrum an Eigenschaften und Verhaltensweisen der realen Patientenphysiologie. Die Ausführungen reichen vom Neugeborenen bis hin zum Erwachsenen und sind daher in verschiedenen Orten der Patientenversorgung eingebettet, bspw. in Nachbildungen von OP-Sälen, Intensivstationen u.v.m.

Simulatoren können hinsichtlich technischer Aspekte in verschiedene Kategorien unterteilt werden (vgl. Abbildung 3). Einfache Übungsmodelle dienen zum Training von klar definierten Abläufen wie Maskenbeatmung, Anlegen einer Thoraxdrainage, etc.. Weiter unterscheidet man sog. Low-Fidelity-Simulatoren von High-Fidelity-Simulatoren. Der dabei wesentliche Unterschied ist, dass High-Fidelity-Simulatoren zum Beispiel monitorisierbare Vitalparameter, Atemgeräusche, Pupillenmotilität oder Muskeltonus simulieren können, während Low-Fidelity-Simulatoren über keine oder nur sehr wenig Rückmeldung verfügen. Abbildung 3 veranschaulicht diese Kategorisierung.

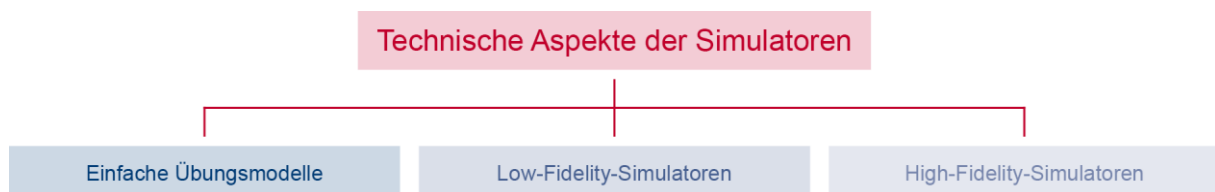


Abbildung 3: Einteilung der Simulatoren anhand technischer Aspekte

2.2.1 Anwendungsbereiche der Simulatoren

Der nachfolgende Abschnitt gibt einen Überblick über die unterschiedlichen Anwendungsbereiche der Simulatoren in der Medizin anhand einiger Beispiele [18]. Ein zusammenfassender Überblick über weitere Einsatzfelder und exemplarische Anwendungen ist in Abbildung 4 dargestellt.

In der Anästhesie, Intensiv- und Schmerzmedizin zählt die Atemwegssicherung zu den zeitkritischen Maßnahmen. Eine simulationsbasierte Ausbildung eignet sich hierfür besonders, da die Durchführung am realen Patienten mit hohen Risiken verbunden ist.

In der Notfallmedizin werden häufig Routineabläufe unterbrochen und von plötzlich einsetzender Dynamik, Zeitdruck, Komplexität und Entscheidungsdruck mit geringer Fehlertoleranz abgelöst. In diesem Fall eignen sich einige Simulatoren zum Training solcher plötzlich auftretender Situationen [21]. Zu den Simulatoren der Inneren Medizin zählen u.a. Virtual-Reality (VR) Simulatoren, die auf einer computergenerierten dreidimensionalen interaktiven Umgebung basieren und im Bereich der Kardiologie, Angiologie, sowie der Endoskopie von Lunge und Magen-Darm-Trakt eingesetzt werden. Das Training verbessert die medizinische Fort- und Weiterbildung und erhöht damit die Patientensicherheit. Außerdem minimiert es die Patientengefährdung [22].

In der Chirurgie finden Simulationstrainer für minimalinvasive Eingriffe Anwendung. Nicht zuletzt ist der Einsatz in der Geburtshilfe, der Kinderakutmedizin, dem Sanitätsdienst der Bundeswehr, der Rettungsdienstausbildung und im Berufsbild der Pflege populär [14].

Weitere Anwendungsbereiche und entsprechende Beispiele sind aus der darunter stehenden Grafik zu entnehmen.

Die genannten Einsatzfelder zeigen, dass Simulationen sowohl praktische Fertigkeiten als auch didaktische Innovationen fördern. Besonders in der Ultraschallausbildung eröffnet die Simulation neue Möglichkeiten für selbstgesteuertes und kompetenzorientiertes Lernen.

Chirurgie	· Laparoskopiesimulatoren · Robotergestützte Chirurgesimulatoren (z. B. Da-Vinci-Simulator) · Orthopädische Simulatoren für Arthroskopie oder Frakturversorgung · Endoskopiesimulatoren für Magen-Darm-Spiegelungen und Bronchoskopie · Notfallchirurgische Simulatoren für Thoraxdrainagen, Tracheotomien und Traumaversorgung
Anästhesiologie und Intensivmedizin	· Ultraschallsimulatoren für Gefäßzugänge und Regionalanästhesie · Intubations- und Atemwegsmanagement-Simulatoren · Beatmungs- und Kreislaufsimulatoren für intensivmedizinisches Training · Notfall- und Reanimationssimulatoren für CPR-Training und Schockraummanagement
Notfallmedizin	· Traumasimulatoren für transthorakale und transösophageale Untersuchungen · FAST-Ultraschallsimulatoren zur Notfalldiagnostik bei inneren Blutungen · Reanimationssimulatoren für Herz-Kreislauf-Stillstände und AED-Training · Simulatoren für Massenanfälle zur Koordination bei Katastrophenszenarien
Innere Medizin und Kardiologie	· Auskultationssimulator zur Simulation von Herz- und Atemgeräuschen · Echokardiographiesimulatoren für transthorakale und transösophageale Untersuchungen · Simulatoren für interventionelle Kardiologie (katheterbasierte Verfahren) · EKG-Simulatoren zur Diagnostik von Herzrhythmusstörungen
Gynäkologie und Geburtshilfe	· Geburtssimulatoren für normale und komplizierte Entbindungen · Fetale Ultraschallsimulatoren zur Pränataldiagnostik · Simulatoren für gynäkologische Untersuchungen und Eingriffe
Pädiatrie und Neonatologie	· Neugeborenen-Reanimations-Simulatoren (NRP) zur Schulung der Erstversorgung · Schädel-Ultraschallsimulatoren für die Diagnostik bei Frühgeborenen · Pädiatrische Intubations- und Notfallsimulatoren
Radiologie	· Ultraschallsimulatoren für diagnostische und interventionelle Anwendungen · CT- und MRT-Trainingssimulatoren zur Bildinterpretation · Simulatoren für bildgeführte Biopsien
HNO-Heilkunde	· Endoskopiesimulatoren für Nasopharyngoskopie und Laryngoskopie · Ultraschallsimulatoren für Halsweichteile und Schilddrüse · Ohrmikrochirurgie-Simulatoren für Mastoidektomien und Cochlea-Implantate
Allgemeinmedizin	· Point-of-Care-Ultraschallsimulatoren (POCUS) für die Primärdiagnostik · Simulatoren für die körperliche Untersuchung (z. B. Palpation, Otoskopie, Gynäkologie) · Notfallsimulatoren für Hausärzte (z. B. anaphylaktischer Schock, Myokardinfarkt)
Exkurs: Zahnmedizin	· Phantomköpfe für Zahnersatz- und Füllungstherapien · Chirurgische Zahnentfernungssimulatoren · Endodontie- und Parodontologiesimulatoren

Abbildung 4: Überblick über die Anwendungsbereiche von Simulatoren in der Medizin

2.2.2 Selbstgesteuertes Lernen als Schlüsselkompetenz in der medizinischen Ausbildung – Ein besonderer Fokus auf Ultraschall

2.2.2.1 Einleitung und Überblick über selbstgesteuertes Lernen (SDL)

Neben den vielfältigen technischen und klinischen Einsatzmöglichkeiten kommt der Simulation heute vor allem im Kontext modernen, kompetenzorientierten Lernens eine zentrale Bedeutung zu. Ein wesentlicher Bestandteil dieses Ansatzes ist das selbstgesteuerte Lernen, das Lernende dazu befähigt, Verantwortung für ihren Lernprozess zu übernehmen und ihre praktischen Fähigkeiten gezielt zu vertiefen.

Selbstgesteuertes Lernen (self-directed learning, SDL) ist ein zentraler Bestandteil der medizinischen Ausbildung und gewinnt in einem sich ständig wandelnden Gesundheitswesen zunehmend an Bedeutung. SDL beschreibt einen Lernansatz, bei dem die Lernenden die Verantwortung für ihren eigenen Lernprozess übernehmen, ihre Lernbedürfnisse erkennen, Ziele formulieren, geeignete Ressourcen auswählen, Lernstrategien anwenden und die Ergebnisse ihres Lernens bewerten [23]. Ziel von SDL ist es, die Lernenden zu befähigen, kontinuierlich neues Wissen zu erwerben und ihre Fähigkeiten zu verbessern, um auf die Anforderungen der klinischen Praxis vorbereitet zu sein [24].

SDL wird als ein wichtiger Faktor für die Entwicklung von Kompetenzen in den Gesundheitsberufen betrachtet, da es die Fähigkeit zur kritischen Reflexion, Selbstregulation und Anpassung an komplexe klinische Situationen fördert [25]. Laut Ricotta et al. liegt die Herausforderung für die medizinische Ausbildung darin, SDL als integralen Bestandteil des Curriculums zu verankern und die Studierenden dabei zu unterstützen, effektive Strategien zur Selbststeuerung ihres Lernprozesses zu entwickeln. Dabei sollte SDL nicht nur als individuelles, sondern auch als kollaboratives Konzept betrachtet werden. Van Woezik et al. verweisen darauf, dass Gruppeninteraktionen und Teamarbeit wesentliche Einflussfaktoren auf die Selbststeuerung sind. Offene Kommunikation und emotionale Unterstützung innerhalb von Teams fördern die Fähigkeit der Lernenden, Verantwortung für ihren Lernprozess zu übernehmen und selbstständig Problemlösungen zu entwickeln [24, 26].

Eine systematische Übersichtsarbeit von Taylor et al. macht deutlich, dass SDL-Strategien in der medizinischen Ausbildung unterschiedlich umgesetzt werden. Die häufigsten Bewertungsmethoden umfassen intern entwickelte Umfragen zur Selbsteinschätzung, direkte Wissensbewertungen und Kompetenzprüfungen. Die Studienergebnisse weisen darauf hin, dass die Kombination mehrerer Bewertungsmethoden die Lernergebnisse und die Qualität der SDL-Programme verbessert [25].

Darüber hinaus hat die COVID-19-Pandemie die Bedeutung von SDL im Kontext digitaler Lernumgebungen verdeutlicht. Xu et al. stellten fest, dass SDL-Fähigkeiten während des Online-Studiums von einer stabilen technologischen Infrastruktur, der Unterstützung durch Lehrkräfte und einer motivierenden Lernumgebung abhängen [27].

SDL hat sich insbesondere in der klinischen Ausbildung als effektive Strategie erwiesen. Röcker et al. fanden heraus, dass Medizinstudierende im Rahmen von klinischen Praktika durch selbstgesteuertes Lernen ihre diagnostischen und praktischen Fähigkeiten signifikant verbessern konnten. Die Autoren empfehlen daher, SDL gezielt in die Struktur klinischer Ausbildungsprogramme zu integrieren, um die Lernmotivation und Eigenverantwortung der Studierenden zu stärken [28]. Eine Meta-Analyse von Aulakh et al. bestätigt die Überlegenheit von SDL gegenüber traditionellem, von Instruktoren geleitetem Lernen (Instructor-led Training; ITL). Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass SDL nicht nur die kognitive Leistung verbessert, sondern auch die Autonomie, Neugier und Selbstregulation der Lernenden fördert [29].

2.2.2.2 Selbstgesteuertes Lernen im Rahmen der Ultraschallausbildung

Der Einsatz selbstgesteuerten Lernens hat sich auch im Bereich der Ultraschallausbildung als erfolgreich erwiesen. Die Integration von Ultraschall in die medizinische Ausbildung stellt für viele Institutionen eine Herausforderung dar, da die traditionelle Vermittlung praktischer Fähigkeiten eine intensive Betreuung durch erfahrene Dozierende erfordert [30]. Studien zeigen jedoch, dass curriculare Konzepte des selbstgesteuerten Lernens in der Ultraschallausbildung eine effektive Alternative zur traditionellen Lehre darstellen können.

Signor et al. beschreiben die Entwicklung eines selbstgesteuerten Ultraschallcurriculums für die Innere Medizin, welches Online-Module und praktische Übungen mit tragbaren Ultraschallsonden kombiniert. Die Studierenden erzielten signifikante Fortschritte in der Bildakquisition und der klinischen Interpretation von Ultraschallbildern. Bemerkenswert ist, dass das Curriculum weniger Dozentenzeit in Anspruch nahm als herkömmliche, betreuungsintensive Programme [30].

Vergleichbare Ergebnisse wurden von Canty et al. berichtet, welche die Effektivität eines selbstgesteuerten E-Learning-Programms mit einem traditionellen, Dozenten geleiteten Modell untersuchten. Beide Gruppen erzielten signifikante Verbesserungen in ihren theoretischen und praktischen Fähigkeiten. Die Resultate lassen darauf schließen, dass SDL-gestützte Simulatorkurse eine ebenso effektive Alternative zur traditionellen Lehre mit menschlichen Modellen darstellen [31].

Besonders im Bereich des muskuloskelettalen Ultraschalls (MSK-US) hat sich SDL als nützlich erwiesen. Brown et al. belegen, dass die Integration von Ultraschall in den Anatomieunterricht die Fähigkeit der Studierenden zur Bildinterpretation, ihr Verständnis anatomischer Strukturen und ihr Vertrauen in die klinische Anwendung von Ultraschall verbesserte. Die Ergebnisse der Studie unterstreichen, dass SDL die Eigenverantwortung der Studierenden stärkt und zu einer höheren Motivation im praktischen Lernen führt [32].

Darüber hinaus hat sich die Verwendung von Simulationen als effektive Methode zur Unterstützung von SDL in der Ultraschallausbildung bewährt. Mackay et al. untersuchten die Effektivität eines selbstgesteuerten, simulationsbasierten Trainingsprogramms für Point-of-Care-Ultraschall (PoCUS). Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass selbstgesteuerte Simulationen die Bildakquisition und Interpretation verbesserten, jedoch eine Ergänzung durch Anleitung und Feedback von erfahrenen Dozenten erforderlich war, um ein höheres Kompetenzniveau zu erreichen [33]. Ähnliche Resultate wurden von Khoo et al. berichtet, welche die Effektivität eines Virtual-Reality-Trainings mit einem dozentengeführten Programm verglichen. Während das traditionelle Training unmittelbar zu besseren Ergebnissen führte, zeigte die VR-Gruppe nach einem Monat eine höhere Beibehaltung der Fähigkeiten [34].

Ein weiterer Ansatz zur Förderung von SDL im Bereich der Ultraschallausbildung ist die Tele-Education. Suzuki et al. verglichen die Effektivität von Tele-Unterricht mit konventionellem, von Ausbildern geleitetem Unterricht. Die Tele-Gruppe erreichte vergleichbare Ergebnisse bei der Bildakquisition und klinischen Interpretation, ohne eine höhere Arbeitsbelastung zu verursachen. Dies unterstreicht das Potenzial von Tele-Education als Ergänzung zu herkömmlichen Ausbildungsmodellen [35].

Auch der Einsatz von Selbstlern-Videos hat sich als vielversprechend erwiesen. Morales Castro et al. zeigten auf, dass Studierende, die fokussierte transthorakale Echokardiographie (TTE) durch Selbstlern-Videos erlernten, ähnliche Ergebnisse erzielten wie die Kontrollgruppe mit traditioneller Anleitung. Diese Resultate verdeutlichen, dass SDL-basierte Programme in Kombination mit modernen digitalen Lernmethoden eine effektive Strategie zur Förderung klinischer Kompetenzen darstellen [36].

2.2.2.3 Fazit: Selbstgesteuertes Lernen als Grundlage für die nachhaltige Verbesserung klinischer Kompetenzen im Bereich der Ultraschallausbildung

Selbstgesteuertes Lernen hat sich als wirksames Instrument zur Förderung klinischer und praktischer Kompetenzen in der medizinischen Ausbildung etabliert. Die Studienergebnisse machen deutlich, dass SDL nicht nur die kognitiven Leistungen und die Bildakquisition verbessert, sondern auch das kritische Denken, die Selbstreflexion und die

Anpassungsfähigkeit der Lernenden stärkt. Besonders im Bereich der Ultraschallausbildung bietet SDL eine flexible und effektive Alternative zu traditionellen Lehrmethoden. Durch die Kombination von E-Learning, Simulation, Tele-Education und Selbstlern-Videos lassen sich nachhaltige Lernfortschritte erzielen und die klinische Kompetenz langfristig sichern. Damit verdeutlicht das selbstgesteuerte Lernen als Bestandteil moderner Simulationstrainings, dass der Einsatz von Simulatoren nicht nur der technischen Übung dient, sondern ein zukunftsorientiertes Lernkonzept unterstützt, das Eigenverantwortung, Reflexion und nachhaltigen Kompetenzerwerb fördert.

2.3 Wirksamkeit des Simulationstrainings

Mit zunehmender Bedeutung des Simulationstraining für Aus- und Weiterbildung in der Medizin stellen sich die Fragen, ob diese Trainings wirksam sind und mit welcher Lern- und Lehrmethode diese durchgeführt werden müssen. Auf die erste Frage kann anhand der aktuellen Studienlage eine positive Antwort gegeben werden, da bereits 2011 Cook et. al. in einer Metaanalyse einen großen Effekt des Simulationstrainings auf Wissen, Können und Verhalten, sowie einen mittleren Effekt auf patientenbezogene Ereignisse (Komplikationen) beschrieb [37, 38]. Weitere wissenschaftliche Untersuchungen belegen dies ebenfalls [39, 40]. Was hingegen aufgrund der geringen Studienlage nicht abschließend beantwortet werden kann, ist die Frage, mit welcher Lern- und Lehrmethode das Simulationstraining effizient angewendet werden kann.

2.3.1 Grundlagen und Vorteile des Simulationstrainings in der Medizin

Die medizinische Ausbildung und Lehre unterliegen einem stetigen Wandel, bedingt durch die wachsende Fülle an medizinischen Informationen und dem kontinuierlichen Fortschritt der Forschung [41]. Gemeinsam mit dem technischen und ethischen Fortschreiten ist das simulationsbasierte Training inzwischen zu einem wichtigen Eckpfeiler der medizinischen Ausbildung geworden [42]. Sowohl die Patientensicherheit als auch das Verhindern von medizinischen Fehlern nimmt in der Medizin einen immer höheren Stellenwert ein. Ein Kapitel des Buches mit dem Titel „To Err Is Human“, welches auf die Fehler in der Medizin und die damit in Zusammenhang stehenden vermeidbaren Todesfälle eingeht, ist nur ein Beispiel dafür, dass die medizinische Ausbildung verbessert werden sollte, um Risiken zu minimieren [43]. Zur Risikoreduktion und Erhöhung der Patientensicherheit wurden bspw. die Dienstzeiten und Ruhetage angepasst, was jedoch die Aus- und Weiterbildungszeiten für Studierende und Assistenzärzte verkürzte. Das Sammeln von erforderlichen Erfahrungen für die Umsetzung relevanter Kompetenzen ist schwieriger geworden, weshalb sich das patientenunabhängige Simulationstraining als eine attraktive Lösung anbietet [4-7]. Neben der Reduktion des Patientenrisikos kann mithilfe dieser Trainingsform die Lücke zwischen Theorie und Praxis

geschlossen werden, weil das Erlernen der relevanten Kompetenzen durch Simulationstraining die reale klinische Praxis verbessert [44]. Einen weiteren wichtigen Punkt stellt die Teamarbeit dar, die ebenfalls über das simulationsbasierte Training vermittelt werden kann. Darunter fällt auch der Kompetenzzuwachs durch Feedback nach dem Training [45]. Eine Reihe weiterer Analysen beschäftigen sich mit der Wirksamkeit der Simulation zur Vermittlung von klinischen und wissenschaftlichen Kenntnissen, angewendeten Fertigkeiten und entsprechenden Lernerfolgen [39, 40, 46].

In einer Studie mit standardisierten, simulierten Patienten wurde eine signifikante Verbesserung der Kommunikation abgebildet. Dazu wurden onkologische Assistenzärzte über einen 4-tägigen Workshop hinsichtlich ihrer kommunikativen Fähigkeiten ausgebildet [47]. Kommunikation zählt zu den wichtigen Aspekten in der Medizin, da sie einerseits bei der Übermittlung schlechter Nachrichten und andererseits im täglichen Arbeitsablauf eine große Rolle spielt und sich somit auch positiv auf die Patientenversorgung auswirkt.

Die Simulation etabliert sich in den medizinischen Fakultäten, den Universitätskliniken und den angeschlossenen Lehrkrankenhäusern sowie zunehmend auch in der medizinischen Ausbildung. Die immer höher entwickelte Simulationstechnik bietet die patientenunabhängige Möglichkeit zur praktischen Aus- und Weiterbildung von Studierenden und Ärzten.

2.3.2 Limitationen des Simulationstrainings in der Medizin

Die Simulation ist ein wichtiges Lehrmittel in der medizinischen Ausbildung, das es ermöglicht, ärztliche Fähigkeiten in einer kontrollierten Umgebung zu üben. Die im vorherigen Abschnitt genannten Vorteile der Simulation sind allerdings auch mit Limitationen verbunden. Auf diese wird im folgenden Teil eingegangen.

Die Einführung von simulationsgestützten Schulungsprogrammen erfordert erhebliche finanzielle Mittel. Sowohl die Anschaffung als auch die Instandhaltung hochentwickelter Simulatoren und die Einrichtung besonderer Simulationszentren sind mit hohen Kosten verbunden. Gleichmaßen werden qualifizierte Lehrkräfte und personelle Kapazitäten benötigt, um die Effektivität spezieller Trainingsabläufe zu gewährleisten. Letztere stellen insbesondere für medizinische Einrichtungen mit beschränkten finanziellen Möglichkeiten eine besondere Herausforderung dar [18].

Obwohl die heutigen Simulationsanwendungen eine immer realistischere Simulation der anatomischen und pathophysiologischen Gegebenheiten erlauben, stellt derzeit die fast exakte Abbildung realer klinischer Situationen eine Schwierigkeit dar. Vor allem die emotionale Komponente des Arzt-Patienten-Kontakts sowie die in der Wirklichkeit auftretenden unerwarteten klinischen Probleme können nur unzureichend simuliert werden. Als Folge

können die im Training erlernten Fertigkeiten nicht ohne Einschränkung auf konkrete Patientenbehandlungen umgelegt werden [18].

Es kann durch Simulationstraining im klinischen Bereich zu erheblichen organisatorischen Schwierigkeiten kommen, wenn solche Trainings während des Regelbetriebs stattfinden. Das Abziehen von Personal für Schulungsmaßnahmen kann in stark frequentierten klinischen Abteilungen zu einer Reduktion der verfügbaren Arbeitskraft führen. Aber auch die In-situ-Simulationen, die im realen Alltagsumfeld der Klinik stattfinden, können durch zusätzlichen Lärm und Platzbedarf problematisch sein [48].

Trotz dieser aufgezählten Limitationen stellt das Simulationstraining eine unverzichtbare Komponente der medizinischen Ausbildung dar. Durch fortgesetzte Entwicklung und Anpassung der Trainingsformen können viele der genannten Nachteile minimiert werden. Dies ist unabdingbar, um eine praxisadäquate und effektive Ausbildung zu gewährleisten.

2.3.3 Simulationsbasiertes Training in der Kardiologie

Ein positiver Effekt durch simulationsbasiertes Training in der Kardiologie hinsichtlich der klinischen Praxis wird durch einige randomisiert kontrollierte Studien belegt. Dieser Fachbereich wird mit Blick auf die FATE-Sim Studie separat beschrieben.

Barusk et. al beschreiben in einer beobachtenden Kohortenstudie die signifikante Abnahme von Komplikationen bei der Platzierung eines zentralvenösen Katheters (ZVK) in der Studiengruppe, die ein Simulationslernprogramm absolvierte, gegenüber der Kontrollgruppe, die lediglich eine theoretische Aufklärung erhielt [49]. Eine weitere Metaanalyse hat ergeben, dass Wiederbelebensmaßnahmen zu höheren Erfolgsraten führen, sofern diese vorab im Simulationstraining geübt wurden [50]. Eine andere Studie zum Thema Thorakozentesetraining zeigte einen signifikanten Erfolg im Sinne abnehmender Komplikationsraten (Hämatothorax oder Pneumothorax) nach Durchlaufen eines Lernprogrammes am Simulator [51]. Weitere randomisiert kontrollierte Studien im Bereich der Kardiologie präsentierten wirksame Ergebnisse durch Simulationstraining. Es wurden verschiedene Ergebnisse erzielt, darunter: verbesserte Fähigkeiten in der Bilderfassung und Anatomie, verbesserte psychomotorische Fähigkeiten, verkürzte Eingriffszeiten, verbesserte Interpretationsfähigkeiten und verkürzte Trainingszeiten. Die angewandten Studienformate variieren von Studie zu Studie ein wenig, wobei am häufigsten die Simulation versus Vorlesungslehre verglichen wurde. Die Zahl der Studienteilnehmer lag zwischen 14 und 118 Personen [52-62].

2.4 Ultraschallsimulation im Allgemeinen

Der folgende Abschnitt befasst sich eingehend mit der simulationsbasierten Ausbildung in der Sonographie. Die Ultraschallsimulation verwendet Technologien, um eine virtuelle Trainingsumgebung zu schaffen und zeichnet sich durch ein breites Spektrum vielfältiger Aspekte auf unterschiedlichen Lernebenen aus. Sie bietet eine sichere, stressfreie und kontrollierte Trainingsatmosphäre zum Erlernen der Ultraschalltechnologie, Ultraschalldiagnostik und -interventionen [63-65].

Mehrere Einrichtungen und Universitätskliniken greifen inzwischen auf die Ausbildung mittels Ultraschallsimulation zurück, da sie auf mehreren Ebenen die grundlegenden, technischen, klinischen und praktischen Fähigkeiten, sowie das Selbstvertrauen der Anwender steigert, bevor sie am Patienten arbeiten [66]. Einige Studien haben die Wirksamkeit und vor allem den nachhaltigen, klinischen Effekt durch simulationsbasiertes Training (SBT) im Ultraschall belegt [67-73].

Es existieren mehrere Typen von Ultraschallsimulatoren (vgl. Abbildung 5). Darunter zählen echte Ultraschallgeräte mit Puppen, Apps für Computer, Tablets oder Smartphones, virtuelle Simulatoren, Augmented Reality und Tiermodelle. Die verschiedenen Varianten grenzen sich hinsichtlich der Benutzerfreundlichkeit und Realitätsnähe voneinander ab [64]. Die weit verbreiteten Hybrid-Virtual-Reality-Simulatoren stellen eine Kombination aus Puppe und computerbasierter Simulation dar. Die Sonde erfasst über ein Magnetfeld die Handbewegungen und erzeugt ein entsprechendes Bild auf dem Computer. Somit erhält der Anwender eine realistische Simulationsumgebung zum Üben seiner praktischen Fertigkeiten, der Interpretationsfähigkeit von Normalbefunden und Pathologien, zur Vertiefung grundlegender anatomischer Kenntnisse und zur Verbesserung der Kommunikationsfähigkeiten. Das naturgetreue Ultraschallgerät (mit diversen Schallköpfen verschiedener Frequenzen und verbundener medizinischer Puppe) fördert das räumliche Denken und Vorstellungsvermögen, denn mit jeder Schallkopfbewegung entsteht eine andere Schnittebene und somit werden unterschiedliche anatomische Strukturen sichtbar [74]. Das führt zu einer besseren Positionierung des Schallkopfes oder Verortung, also einem festen Platz in einem bestimmten Bezugssystem. Dabei werden auch die technischen Fähigkeiten gesteigert. Die Förderung der Integration einfacher (Normal-)Befunde und (patho-)physiologischer Zusammenhänge sowie eine erhöhte Motivation und Faszination der Anwender spielen eine bedeutende Rolle.

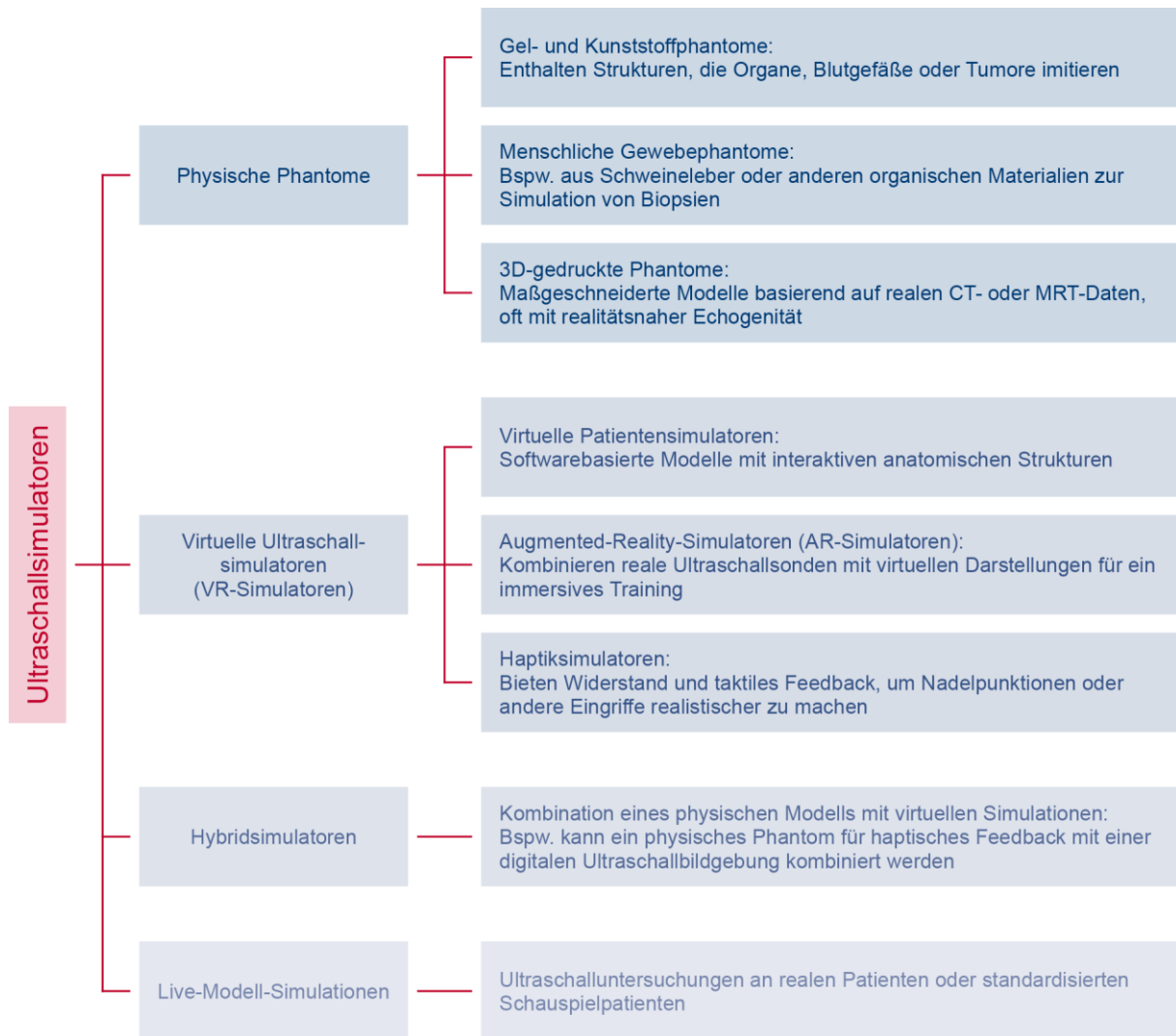


Abbildung 5: Überblick über die verschiedenen Ultraschallsimulatoren hinsichtlich technischer Aspekte

2.4.1 Vorteile der Anwendung von Ultraschallsimulation

Das altbekannte Sprichwort „see one, do one, teach one“, welches aus der traditionellen medizinischen Ausbildung stammt, wird inzwischen von „see one, practice many, do one“ abgelöst (vgl. Abbildung 6). Hier spielen die simulativen Elemente in der praktischen Aus- und Weiterbildung eine große Rolle und sind heute nicht mehr wegzudenken [75, 76]. Die klassische Ultraschallausbildung am menschlichen Probanden mit direkter Lehrzeit eines Dozierenden und einem speziellen Ultraschallgerät ist teuer und zeitaufwendig. Daneben stellt die Knappheit pathologischer Untersuchungen an menschlichen Modellen eine Grenze dar. Darüber hinaus ist es manchmal unangenehm für die Patienten, wiederholt untersucht zu werden, wenn diese eine Pathologie aufweisen [77]. Beispielsweise stellt auch die Diagnose einer fetalen Anomalie im Rahmen einer Ultraschalluntersuchung sowohl für die Patientin als auch für den Arzt eine belastende Situation dar [78]. Hierbei ist es nicht möglich und angemessen, wenn die Bildgebung von mehreren Ärzten zum „Üben“ wiederholt wird. Die Verwendung des Simulators bietet eine breite Palette von Pathologien, darunter auch seltene

Fälle. Das Auffinden der Pathologien bei menschlichen Modellen ist außer den bereits genannten Einschränkungen häufig zeitintensiv und kompliziert.

Neben dem Aspekt der Patientensicherheit bietet der Simulator auch für die Studierenden und Ärzte eine sichere Umgebung für den Erwerb von praktischen und theoretischen Fähigkeiten [4, 79]. Gefährdete Anwender oder besondere Hygienevorschriften – gerade mit Blick auf die COVID-19-Pandemie – profitieren von einer komfortablen, sicheren und zeitlich unbegrenzten Atmosphäre.

Weitere Vorteile zeichnen sich durch das taktile Feedback, die verbesserte Hand-Auge-Koordination, die Durchführung von Messungen und das Training der visuellen Perzeption am Ultraschallsimulator aus [1, 80].

Die Reproduzierbarkeit wiederholter Bilder gewährleistet eine standardisierte Bewertungsmöglichkeit der Ultraschallkompetenz und zeichnet somit den Ultraschallsimulator als ein ideales Mittel für die Ultraschallausbildung und deren Bewertung aus [5, 51, 81, 82]. Die Summe der Argumente begründet demnach dessen Einsatz.

Vorteile	Herausforderungen
· Trainingsumgebung unabhängig von Patienten, klinischen Abläufen und Verfügbarkeit · Ermöglicht individuelles, wiederholtes Üben im eigenen Lerntempo · Keine Belastung oder keine Gefährdung von realen Patienten · Standardisierte Lernbedingungen und unmittelbares Feedback durch integrierte Bewertungssysteme · Effektive Nutzung von Lernzeit durch gezieltes Training bestimmter Untersuchungsschritte · Förderung der Hand-Auge-Koordination und motorischen Fähigkeiten · Möglichkeit zur Kompetenzüberprüfung und objektiven Leistungsbewertung	· Begrenzte Übertragbarkeit der erlernten Fertigkeiten auf komplexe klinische Situationen · Erfordert ein gewisses Maß an Selbstdisziplin und Motivation der Lernenden · Fehlende emotionale und kommunikative Aspekte im Vergleich zu realen Untersuchungssituationen · Teilweise begrenzte Realitätsnähe, insbesondere bei haptischen Rückmeldungen · Hoher technischer und finanzieller Aufwand für Anschaffung und Wartung der Systeme · Notwendigkeit zusätzlicher Schulung der Lehrenden im Umgang mit der Technik · Integration in bestehende Curricula häufig mit organisatorischen Hürden verbunden

Abbildung 6: Überblick über die Vorteile und Herausforderungen bei der Einrichtung eines simulationsbasierten Trainingskurses [1]

2.4.2 Limitationen der Ultraschallsimulation

Als Ergänzung zum Kapitel „Limitationen des Simulationstrainings“ wird hier die Ultraschallsimulation im Speziellen kritisch betrachtet. Die zuvor genannten Nachteile des Simulationstrainings werden nicht alle erneut aufgegriffen.

Die Anschaffung und Wartung von Ultraschallsimulatoren sowie die Einrichtung spezieller Simulationszentren sind mit erheblichen finanziellen Aufwendungen verbunden. Zudem erfordert die Durchführung von Simulationstrainings qualifiziertes Personal und Zeitressourcen, was insbesondere in Einrichtungen mit begrenzten Mitteln eine Herausforderung darstellt [83].

Obwohl Virtual-Reality- und haptische Simulationen beständig weiterverfeinert bzw. verbessert werden, zeigen einige Systeme noch technische Schwächen. Zu diesen Schwächen gehören z. B. eingeschränkte Bildauflösungen, das überschaubare haptische Feedback oder die verringerte sensorische Rückmeldung. Die didaktische Wirksamkeit einzelner Simulationssysteme kann durch diese Determinanten gehemmt sowie das Lernziel eingeschränkt werden [37]. Einige Ultraschallsimulatoren weisen noch technische Einschränkungen auf, die ihre Zuverlässigkeit und den didaktischen Nutzen beeinträchtigen können. Beispielsweise können bestimmte Ultraschallartefakte oder Gewebeeigenschaften nicht realistisch genug dargestellt werden, was die Lernerfahrung einschränken kann.

Ein wichtiger Kritikpunkt stellt die eingeschränkte Übertragbarkeit der erlernten Fähigkeiten durch simulationsbasiertes Training in die Realität dar. Studien belegen, dass nicht alle erworbenen Fertigkeiten übergangslos in die Praxis transferiert werden können. Dies liegt beispielsweise daran, dass in der Simulationssituation die unvorhersehbaren Stressoren und situativen Variablen fehlen [46, 84, 85].

Die simulationsbasierte Lehre kann eingeschränkt sein, wenn grundlegende Fähigkeiten und Kenntnisse des Übenden mangelhaft oder nicht ausreichend sind. Dadurch kann das Angebot nicht adäquat genutzt werden und der eigentlich zu erzielende Erfolg kann ausbleiben.

Auch wenn simulationsbasiertes Training eine Reihe von Problemen verursacht, offeriert diese Form des Trainings doch einen erheblichen Nutzen für die medizinische Ausbildung. Die Fortschritte der Technologie in den letzten Jahren, sowie die Entwicklung der didaktischen Konzepte minimieren die Limitationen. Die Forschung sollte in Zukunft den Ausbau, bzw. die Verbesserung der Simulatoren und auch die Frage der besseren Übertragbarkeit der erworbenen Fähigkeiten in den Klinikalltag priorisieren.

2.5 Ultraschallsimulation in der medizinischen Aus- und Weiterbildung

Eine Umfrage zur Implementierung des Ultraschalltrainings in die medizinische Ausbildung von Studierenden ergab, dass die Sonographie trotz ihrer wachsenden Bedeutung nur schrittweise in den Lehrplan integriert wird. Nur ein geringer Anteil der befragten europäischen Universitäten hat bislang ein entsprechendes Programm in das vorklinische Curriculum aufgenommen [86]. Dies trifft gleichermaßen auf die fachärztliche Weiterbildung in der Radiologie zu. Strukturierte, simulationsbasierte Ultraschalltrainings sind bislang nur in wenigen Weiterbildungsprogrammen fest verankert.

2.5.1 Ultraschallsimulation in verschiedenen Fachbereichen: Einsatzmöglichkeiten und Anwendungsgebiete

Radiologie	· Training der Bildgebung von Abdomen, Thorax, Gefäßen und Weichteilen · Simulation von ultraschallgeführten Interventionen wie Biopsien, Drainagen und Punktionen · Verbesserung der Hand-Auge-Koordination
Anästhesiologie und Intensivmedizin	· Schulung der ultraschallgestützten Gefäßpunktion (z. B. zentralvenöser/arterieller Zugang) · Sonographische Beurteilung von Herzfunktion und Lunge (z. B. FAST-Protokoll) · Regionalanästhesie-Training für Nervenblockaden
Notfallmedizin und Rettungsdienst	· Training von Notfallultraschallprotokollen wie eFAST (Extended Focused Assessment with Sonography for Trauma) · Beurteilung von Pneumothorax, Perikarderguss und intraabdominellen Blutungen · Schulung ultraschallgestützter kardiopulmonaler Reanimation (z. B. Point-of-care Ultraschall)
Kardiologie	· Training transösophagealer und transthorakaler Echokardiographie (TTE und TEE) · Beurteilung von Herzfunktion, Klappenerkrankungen und myokardialer Perfusion · Simulation von Notfall-Echokardiographie
Gynäkologie und Geburtshilfe	· Training der fetalen Sonographie zur Beurteilung der Schwangerschaftsentwicklung · Simulation von Doppler-Untersuchungen der Plazenta und fetalen Gefäße · Ultraschallgeführte invasive Eingriffe wie Amniozentese
Urologie und Nephrologie	· Training für ultraschallgestützte Nierenbiopsien und Harnwegsdiagnostik · Simulation von transrektalen Ultraschalluntersuchungen der Prostata · Punktion von Nierenzysten oder nephrostomische Katheterplatzierung
Gastroenterologie	· Schulung endoskopischer Ultraschalluntersuchung (EUS) zur Beurteilung von Pankreas, Magen und Darm · Training von ultraschallgesteuerter Leberbiopsie und Aszitespunktion
Chirurgie	· Doppler-Ultraschallsimulatoren zur Diagnose von Stenosen, Thrombosen oder Aneurysmen · Training präoperativer Gefäßplanung für Bypass-Operationen oder Gefäßinterventionen · Ultraschallgestützte Gefäßpunktionen
	· Simulatoren in der Neurochirurgie für intraoperative Neurosonographie · Robotergestützte und minimalinvasive Chirurgie mit ultraschallgeführter Laparoskopie
Orthopädie und Sportmedizin	· Untersuchung muskuloskelettaler Strukturen zur Diagnose von Sehnen-, Bänder- und Gelenkverletzungen · Training für ultraschallgeführte Injektionen und Punktionen (z. B. intraartikuläre Injektionen)
Pädiatrie und Neonatologie	· Training für Schädelultraschall bei Neugeborenen (z. B. Beurteilung von Hirnblutungen) · Lungen- und Herzultraschall bei Frühgeborenen · POCUS-Anwendungen für schnelle Diagnostik bei pädiatrischen Notfällen
Allgemeinmedizin	· Schulung in Point-of-care-Ultraschall für die schnelle Diagnostik (z. B. Abdominal- oder Gefäßultraschall) · Ultraschallgestützte Gelenkinjektionen oder Punktionen in der Primärversorgung
HNO-Heilkunde	· Training von Schilddrüsen- und Halsweichteilsonographie sowie Simulation von Feinnadelaspirationen zur Diagnostik von Knoten · Schluckultraschall-, Endoskopie- und Speicheldrüsenultraschall-Simulatoren · Punktionstrainer für Schilddrüsenbiopsien, Tracheotomie- und Koniotomiesimulatoren

Abbildung 7: Übersicht über die Anwendungsbereiche der Ultraschallsimulation mit Beispielen

2.5.2 Aktuelle Studienlage zur Ultraschallsimulation in der medizinischen Aus- und Weiterbildung

Ultraschallsimulatoren tragen zu einer Verbesserung qualitativer und quantitativer Diagnosetechniken/-kenntnisse bei. Diese basieren auf der Verknüpfung von Grundverständnissen der Anatomie, Physik und Mechanik des Ultraschallgerätes, sowie der Kompetenz der Bildoptimierung und Interpretation [53, 78, 87-89]. Die Summe der bisher aufgeführten Argumente für die Ultraschallsimulation begründet ihren sinnvollen Einsatz in der Aus- und Weiterbildung in der Medizin. Es bleibt jedoch die Frage offen, wie diese Ausbildungsmethode sinnvoll integriert werden kann. Der folgende Abschnitt widmet sich einer detaillierten Analyse der aktuellen Studienlage zur Ultraschallsimulation in der medizinischen Aus- und Weiterbildung. Dabei wird insbesondere der Bezug zum Hauptteil dieser Promotionsarbeit sowie zur zuvor formulierten Fragestellung berücksichtigt.

Ein systematischer Review von Østergaard et al. untersuchte die Möglichkeiten einer simulationsgestützten Ausbildung im abdominellen Ultraschall und deren Effektivität. Die 17 analysierten Studien zeigten eine hohe Variabilität hinsichtlich der verwendeten Simulatoren, der Teilnehmergruppen und der bewerteten Lernziele. Es wurde festgestellt, dass keine der Studien den höchsten Evidenzgrad erreichte; 14 Studien wiesen sogar den niedrigsten Evidenzgrad auf. Zudem war das Verzerrungsrisiko in 11 Studien hoch, in vier niedrig und in zwei unklar. Keine der Studien verwendete validierte Testmethoden oder untersuchte die Übertragbarkeit der am Simulator erworbenen Fähigkeiten auf die klinische Praxis. Die Autoren schlussfolgerten, dass die vorhandenen Studien hinsichtlich der Auswahl der Simulatoren, des Studiendesigns, der Teilnehmer und der Zielparameter heterogen sind und die Evidenzlage für die Wirksamkeit simulationsbasierten Trainings in der abdominellen Sonographie unzureichend ist. Dennoch zeigte sich, dass Simulationstraining mindestens ebenso effektiv oder vorteilhafter war als andere Lehrmethoden oder fehlende Anleitung. In diesem Zusammenhang weist auch die WFUMB in einem aktuellen State-of-the-Art-Paper auf die zunehmende Bedeutung der Ultraschallsimulation hin und beschreibt die technischen Anforderungen sowie Perspektiven für eine curriculare Integration [12]. Die Autoren betonten die Notwendigkeit weiterer Forschung in Form von randomisierten kontrollierten Studien mit validierten Testverfahren und verblindeten Bewertern, um die Effektivität des simulationsbasierten Trainings besser zu bewerten [84].

Bentley et. al. untersuchten 2015 in einer prospektiven, verblindeten, kontrollierten Ausbildungsstudie Medizinstudierende im vierten Ausbildungsjahr über einen Zeitraum von acht Monaten, die einmal pro Monat einen Ultraschallkurs erhielten [90]. Die Studierenden wurden in zwei Gruppen randomisiert, wobei die Kontrollgruppe (n= 54) traditionell am Menschen und die Studiengruppe (n= 39) am Ultraschallsimulator ausgebildet wurde. Ziel der

Studie war es, die Leistung der beiden Gruppen zu vergleichen. Geschult wurden die Studierenden rund um das Thema FAST (Focused Assessment with Sonography in Trauma). Vor Beginn der Ausbildung absolvierten die Studierenden einen Test mit 20 Fragen, welcher die Ultraschallindikationen in der Notaufnahme und die Bildinterpretation prüfte. Außerdem wurde eine Umfrage zum Basiswissen, vorheriger Ultraschallerfahrung und zur Selbsteinschätzung (Likert-Skala) durchgeführt. Als Grundlage erhielten beide Gruppen die gleichen Vorlesungen zur Einführung und zum Einsatz des Ultraschalls, sowie zu den FAST-Grundlagen. Es folgten praktische Einheiten, welche die Studierenden unbeaufsichtigt in ihren zugeordneten Gruppen am Menschen oder am Ultraschallsimulator (SonoMan Ultrasound Diagnostic Trainer) abhandelten. Das praktische Training ist ein wichtiges Element in der Ultraschallausbildung [91]. Nach Kursende wurde die praktische Prüfung am menschlichen Modell anhand des OSCE-Bewertungsschemas (Objective Structured Clinical Examination – eine objektiv strukturierte, klinische Bewertungsmethode) absolviert. Der schriftliche Test, welcher bereits zu Beginn stattfand (Prätest), wurde nach Kursende wiederholt (Posttest). Es zeigten sich keine signifikanten Unterschiede zwischen Prä- und Posttest und auch kein signifikanter Unterschied zwischen den OSCE-Scores des FAST-Schemas am menschlichen Modell. Alle Studierenden präsentierten eine Zunahme des Ultraschallwissens, der Selbsteinschätzung und des Selbstvertrauens. Auch in Deutschland wird die curriculare Integration simulationsbasierter Lehrmethoden diskutiert. Lucius zeigte, dass studentische Tutorenausbildungen ein effektiver Ansatz sind, um Ultraschallsimulation in die Lehre einzubinden und nachhaltig zu etablieren [92]. Die traditionelle Ultraschallausbildung mit einem speziellen Ultraschallgerät am Menschen ist zeitaufwändig und teuer. Die Ausbildung am Simulator rationalisiert die Ausbildung, da keine menschlichen Modelle und keine zusätzlichen Ultraschallgeräte für diese Zwecke zur Verfügung stehen müssen. Außerdem stehen am Simulator viele Pathologien zur Verfügung, die in der Klinik nur selten zu finden sind [90].

Knudson et. al. führten eine prospektive Kohortenstudie an zwei universitären Traumazentren (USA) durch und untersuchten 74 chirurgische Assistenzärzte im ersten oder zweiten Ausbildungsjahr, die bisher keine Ultraschallerfahrung hatten. Es wurden zwei Gruppen gebildet, wovon eine am menschlichen Modell und eine am Ultraschallsimulator trainierte. Mit dem Ziel, dass beide Gruppen zu ähnlichen Ergebnissen kommen, wurden standardisierte Prä- und Posttests zur Bewertung entworfen. Neben der guten Interpretationsfähigkeit von Ultraschallbildern ist es auch wichtig, dass qualitativ hochwertige Bilder gewonnen werden können. Dies setzt gute Grundkenntnisse der Physik, Mechanik des Gerätes, Anatomie und eine gute Hand-Auge-Koordination voraus. Der Prätest zielte neben der Physik auf grundlegende Ultraschallkenntnisse ab. Im theoretischen Teil erhielten alle Teilnehmer die gleichen Vorlesungen zum Thema Ultraschallphysik und -technologie und anschließend über

die Anwendung von Ultraschall bei Traumata (v.a. das FAST-Schema). Es folgte ein praktischer Teil, wobei jeder Teilnehmer etwa eine Stunde Übungszeit hatte. Anschließend wurde der Posttest (eine Wiederholung des Prätests) durchgeführt. Die Teilnehmer zeigten alle eine signifikante Verbesserung der Ultraschallphysik und der Fähigkeit zur Interpretation der Bilder. Es wurde kein signifikanter Unterschied zwischen der Studien- und Kontrollgruppe festgestellt, sodass sich die Ausbildung am Simulator als sinnvolle und bequeme Alternative zur herkömmlichen Methode am Menschen als geeignet erweist. Die Anzahl an menschlichen Modellen kann durch Simulatortraining minimiert werden und außerdem wird am Simulator immer das gleiche (pathologische) Bild erzeugt [77]. Es ist häufig der Fall, dass sich bspw. ein Perikarderguss am Menschen zu Beginn eines Ultraschallkurses aufgelöst hat oder die Morison-Pouch bei kontrahierter Niere unter einer Peritoneal-Dialyse kaum darstellbar ist. Daher ermöglicht die Ausbildung am Simulator ein sicheres und konstantes Training von Pathologien.

Eine in 2022 veröffentlichte Studie aus den USA, Florida, untersuchte über mehrere Jahre radiologische Assistenzärzte, die im ersten Weiterbildungsjahr ein einwöchiges Ultraschallsimulationstraining durchliefen [93]. Am ersten Tag wurden Grundlagen der Ultraschallbildgebung vermittelt und erste praktische Übungen durchgeführt. Die beiden folgenden Tage wurden zum Training ultraschallgestützter Eingriffe wie z.B. Biopsien und Gefäßzugänge genutzt. Am vierten Tag gab es Kommunikationsworkshops mit Videoanalysen von simulierten Patientengesprächen. Der letzte Tag beinhaltete fortgeschrittene interventionelle Verfahren, darunter Gefäßzugänge und Drainageanlagen. Es wurden sowohl High-Fidelity-Simulatoren (Vimedix, CAE Healthcare) zur realistischen Darstellung anatomischer Strukturen als auch Phantome für invasive Eingriffe, sowie gamifizierte Lernmodule zur Festigung des Wissens eingesetzt. Eine dreijährige Evaluation zeigte eine deutliche Verbesserung der Ultraschallkompetenz der Assistenzärzte. Besonders das Vertrauen in die eigene Fähigkeit zur Durchführung diagnostischer und interventioneller Untersuchungen hat zugenommen. Mit dem Hintergrund, dass Ultraschalluntersuchungen stark benutzerabhängig sind, anatomisches Wissen, Koordinationsfähigkeiten und die Fähigkeit zur Bildoptimierung erfordern, sowie die Tatsache, dass herkömmliche Ausbildungsmodelle aufgrund neuer Regularien und Sicherheitsrichtlinien weniger praktische Übungsmöglichkeiten bieten, gewinnt das Simulationstraining immer mehr an Bedeutung [94]. Die Ergebnisse der Studie aus Florida lassen sich auch auf andere Fachbereiche übertragen, bzw. können auf diese angepasst werden. Das Simulationstraining ist flexibel und kann bspw. auch an pandemiebedingte Einschränkungen angepasst werden. Die Radiologie-Assistenzärzte profitierten von einer praxisnahen und sicheren Lernumgebung, welche durch interdisziplinäre Zusammenarbeit und moderne Lehrmethoden eine nachhaltige Verbesserung

der diagnostischen und interventionellen Fähigkeiten erzielte und auch in Zukunft erzielen wird [93].

In einer prospektiven, kontrollierten Studie untersuchten Freundt et al. die Effektivität eines strukturierten, simulationsbasierten Ultraschalltrainings für das Erlernen des erweiterten Zweittrimesterscreenings. Die Studie umfasste 11 Medizinstudierende mit minimaler Erfahrung im geburtshilflichen Ultraschall (<10 Stunden), die über sechs Wochen hinweg insgesamt 12 Stunden individuelles Training an einem High-End-Simulator mit einem sich zufällig bewegendem virtuellen Fetus absolvierten. Der Lernerfolg wurde alle zwei Wochen durch standardisierte Tests am Simulator evaluiert, bei denen die Teilnehmenden 23 Standardebenen gemäß den ISUOG-Richtlinien möglichst schnell und korrekt darstellen sollten. Die Ergebnisse der Studierenden wurden mit zwei Referenzgruppen verglichen: Gruppe A bestand aus zehn Assistenz- und Fachärzten der Frauenheilkunde und Geburtshilfe und Gruppe B aus zehn DEGUM-Stufe-II-zertifizierten Pränataldiagnostikern. Die Studie zeigte, dass die Studierenden ihre Fähigkeiten signifikant verbesserten und nach acht Stunden Training das Leistungsniveau der Referenzgruppe A erreichten. Nach Abschluss des Trainings waren sie sogar signifikant schneller als diese Gruppe. Die Expertengruppe blieb jedoch in ihrer Gesamtleistung signifikant schneller. Diese Ergebnisse unterstreichen die hohe Effektivität vom simulationsbasierten Ultraschalltraining beim Erlernen komplexer geburtshilflicher Ultraschalluntersuchungen und unterstützen die Integration solcher Trainingsmethoden in medizinische Ausbildungscurricula [73].

Janzing untersuchte 2024 in einer prospektiven Analyse das simulationsbasierte Ultraschalltraining in der fetalen Echokardiographie unter ähnlichen Voraussetzungen wie Freundt et. al. die Implementierung des simulationsbasierten Trainingsprogrammes für die geburtshilfliche Sonographie und erzielte ähnliche Ergebnisse, sodass auch hier effektive Verbesserungen theoretischer und praktischer Fähigkeiten beobachtet wurden [95].

In einer systematischen Übersichtsarbeit befassten sich Rasmussen et. al. mit der Wirksamkeit simulationsbasierter Trainingsmethoden für perkutane, ultraschallgestützte Eingriffe im Bauch- und Brustbereich. Dabei wurde nicht nur untersucht, inwieweit diese Trainingsform die technischen Fähigkeiten verbessert, sondern auch, ob die erlernten Kompetenzen tatsächlich in den klinischen Alltag übertragbar sind. Um belastbare Ergebnisse zu erhalten, wurde die Untersuchung nach den PRISMA-Richtlinien (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) durchgeführt. In einer systematischen Recherche wurden Studien aus den Datenbanken PubMed, Embase, Web of Science und der Cochrane Library analysiert, die sich mit der Kompetenzentwicklung nach einem simulationsbasierten Training befassten. Zwei unabhängige Forscher überprüften und bewerteten die identifizierten Studien hinsichtlich ihrer Relevanz und Qualität. Die Einschätzung des Verzerrungsrisikos

erfolgte mithilfe des Cochrane Risk-of-Bias-Tools (RoB) für randomisierte Studien sowie des ROBINS-I-Tools für nicht-randomisierte Studien. Die wissenschaftliche Evidenz wurde schließlich unter Anwendung der GRADE-Methodik eingestuft. Insgesamt konnten 42 Studien in die Untersuchung aufgenommen werden. Darunter befanden sich sechs randomisierte kontrollierte Studien, drei nicht-randomisierte kontrollierte Studien und 33 nicht-randomisierte, nicht-kontrollierte Studien. Ein Großteil der Arbeiten (26 Studien) konzentrierte sich auf ultraschallgestützte Eingriffe im Bauchraum, während 13 Studien thorakale Verfahren behandelten und drei sowohl abdominale als auch thorakale Eingriffe untersuchten. Die Analyse der Ergebnisse zeigte, dass simulationsbasiertes Training gegenüber anderen Ausbildungsformen deutliche Vorteile bietet und sich insgesamt positiv auf die Kompetenzentwicklung auswirkt. Unabhängig von der Methode erwies sich das Training in jedem Fall als vorteilhafter als der vollständige Verzicht darauf. Allerdings gab es nur zwei Studien, die explizit die Übertragbarkeit der erlernten Fähigkeiten in den klinischen Alltag untersuchten [96, 97].

Alle eingeschlossenen Studien wiesen ein hohes oder kritisches Verzerrungsrisiko auf. Daher wurde die Evidenzqualität für die Auswirkungen von simulationsbasiertem Training auf die Verfahrenskompetenz als gering und für die Übertragung in den klinischen Kontext als sehr gering eingestuft. Die Autoren betonten die Notwendigkeit methodisch hochwertigerer Studien, die randomisiert und einfach verblindet sind, validierte Bewertungsinstrumente verwenden, und verschiedene Ausbildungsstrategien vergleichen. Ein zentrales Ziel künftiger Forschung sollte zudem die detaillierte Untersuchung der Übertragbarkeit der im Training erworbenen Fähigkeiten in reale klinische Szenarien sein. Nur so lässt sich langfristig feststellen, ob simulationsbasiertes Training tatsächlich die Qualität und Sicherheit ultraschallgestützter Eingriffe verbessert [85].

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass simulationsbasiertes Ultraschalltraining, insbesondere basierend auf den Erkenntnissen des zuletzt beschriebenen Reviews, als eine effektive Methode zur Förderung praktischer Fertigkeiten in der medizinischen Ausbildung anerkannt ist. Dennoch besteht weiterhin ein Bedarf an methodisch hochwertigen Studien, um die wissenschaftliche Evidenz zu festigen und optimale Trainingsstrategien gezielt weiterzuentwickeln. Diese Einschätzung deckt sich sowohl mit internationalen Empfehlungen (WFUMB) als auch mit nationalen Erfahrungen (Lucius), die den Stellenwert simulationsbasierten Ultraschalltrainings betonen, zugleich aber die Notwendigkeit weiterer Forschung unterstreichen [12, 92].

2.5.3 Bedarf an strukturierten und evidenzbasierten Trainingsprogrammen

Nayahangan et al. untersuchten in ihrem Artikel den aktuellen Stand des simulationsbasierten Ultraschalltrainings in der medizinischen Ausbildung und betonen dessen zunehmende

Bedeutung für die klinische Lehre. Sie zeigten auf, dass der Einsatz von Ultraschallsimulationen in verschiedenen medizinischen Disziplinen zur Reduzierung vermeidbarer Fehler beiträgt und die Patientensicherheit fördert. Trotz dieser Vorteile erfolgt die Integration der Sonographie in die medizinische Ausbildung auf prä- und postgradualer Ebene nur langsam. Die Autoren plädieren für die Entwicklung standardisierter, evidenzbasierter Trainingsprogramme, die systematisch implementiert und evaluiert werden sollten. Darüber hinaus wird auf die Notwendigkeit hingewiesen, bestehende Barrieren für die Implementierung von simulationsbasiertem Ultraschalltraining zu identifizieren und abzubauen. Ziel müsse es sein, ein harmonisiertes Ausbildungsprogramm zu etablieren, das den Anforderungen der klinischen Praxis gerecht wird und angehenden Mediziner*innen die notwendigen diagnostischen und interventionellen Fertigkeiten vermittelt.

Die Autoren schlussfolgerten, dass trotz der zunehmenden Akzeptanz von Ultraschallsimulationen weiterhin Forschungsbedarf besteht, insbesondere hinsichtlich der langfristigen Wirksamkeit dieser Trainingsmethode in der klinischen Anwendung. Zudem empfehlen sie, den Zugang zu simulationsbasierten Ultraschalltrainingsprogrammen zu verbessern, um deren breite Implementierung zu gewährleisten [98].

3 Material und Methoden

Das nachfolgende Kapitel beschreibt die verschiedenen Phasen der Dissertation – von der Planung über das zugrunde liegende Studiendesign und die Durchführung bis hin zur Fertigstellung. Die einzelnen Schritte werden anhand eines Stufenmodells (vgl. Abbildung 8) dargestellt. Zudem wird auf die verwendeten Lehrmedien, die entwickelten Prüfungsformate und die erstellten Evaluationsbögen eingegangen.

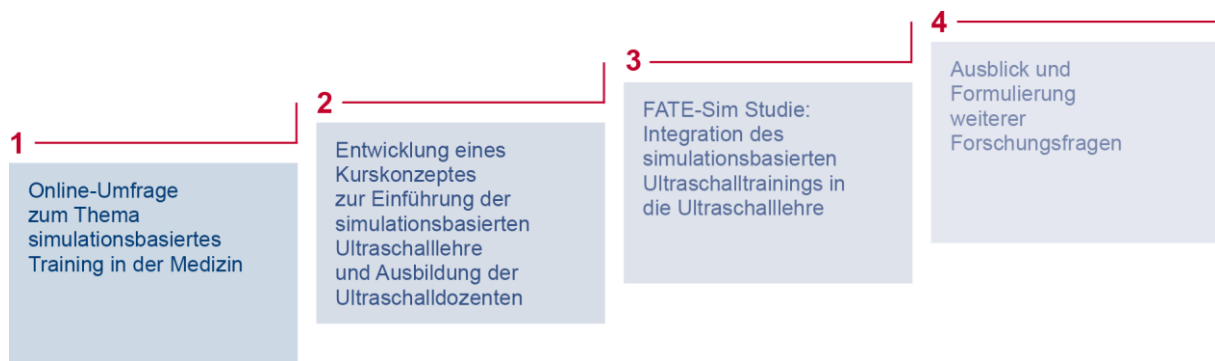


Abbildung 8: Stufenmodell

Die Umsetzung der einzelnen Stufen erfolgte schrittweise und in enger Zusammenarbeit mit verschiedenen Projektpartnern, die den Prozess maßgeblich unterstützten. Eine schematische Übersicht des Stufenmodells findet sich in Abbildung 9.

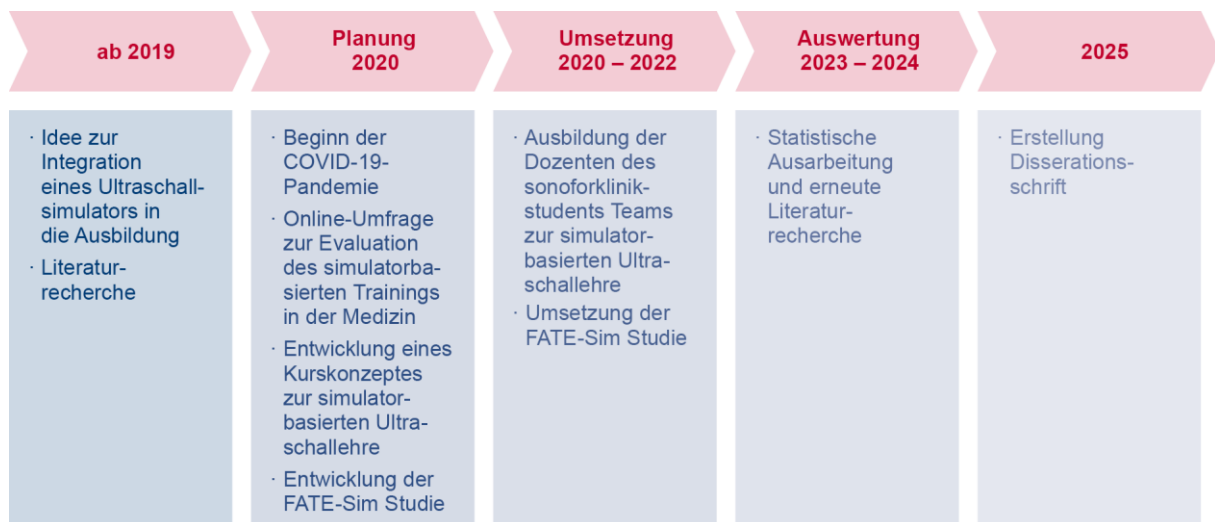


Abbildung 9: Chronologischer Ablauf der Dissertationsdurchführung und des Studienablaufs

3.1 Beschreibung der ersten Stufe des Stufenmodells – Online-Umfrage

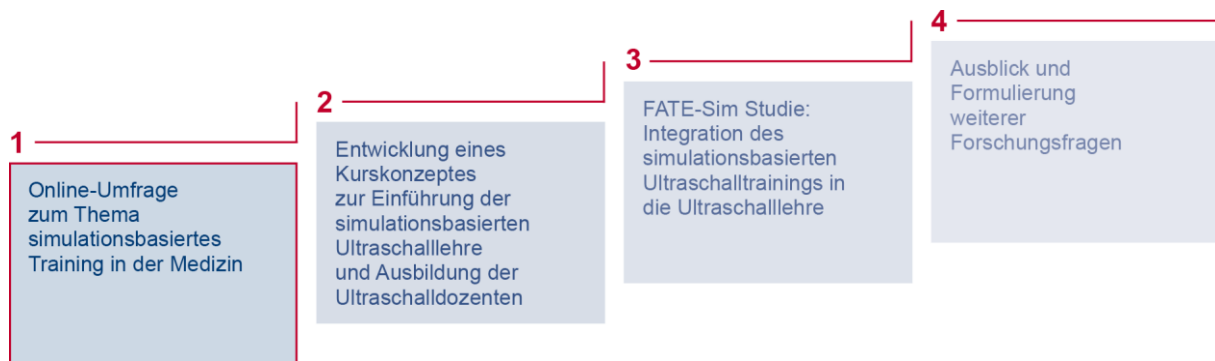


Abbildung 10: Stufenmodell

3.1.1 Entwicklung und Hintergrund der Umfrage

Im Zuge der Planung der Anschaffung eines Vimedix-Ultraschallsimulators an der RFLK (Rudolf-Frey-Lernklinik) der Universitätsmedizin Mainz wurde eine wissenschaftliche Studie zur Integration des Simulators in die medizinische Lehre geplant. Ziel war es, die Akzeptanz und den aktuellen Einsatz von simulationsbasiertem Training in der medizinischen Ausbildung zu untersuchen.

Kern der Studie war eine Umfrage, die darauf abzielte, das gegenwärtige Nutzungsverhalten von Simulatoren in verschiedenen medizinischen Bereichen zu erfassen. Dabei wurde insbesondere erhoben, in welchem Umfang die Teilnehmenden bereits Erfahrungen mit simulationsbasiertem Training hatten und ob sie zuvor bereits mit einem Ultraschallsimulator in Kontakt gekommen waren. Zusätzlich wurde die allgemeine Haltung gegenüber simulationsbasierten Lehrmethoden erfasst, um potenzielle Bedarfe und Optimierungsmöglichkeiten für die zukünftige Implementierung des Simulators in das medizinische Curriculum abzuleiten.

3.1.2 Zielformulierung

Das Ziel dieser Studie war es, die Betrachtungsweise der Teilnehmenden gegenüber simulationsbasiertem Training sowie dessen aktuellen Einsatz in der medizinischen Ausbildung zu untersuchen. Dabei sollten sowohl die bisherigen Erfahrungen als auch die wahrgenommenen Vorteile und Herausforderungen dieser Lehrmethode erfasst werden.

Ein besonderer Fokus lag auf der Ultraschallsimulation, um deren Potenzial für die medizinische Lehre zu bewerten und konkrete Empfehlungen für eine effektive Integration in das Ausbildungscurriculum abzuleiten. Die Umfrage zielte darauf ab, Unterschiede in der Akzeptanz und Nutzung zwischen verschiedenen Ausbildungsstufen – Medizinstudierenden im dritten Studienjahr, Studierenden im Praktischen Jahr sowie approbierten Ärztinnen und Ärzten – zu identifizieren. Zudem wurde die Effektivität von Ultraschallsimulatoren hinsichtlich

der praktischen Fertigkeitsentwicklung bewertet und mögliche Hürden bei der Implementierung dieser Technologie analysiert.

3.1.3 Studienbeschreibung und Teilnehmerrekrutierung

Die prospektive Studie wurde als Querschnittsbefragung durchgeführt, wobei die Teilnehmenden aus universitären Ultraschallkursen und zertifizierten DEGUM-Kursen rekrutiert wurden. Insgesamt nahmen 343 Personen teil, darunter 154 Medizinstudierende im dritten Studienjahr, 97 Studierende im Praktischen Jahr sowie 92 Ärzte verschiedener Fachrichtungen.

Die Studierenden im dritten Studienjahr wurden während eines Echokardiographie-Workshops im Semesterverlauf befragt. Weiterführende Informationen dazu sind den Kapiteln 3.3 ff. zu entnehmen. Das Kurskonzept und die Lernziele orientierten sich an früheren Studien, ergänzt um explizites Simulator-Training [99, 100].

Die Studierenden im Praktischen Jahr absolvierten zweitägige Workshops mit 90-minütigen Ultraschalleinheiten. Diese Schulungen wiederholten Untersuchungsmethoden für Lunge, Aorta, Gallenblase und Nieren und basierten auf einer Vorstudie zur langfristigen Festigung von Fertigkeiten. Auch hier wurde gezielt das Simulator-Training integriert [100].

Die Ärzte besuchten dreitägige DEGUM-zertifizierte Grundkurse zur abdominalen Sonographie (DEGUM-Curriculum Abdomen). Der Schwerpunkt lag auf der sonographischen Untersuchung des Gefäßsystems, der Leber, der Gallenblase und -wege, der Nieren sowie der Beckenorgane. Auch hier war das Simulator Training fester Bestandteil des Kurses. Alle Teilnehmenden nutzten im Rahmen der praktischen Ausbildung den Ultraschallsimulator CAE Vimedix (CAE Healthcare, Montreal, Kanada).

Nach jedem Kurs füllten die Teilnehmenden einen digitalen Fragebogen aus, der ihre Einstellungen und bisherigen Erfahrungen mit simulationsbasiertem Training sowie ihre spezifische Bewertung des Ultraschallsimulators erfasste. Die Evaluation umfasste verschiedene Kriterien wie Bildschärfe, Handhabung und Design sowie die wahrgenommene Effektivität des Simulators im Hinblick auf die klinische Einsatzbereitschaft, die sichere Durchführung von Untersuchungen und das bessere Verständnis pathologischer Befunde. Die Details des Fragebogens sind im nächsten Kapitel dargestellt.

3.1.3.1 Einschlusskriterien

Die Einschlusskriterien für die Studie umfassten die vollständige Teilnahme am jeweiligen Kurs sowie die vollständige Beantwortung des Fragebogens. Nur Teilnehmende, die den Kurs in vollem Umfang absolvierten, wurden in die Analyse einbezogen. Zusätzlich war es erforderlich, dass sämtliche Fragen des Evaluationsbogens vollständig beantwortet wurden, um eine konsistente und umfassende Datengrundlage für die Auswertung sicherzustellen

3.1.4 Fragebogen

Der in dieser Studie eingesetzte Fragebogen wurde entwickelt, um die Einstellungen, Erfahrungen und Bedürfnisse im Zusammenhang mit simulationsbasiertem Training, insbesondere in der Ultraschallausbildung, umfangreich zu analysieren; eine Übersicht über die einzelnen Items findet sich in Tabelle 1. Der Fragebogen war in mehrere Abschnitte gegliedert: Zunächst wurden demografische Angaben wie Alter, Geschlecht, Ausbildungsstand und Fachrichtung erhoben. Ein weiterer Abschnitt diente der Erfassung früherer Erfahrungen mit Simulatoren. Darüber hinaus wurden die wahrgenommenen Vorteile des simulationsbasierten Trainings untersucht. Abschließend wurden potenzielle Herausforderungen sowie spezifische Anforderungen an die Benutzerfreundlichkeit und das Design des Ultraschallsimulators Vimedix erhoben.

3.1.4.1 Aufbau des Fragebogens

Der Fragebogen wurde in deutscher Sprache verfasst, um die Verständlichkeit und Zugänglichkeit für alle Teilnehmenden sicherzustellen. Insgesamt enthielt er 97 Items, die in verschiedene Fragetypen gegliedert waren.

Dichotome Fragen wurden eingesetzt, um binäre Antworten zu erfassen, wie beispielsweise „Hatten Sie schon einmal Berührungspunkte mit Ultraschallsimulation? Ja/Nein“.

Zur Bewertung der Einstellungen und Wahrnehmungen der Teilnehmenden wurde eine 7-Punkte-Likert-Skala verwendet. Diese Skala reichte von 1 („stimme überhaupt nicht zu“) bis 7 („stimme vollständig zu“). Die Wahl einer 7-Punkte-Skala diente dazu, differenziertere Antworten zu ermöglichen und feinere Nuancen in den Meinungen der Befragten abzubilden [101]. Darüber hinaus bietet diese Skala einen präzisen Mittelwert, der es den Teilnehmenden erlaubt, eine neutrale Haltung anzugeben. Eine größere Anzahl von Antwortoptionen erhöht zudem die Varianz der erhobenen Daten und verbessert die statistische Auswertbarkeit [102].

3.1.4.2 Beschreibung der Frageninhalte

Die durch den Fragebogen erhobenen Daten wurden in drei Hauptaspekte unterteilt: Erfahrungen mit simulationsbasiertem Training, wahrgenommene Vorteile und Herausforderungen sowie Ultraschallsimulator-Training. Die nachfolgenden Abschnitte beschreiben die spezifischen Fragen, die zur Erfassung dieser Elemente verwendet wurden, sowie die jeweiligen Bewertungsskalen.

Im ersten Abschnitt wurden die Erfahrungen mit simulationsbasiertem Training mithilfe dichotomer Fragen erfasst, um die bisherige Nutzung von Simulatoren zu bestimmen. Ein Beispiel hierfür ist die Frage: „Haben Sie bereits einen Ultraschallsimulator verwendet? Ja/Nein“. Der Schwerpunkt lag darauf, ob die Teilnehmenden bereits simulationsbasiertes Training genutzt hatten und mit welchen Arten von Simulatoren sie Erfahrungen gemacht

hatten. Zudem wurden Fragen zur Rolle der Lehrenden und zum empfundenen Lernerfolg gestellt, um ein umfassendes Bild der bisherigen Erfahrungen mit dieser Trainingsmethode zu erhalten.

Im zweiten Abschnitt wurden die wahrgenommenen Vorteile und Herausforderungen des simulationsbasierten Trainings untersucht. Dichotome Fragen dienten dazu, die spezifischen Gründe für oder gegen den Einsatz von Simulatoren an den jeweiligen Institutionen der Teilnehmenden zu identifizieren. So wurde beispielsweise gefragt: „Welche Gründe sprechen Ihrer Meinung nach für den Einsatz von Simulatoren an Ihrer Institution?“ mit Antwortmöglichkeiten wie bspw. „Verbesserung klinisch-praktischer Fertigkeiten“. Zusätzlich wurden Likert-Skalen-Fragen verwendet, um die Wahrnehmung der Teilnehmenden hinsichtlich der Vorteile und Herausforderungen zu erfassen. Ein Beispiel hierfür lautet: „Inwieweit glauben Sie, dass simulationsbasiertes Training zu einer besseren Übertragung von Theorie in die Praxis führt?“ Die Bewertung erfolgte auf einer Skala von 1 („stimme überhaupt nicht zu“) bis 7 („stimme vollständig zu“).

Der dritte Abschnitt umfasste die Erhebung zum Ultraschallsimulator-Training. Hier wurden sowohl die bisherigen Erfahrungen mit Ultraschallsimulatoren als auch deren Bewertung hinsichtlich ihrer Effektivität erfasst. Zur Frage des Kontakts mit Ultraschallsimulatoren und des Bedarfs an weiterem Training wurden die Teilnehmenden gebeten, anzugeben, ob sie bereits Erfahrungen mit Ultraschallsimulatoren gesammelt hatten und in welchen klinischen Fachgebieten diese eingesetzt wurden (z. B. Kardiologie, Abdomen, Notfallmedizin). Ziel war es, den spezifischen Bedarf an Training mit Ultraschallsimulatoren in verschiedenen medizinischen Fachrichtungen zu ermitteln.

Darüber hinaus wurde die Effektivität von Ultraschallsimulatoren mithilfe von Likert-Skalen-Fragen bewertet. Diese Fragen deckten Aspekte wie Bildqualität, Bedienungsfreundlichkeit, Realitätsnähe und Nützlichkeit für die klinische Ausbildung ab. Ein Beispiel hierfür lautet: „Wie realistisch empfanden Sie den Ultraschallsimulator hinsichtlich der Bilddarstellung?“ (1 = „überhaupt nicht realistisch“ bis 7 = „sehr realistisch“).

Dieser kombinierte Ansatz ermöglichte eine umfassende Analyse sowohl des Bedarfs an Ultraschallsimulatoren als auch ihrer Effektivität. Dadurch konnten wichtige Erkenntnisse zur Rolle des Ultraschalltrainings im Kontext der simulator-basierten Ausbildung gewonnen werden.

3.1.4.3 Übersicht über den Fragebogen

Tabelle 1: Übersicht über den Fragebogen der Online-Umfrage. Beispielfragen des verwendeten Fragebogens sind in Anhang A dargestellt.

Beschreibung und Einsatzbereiche	Testformat	Testinhalt
Evaluation		
Online-Umfrage für: DEGUM-zertifizierte Sonographiekurse Studierende im dritten Studienjahr Dozenten des sonoforklinik-students-Projekts Studierende im praktischen Jahr	<u>Fragentyp:</u> Multiple-Choice-Fragen (Bsp.: In welchem Bereich hatten Sie schon einmal Berührungspunkte mit simulationsbasiertem Training? Fünf verschiedene Antwortmöglichkeiten) Skalierte Fragen mit siebenstufiger Likert-Skala (1 = „stimme überhaupt nicht zu“ bis 7 = „stimme vollständig zu“) Dichotome Fragen: z.B. Hatten Sie schon einmal Kontakt mit einem Ultraschallsimulator? Freitextfragen <u>Testart:</u> Online-Fragebogen <u>Testdauer:</u> 30-45 min <u>Bewertung:</u> Erhebung von persönlichen Angaben und Evaluationsdaten	<u>Themenkomplex 1:</u> Persönliche Daten (Alter, Geschlecht, Ausbildungsstand und Fachrichtung) <u>Themenkomplex 2:</u> Erfahrungen mit simulationsbasiertem Training (bisherige Berührungspunkte) <u>Themenkomplex 3:</u> Simulation in der Ausbildung (Integration des simulationsbasierten Trainings in der Ausbildung, Einsatz und Vermittlung inhaltlicher Themen, Zustimmungs- und Bewertungsfragen, Gestaltung der Lehrmethode) <u>Themenkomplex 4:</u> Simulationszentrum in der eigenen Einrichtung (Nutzung, zeitlicher Umfang, Prüfungen und Begründungen für und gegen Simulationszentren) <u>Themenkomplex 5:</u> Ultraschallsimulation (bisheriger Kontakt zur Ultraschallsimulation, Zustimmungsaufgaben und Wünsche) <u>Themenkomplex 5a:</u> Ultraschallsimulation Vimedix 3.0 (Bewertung des CAE Healthcare Simulators bzgl. Technik, Übertragbarkeit und mögliche Erweiterungen)

3.1.5 Validität und Zuverlässigkeit des Fragebogens

Die Validität des Fragebogens wurde durch die Einhaltung etablierter Leitlinien bei der Gestaltung sichergestellt [103, 104]. Dabei wurde besonderes Augenmerk auf eine benutzerfreundliche Struktur und klar formulierte Fragen gelegt, um sicherzustellen, dass alle relevanten Aspekte – wie Einstellungen, Erfahrungen und Bedürfnisse – adäquat erfasst wurden. Präzise Anweisungen unterstützten zudem die Konsistenz der Antworten und minimierten Missverständnisse.

Zur Gewährleistung einer sicheren und validen Datenverwaltung wurde der Fragebogen mit der digitalen Umfragesoftware „SoSci“ (Softwareversion 3.5.05; SoSci Survey GmbH, München, Deutschland) administriert. Diese Methode ermöglichte eine automatische Datensicherung und einen direkten Transfer der Antworten in eine Datenbank. Dadurch wurden potenzielle Transkriptionsfehler vermieden und die Möglichkeit einer nachträglichen

Datenveränderung durch die Teilnehmenden minimiert. Diese Funktionen trugen maßgeblich zur Sicherstellung der Zuverlässigkeit und Validität des gesamten Datenerhebungsprozesses bei.

Die interne Konsistenz des Fragebogens wurde durch die Berechnung von Cronbachs Alpha für die verwendeten Skalen überprüft. Die berechneten Werte lagen in dieser Studie zwischen 0,8 und 0,91, was auf eine gute interne Konsistenz hinweist [32].

3.1.6 Dateneingabe und -auswertung

Die Datenerhebung erfolgte zu drei zentralen Aspekten, die anhand der Fragebogenergebnisse unterteilt wurden:

1. Erfahrungen mit simulationsbasiertem Training
2. Wahrgenommene Vorteile und Herausforderungen
3. Simulator-basiertes Ultraschalltraining

Die digitale Umfragesoftware „SoSci“ (Version 3.5.05; SoSci Survey GmbH, München) generierte automatisiert Excel-Tabellen, welche alle erhobenen Daten enthielten. Diese wurden manuell überprüft und für die Auswertung aufbereitet. Die statistische Analyse erfolgte mithilfe von RStudio und R (Version 4.0.3) durch einen erfahrenen Statistiker. Dieser mehrstufige Prozess gewährleistete eine präzise und verlässliche Auswertung der Daten.

Es wurden deskriptive und explorative statistische Analysen durchgeführt. Die Normalverteilung von Intervallskalen wurde mit dem Shapiro-Wilk-Test geprüft. Für normalverteilte Skalen wurde der Welch-t-Test für zwei Stichproben verwendet, während bei nicht normalverteilten Skalen der nichtparametrische Wilcoxon-Mann-Whitney-Test zum Einsatz kam. Zur Analyse der Unterschiede innerhalb der verschiedenen Kursmodelle wurden Post-hoc-Tests durchgeführt. Die Auswertung der Unterschiede erfolgte mithilfe einer einfaktoriellen ANOVA (Analysis of Variance / Varianzanalyse) und paarweisen t-Tests, wobei Korrekturen für Mehrfachtests gemäß Bonferroni vorgenommen wurden. p-Werte unter 0,05 wurden als statistisch signifikant betrachtet.

3.2 Beschreibung der zweiten Stufe des Stufenmodells – Entwicklung eines Kurskonzeptes zur simulationsbasierten Ultraschalllehre und Ausbildung der Ultraschalldozenten

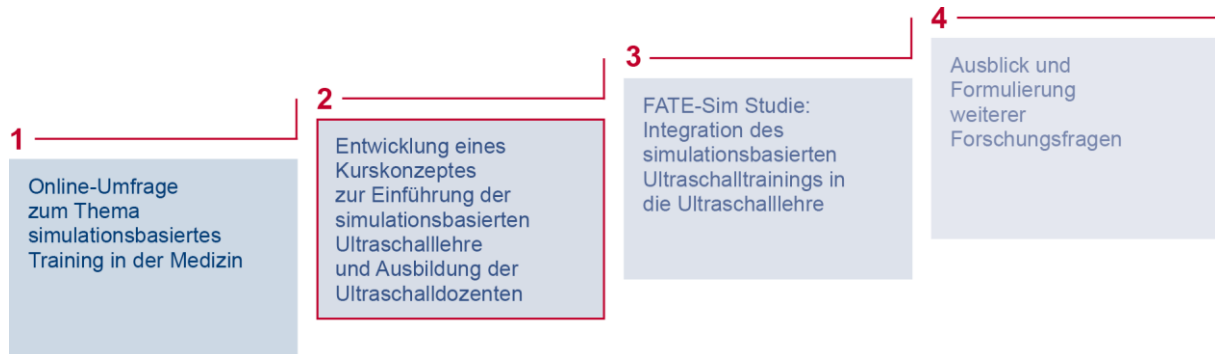


Abbildung 11: Stufenmodell

In der zweiten Stufe des Stufenmodells wurde ein Kurskonzept zur simulationsbasierten Ultraschalllehre entwickelt, welches eine standardisierte Ausbildung für alle Teilnehmenden am Ultraschallsimulator gewährleisten sollte. Die zentrale Fragestellung lautete: Wie kann eine vergleichbare und qualitativ hochwertige Ausbildung für alle am Ultraschallsimulator sichergestellt werden?

Das Konzept zielte darauf ab, einheitliche Lehrmethoden und Lernziele zu definieren, die sowohl den Studierenden als auch den Dozenten eine strukturierte und konsistente Ausbildung ermöglichen. Darüber hinaus wurde ein besonderes Augenmerk auf die Schulung der Ultraschalldozenten gelegt, um sicherzustellen, dass diese in der Lage sind, die simulierte Ausbildung kompetent und praxisnah zu vermitteln.

3.2.1 Studienentwicklung/ -hintergrund

Ausgehend von der Rudolf-Frey Lernklinik (RFLK), die zur Universitätsmedizin Mainz zählt, wird seit 2017 das Projekt sonoforklinik-students zur Unterstützung der Ultraschallausbildung für Medizinstudierende gefördert. Dieses Projekt basiert auf einem Peer-to-Peer-Format, bei dem Studierende anderen Studierenden auf Augenhöhe Wissen vermitteln. Diese Lehrmethode hat den Vorteil, dass Lerninhalte oft in einer verständlicheren, weniger formalen Weise präsentiert werden, wodurch Hemmschwellen abgebaut und das Lernerlebnis insgesamt verbessert werden. Das Konzept deckt sowohl die theoretischen als auch die praktischen Grundlagen der Ultraschalluntersuchung ab. Neben der curricularen Lehre umfasst es extracurriculare Lernangebote sowie kontinuierliche Evaluationen, die die Qualität und Effektivität des Programms sicherstellen [11].

Ab dem Jahr 2019 wurde die Integration von Ultraschallsimulatoren in die Ausbildung vorbereitet. Um den Einsatz dieser Technologie optimal zu gestalten, wurde eine Studie geplant, welche die Effektivität und Akzeptanz des simulationsbasierten Trainings im Vergleich zur bisherigen Lehre untersuchen sollte.

Im Rahmen einer von Horn et. al. durchgeführten Umfrage zeigte sich, dass ein großer Teil der Studierenden einen verstärkten Einsatz digitaler Lehrmedien in der Ultraschallausbildung wünschte. Diese Rückmeldung verdeutlicht den Bedarf nach innovativen, interaktiven Lernformaten, die das traditionelle Lehrkonzept sinnvoll ergänzen können [105].

Die Umfrageergebnisse aus der ersten Stufe des Stufenmodells und die zunehmende Bedeutung simulationsbasierten Trainings legten die Grundlage für die Entwicklung eines neuen Kurskonzeptes zur Einführung der simulationsbasierten Ultraschallausbildung. Dieses Konzept soll nicht nur den Einsatz moderner Technologie ermöglichen, sondern auch den spezifischen Lernbedürfnissen der Studierenden gerecht werden.

Die Ethikkommission Rheinland-Pfalz erteilte die Zustimmung zur Durchführung der Studien im Rahmen des sonoforklinik-students-Projekts unter Leitung der Rudolf-Frey-Lernklinik.

Die Kurskonzepte wurden im Verlauf an die pandemiebedingten Einschränkungen der COVID-19-Pandemie angepasst, um den Studierenden trotz der Herausforderungen weiterhin eine umfassende und sichere Ultraschallausbildung zu gewährleisten.



Abbildung 12: Chronologische Darstellung des Studiendesigns einschließlich des Entwicklungs-, Rekrutierungs- und Studienablaufs sowie der Zeitpunkte der Datenerhebung (T1 und T2). (A) Entwicklungsprozess des Trainings- und Evaluationsmaterials; (B) Rekrutierungsprozess; (C) Studienablauf und Messzeitpunkte mit Baseline-Erhebung (T1), Einführung in die Simulatorgrundfunktionen, selbstgesteuerter Trainingsphase sowie abschließender subjektiver Evaluation und Wissenstest (T2).

3.2.2 Entwicklung eines Kurskonzeptes zur Einführung der simulationsbasierten Ultraschalllehre

Zur Entwicklung eines umfassenden Kurskonzeptes für die Einführung der simulationsbasierten Ultraschalllehre wurden zunächst mehrere Tage beim niedergelassenen Vertrieb des Ultraschallsimulators Vimedix 3.0 (CAE Healthcare, Montreal, Kanada) in Mainz-Hechtsheim verbracht, um Ideen zu sammeln und ein innovatives Lehrkonzept zu entwerfen. Das Ziel bestand darin, sowohl die Aus- als auch die Fortbildung am Simulator optimal zu gestalten und dabei die Lernziele der universitären Ultraschallausbildung zu berücksichtigen.

Ein wesentlicher Bestandteil des Konzeptes war die Erstellung eines umfassenden Arbeitsheftes sowie eines Benutzerhandbuchs, das die selbstständige Ausbildung am Simulator unterstützen sollte. Um die Inhalte detailliert und zielgerichtet zu gestalten, wurden beim Hersteller verschiedene Materialien angefordert, darunter eine Bedienungsanleitung (in englischer Sprache), eine vollständige Auflistung der vorprogrammierten Übungen und Pathologien sowie technische Informationen zur Gerätebedienung.

Da zu Beginn der Konzeptentwicklung an der Universitätsmedizin Mainz noch kein Ultraschallsimulator zur Verfügung stand, wurde der Aufbau des Benutzerhandbuchs und Arbeitsheftes durch intensives praktisches Training direkt beim Hersteller vorbereitet. Während dieser Trainingsphasen wurden unter anderem die Funktionen und technischen Möglichkeiten des Simulators evaluiert und dokumentiert. Zudem wurden Aufnahmen einzelner Schnittbilder und Pathologien angefertigt, die später aufbereitet und in das Buch integriert wurden.

Um die Bedienungsfreundlichkeit weiter zu verbessern, wurde die englische Bedienungsanleitung des Simulators ins Deutsche übersetzt. Auf diese Weise sollte sichergestellt werden, dass alle Nutzer des Simulators – unabhängig von ihrem sprachlichen Hintergrund – Zugang zu klaren und verständlichen Anleitungen zur Gerätebedienung haben.

Mit diesen Maßnahmen wurde eine solide Grundlage für die Einführung des simulationsbasierten Ultraschalltrainings geschaffen, die eine strukturierte, praxisnahe und selbstständige Ausbildung am Simulator gewährleistet.

3.2.2.1 Benutzerhandbuch

Für die Nutzung des Ultraschallsimulators wurde ein Benutzerhandbuch erstellt, das auf der englischen Ausgabe des Herstellers basiert. Das Handbuch bietet eine übersichtliche Darstellung der wichtigsten Einstellungs- und Bedienfunktionen und nutzt dabei klar verständliche Symbole zur Orientierung. Es enthält detaillierte Anleitungen zur Bedienung des Simulators, eine Übersicht über die verfügbaren Übungen und Pathologien sowie praktische Hinweise für eine effiziente Nutzung im Ausbildungsalltag. Ziel ist es, den Anwendern eine schnelle Einarbeitung und einen optimalen Lernerfolg zu ermöglichen.

3.2.2.2 Arbeitsheft

Zur Unterstützung des Lernprozesses wurde ein Arbeitsheft in tabellarischer Form entwickelt, das den Lernenden eine strukturierte und interaktive Begleitung während des Trainings am Simulator bietet. Das Arbeitsheft beinhaltet Beschriftungen und Bilder direkt vom Simulator sowie ergänzende Mensch-Ultraschallbilder, die Pathologien und anatomische Strukturen verdeutlichen.

Um das selbstständige Lernen zu fördern, wurden Frage- und Aufgabestellungen in das Heft integriert, die auf die verschiedenen Übungen und Simulationen abgestimmt sind. Darüber hinaus wurden Notizmöglichkeiten geschaffen, damit die Teilnehmenden persönliche Anmerkungen, Beobachtungen und Lernfortschritte dokumentieren können.

Ein detaillierter Aufbau des Arbeitsheftes und dessen inhaltliche Struktur wird im nächsten Abschnitt beschrieben.

3.2.2.3 Das Simulatorhandbuch: Struktur und Inhalte des Selbstlernprogramms für die simulationsbasierte Ultraschalllehre

Das strukturierte Selbstlernprogramm für die Ultraschallausbildung wurde in zwei wesentliche Bestandteile untergliedert: ein Benutzerhandbuch und ein Arbeitsheft für das praktische Training mit dem Ultraschallsimulator. Diese beiden Dokumente wurden miteinander kombiniert, um eine umfassende und systematische Unterstützung bei der selbstständigen Ausbildung zu gewährleisten. Beispielseiten sind in Abbildung 13 dargestellt.

Das Benutzerhandbuch dient als zentrale Informationsquelle zur Nutzung des Ultraschallsimulators und wurde speziell entwickelt, um eine schnelle Orientierung sowie eine vertiefte Nutzung der Funktionen zu ermöglichen. Zu Beginn enthält das Handbuch eine Einleitung, die den Simulator als Trainingsgerät zur Verbesserung der Ultraschallausbildung vorstellt. Zusätzlich bietet eine übersichtliche Kurzanleitung schnellen Zugriff auf die wichtigsten Bedienfunktionen.

Ein wesentlicher Schwerpunkt liegt auf der detaillierten Erklärung der Inbetriebnahme des Simulators, gefolgt von einer umfassenden Darstellung der Benutzeroberfläche und aller relevanten Bedienelemente. Diese umfassen unter anderem Funktionen wie die *Augmented Reality Anzeige*, die *Ultraschall-Anzeige* sowie die wichtigsten Symbole wie *Probe*, *Preset*, *Layout*, *Visibility*, *M Mode*, *Doppler* und *Zoom*. Diese detaillierte Beschreibung ermöglicht den Nutzenden eine effiziente Nutzung aller Simulatorfunktionen. Darüber hinaus werden alle verfügbaren Tastaturkurzbefehle und Steuerungsmöglichkeiten über die Maus erläutert, um die Bedienung noch einfacher und intuitiver zu gestalten.

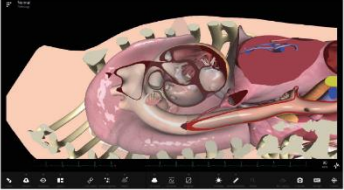
A Benutzerhandbuch Vimedix A Benutzerhandbuch Vimedix A.1 Einleitung und Inhalt des Handbuchs Der Vimedix-Ultraschallsimulator 3.0 bietet medizinischen Fachkräften mit dynamischer Echtzeit-Bildgebung und einer speziell entwickelten Übungspuppe eine unvergleichliche Schulungsumgebung für das Scannen der Brust-, Bauch- und Beckenmuskulatur bei einfachen bis komplexen Fällen. Die Lernenden können eine realistische Ultraschallbeurteilung der kardialen, abdominalen und pelvinen Strukturen durchführen, wobei sie die Hand-Augen-Koordination und die Handhabung der Sonde üben und ihre Fähigkeiten zur Pathologie- und Fehlererkennung verbessern. Wichtig: Der Vimedix-Ultraschallsimulator ist ein Trainingsgerät. Der Simulator ist nicht dazu bestimmt, den Zustand eines lebenden Menschen zu diagnostizieren oder eine lebensbedrohliche Situation zu erkennen. Der Vimedix Ultraschallsimulator gehört zu einer Reihe von didaktischen Hilfsmitteln, die zur Verbesserung der Ultraschall-Ausbildung eingesetzt werden können. Die Kurzanleitung wurde erstellt, um einen schnellen Zugriff auf Informationen zur Verwendung des Vimedix-Simulators zu ermöglichen. Bitte lesen und beachten Sie unbedingt die Vorsichtshinweise und Warnungen auf den Seiten vor dem Inhaltsverzeichnis. Dies dient sowohl der Sicherheit der Benutzer als auch dem Schutz des Simulators. Der Abschnitt „Tastaturkurzbefehle und Maussteuerung“ beschreibt die verschiedenen Tastaturkurzbefehle für die Vimedix Software und die Bedienung der Maussteuerung. A.2 Starten des Simulators Sobald das Vimedix System vollständig eingerichtet ist, ist es einsatzbereit. Fahren Sie mit den folgenden Schritten fort, um den Simulator zu starten. Schritte zum Starten des Simulators: 1. Einschalten von Laptop und Polhemus 2. Starten der Vimedix Software 3. Ggf. Aktualisieren der Software 4. Akzeptieren der Lizenzvereinbarung 5. Kalibrieren des Ultraschallkopfes Schritt 1: Einschalten von Laptop und Polhemus Stellen Sie den ON/OFF-Schalter am Polhemus auf die Position ON. Betätigen / Drücken Sie die Netztaaste am Vimedix-Laptop, um ihn einzuschalten.  6	A Benutzerhandbuch Vimedix Schritt 5: Kalibrierung des Ultraschallkopfes Wenn das System geladen und die Anzeige konfiguriert ist, legen Sie die Sonde auf die Übungspuppe. Der Bildschirm „Sondenkalibrierung“ wird angezeigt.  So kalibrieren Sie den Ultraschallkopf: 1. Vergewissern Sie sich, dass der Ultraschallkopf korrekt auf dem Bauch der Übungspuppe positioniert ist, wobei das sensorische Ende zum Kopf der Übungspuppe zeigt. Bei TTE- und FAST-Ultraschallköpfen legen Sie den Ultraschallkopf auf den Bauch der Übungspuppe. Bei TEE- und Endovaginalsonden legen Sie die Spitze des Ultraschallkopfes auf das Brustbein der Übungspuppe. 2. Drücken Sie eine beliebige Taste auf der Tastatur, um den Ultraschallkopf zu kalibrieren. Geräteerklärung / Benutzerhandbuch Dieser Teil macht Sie mit dem Simulationstrainer Vimedix 3.0 vertraut. Hier werden die Benutzeroberfläche und die verfügbaren Funktionen erläutert. Überblick über die Benutzeroberfläche Die Benutzeroberfläche (Simulationsbildschirm) des Vimedix Simulators besteht aus der „Erweiterten Realitäts-Anzeige“ (Augmented Reality (AR)), der Ultraschall-Anzeige (US) und der Haupt-Symbolleiste, die den Zugriff auf alle während einer Simulation verfügbaren Funktionen ermöglicht. Standardmäßig zeigt die Benutzeroberfläche eine Live-US-Ansicht mit einem Split-View-Layout an, das zu gleichen Teilen zwischen AR- und US-Anzeigen aufgeteilt ist. Eine reine Live-Simulationsansicht kann eingestellt werden. Im unteren Teil des Bildschirms, direkt unter dem angezeigten Bild, werden die EKG-Kurve und die Herzfrequenz angezeigt. Diese werden standardmäßig angezeigt und können durch Klicken auf das EKG-Kurvensymbol ganz rechts ein- und ausgeschaltet werden. In der oberen linken Ecke der Benutzeroberfläche befindet sich die Schaltfläche „Menü“ (Menu), die bei Auswahl die Menüseite öffnet.  Die Benutzeroberfläche des Vimedix Simulators. 7
A Benutzerhandbuch Vimedix Erweiterte Realitäts-Anzeige (Augmented Reality-Anzeige (AR-Anzeige)) Die Augmented Reality-Anzeige ist eine interaktive, animierte anatomische 3D-Darstellung der Organe und Artefakte, die sich im gesamten Bereich befinden. Strukturen und Artefakte können zu Lernzwecken mithilfe der Sichtbarkeitsfunktion hinzugefügt oder aus der Ansicht entfernt werden. Außerdem kann die AR-Ansicht verwendet werden, um den Lernenden bei der Identifizierung der anatomischen Strukturen mit Hilfe der Funktion Anatomiebeschriftung zu helfen. Jede dieser Funktionen wird später in diesem Handbuch ausführlicher beschrieben.  Die Augmented Reality-Anzeige (AR) des Vimedix Simulators Ultraschall-Anzeige (US-Anzeige) Das Ultraschallbild zeigt je nach Auswahl, die vom Ultraschallkopf erfassten anatomischen Strukturen oder vorgegebene Ansichten. Auf dem Bildschirm sind die US-Bildparameter vollständig manipulierbar, einschließlich einer Reihe von Ansichtsoptionen in 2D und 3D, Bildschärfe, Zoom usw., um eine umfassende Übungsumgebung zu bieten. Die Funktionen der US-Anzeige werden später in dieser Anleitung ausführlicher beschrieben.  Die Ultraschall-Anzeige (US) des Vimedix Simulators Die Haupt-Symbolleiste Die Haupt-Symbolleiste befindet sich direkt unter dem Simulationsbildschirm. Sie ist während der Ausführung einer Simulation jederzeit verfügbar. Die Haupt-Symbolleiste bietet Steuerelemente zum Anpassen der Übungsumgebung. Bei den Schaltflächen kann es sich um einfache Ein-/Aus-Kippschalter handeln oder sie können sekundäre Symbolleisten öffnen. Die Funktion der einzelnen Schaltflächen ist im Folgenden angegeben. 8	A Benutzerhandbuch Vimedix  - Die Taste „Probe“ pausiert die Ultraschallkopf- und Ultraschallstrahlposition. - Die Schaltfläche „Preset“ (Voreinstellungen) öffnet eine sekundäre Symbolleiste mit mehreren Optionen. Diese gliedern die verfügbaren voreingestellten Ansichten in anatomische Kategorien. Weitere Informationen finden Sie im Abschnitt „Preset Schaltfläche“. - Mit der Schaltfläche „Visibility“ (Sichtbarkeit) können Sie auswählen, welche anatomischen Merkmale in den AR- und Ultraschall-Anzeigen angezeigt werden. Durch Auswählen der Schaltfläche wird eine sekundäre Symbolleiste mit mehreren Optionen geöffnet. Weitere Informationen finden Sie im Abschnitt „Visibility Schaltfläche“. - Die Schaltfläche „Layout“ öffnet die Layout-Symbolleiste. Sie ermöglicht Ihnen die Auswahl zwischen fünf möglichen Konfigurationen für den Simulationsbildschirm. Weitere Informationen finden Sie im Abschnitt „Layout Schaltfläche“. - Die Schaltfläche „Link Views“ (Ansichten verknüpfen) aktiviert/deaktiviert die Funktion „Verknüpfte Ansichten“ für das AR-Bild. Wenn die Schaltfläche weiß ist, ist das AR-Bild mit dem US-Bild verknüpft; dies ist die Standardeinstellung. Wenn die Schaltfläche ausgewählt ist und blau leuchtet, ist das AR-Bild nicht verknüpft und kann gedreht und gezoomt werden. - Die Schaltfläche „Cross Section“ (Querschnitt) öffnet eine sekundäre Symbolleiste mit Optionen für Querschnittsansichten für 2D- und 3D-Bilder. Weitere Informationen finden Sie im Abschnitt „Cross Section Schaltfläche“. - Die Schaltfläche „Beam“ (Strahl) öffnet eine sekundäre Symbolleiste mit Steuerelementen für visuelle Hilfsmittel und US-Konventionen. Weitere Informationen finden Sie im Abschnitt „Beam Schaltfläche“. - Die Schaltfläche „US Mode“ (US-Modus) öffnet die US-Modus-Symbolleiste mit Auswahlmöglichkeiten für 2D- und 3D-Ultraschall. Das Symbol der Schaltfläche ändert sich, um den aktiven Modus anzuzeigen. Weitere Informationen finden Sie im Abschnitt „US-Mode Schaltfläche“. - Die Schaltfläche „M Mode“ (M-Modus) aktiviert/deaktiviert die Grafik des Bewegungsmodus. Wenn die Schaltfläche ausgewählt ist und blau leuchtet, wird die M-Modus-Linie verfügbar und kann auf dem Ultraschallbild für den gewünschten M-Modus-Messwert positioniert werden. - Die Schaltfläche „Doppler“ öffnet eine sekundäre Symbolleiste mit drei Doppler-Auswahlmöglichkeiten. Das Symbol der Schaltfläche ändert sich, um den aktiven Modus anzuzeigen. Weitere Informationen finden Sie im Abschnitt „Doppler Schaltfläche“. 9

Abbildung 13: Auszug aus dem Benutzerhandbuch des Vimedix. Einzelne grafische Elemente basieren auf Material von CAE Healthcare und wurden mit freundlicher Genehmigung übernommen.

Der zweite Teil widmet sich den grundlegenden Übungen für das Handling des Ultraschallkopfes. Ziel ist es, den Nutzenden ein Gefühl für die Bewegungen und die korrekte Orientierung des Schallkopfes zu vermitteln. Zu den Basisbewegungen gehören longitudinale Bewegungen nach oben und unten, laterale Bewegungen nach links und rechts sowie die Rotation des Schallkopfes im Uhrzeigersinn. Diese Übungen bilden die Grundlage für eine präzise und zielgerichtete Ultraschalluntersuchung.

Der dritte und umfangreichste Abschnitt beinhaltet verschiedene Lerneinheiten (LE), die systematisch aufeinander aufbauen. Jede Einheit behandelt spezifische Schallaufträge, darunter Standardschnitte, Messungen, spezielle Anlotungen und Pathologien. Eine Übersicht über die Gliederung der Lerneinheiten ist in Abbildung 14 dargestellt.

Jede Lerneinheit enthält zusätzlich Platz für Notizen, in dem die Teilnehmenden Ideen zur Unterrichtsgestaltung mit dem Simulator festhalten, aufgetretene Probleme dokumentieren oder Verbesserungsvorschläge notieren können.

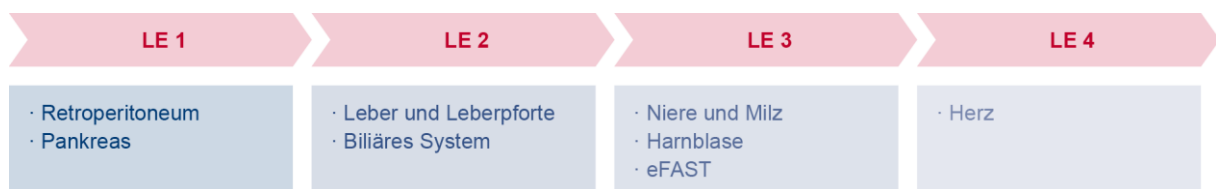


Abbildung 14: Übersicht der Lerneinheiten und Themen

Die Kombination aus einem detaillierten Benutzerhandbuch und einem strukturierten Arbeitsheft bietet den Lernenden somit eine klare und umfassende Anleitung, um theoretische Inhalte und praktische Fertigkeiten in der Ultraschallausbildung optimal zu verknüpfen. Das Selbstlernprogramm zielt darauf ab, eine sichere und effektive Nutzung des Ultraschallsimulators zu fördern und die Qualität der simulationsbasierten Ausbildung nachhaltig zu verbessern.

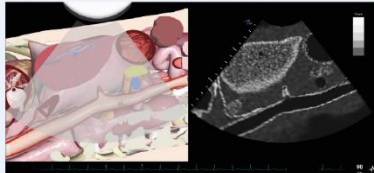
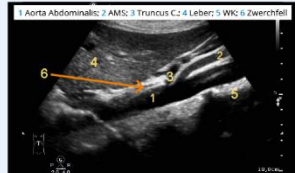
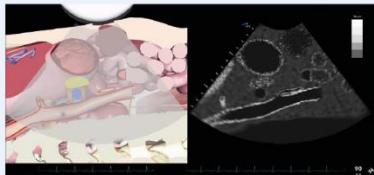
C | Lerneinheiten

C.1 Lerneinheit 1 – Thema: Retroperitoneum und Pankreas

Lerneinheit 1 – Abschnitt 1 (Standardschnitte)

Aufgaben: Stellen Sie die folgenden Standardschnitte am Simulator ein. Beachten Sie die Aspekte der Bildoptimierung, benennen und verdeutlichen Sie sich mögliche Leitstrukturen in den jeweiligen Ebenen und vergleichen Sie diese mit den gezeigten Ultraschallbildern. Erarbeiten Sie sich die Standardschnittebenen (von dorsal nach ventral) auch mithilfe der anatomischen Bildarstellung und machen Sie sich den anatomischen Aufbau bewusst. Überlegen Sie sich, wie ein Untersuchungsablauf der einzelnen Standardschnitte aussieht und führen Sie diesen durch. Notieren Sie sich Besonderheiten / Auffälligkeiten des Simulators!

Tipp: Sie können die Darstellungseinstellungen auch ändern (z. B. Anatomiebild groß, Ultraschallbild klein etc.)

Standardschnitt	Beispiel	Ultraschallbild	Notizen
paramedianer Sagittalschnitt Aorta (inkl. Pankreas)			
paramedianer Sagittalschnitt Aorta Infrarenal			

26

Abbildung 15: Auszug aus dem Arbeitsheft. Hier abgebildet ist die erste Seite der Lerneinheit 1. Weitere Auszüge aus dem Arbeitsheft sind in Anhang B dargestellt. Einzelne grafische Elemente basieren auf Material von CAE Healthcare und wurden mit freundlicher Genehmigung übernommen.

3.2.3 Umsetzung des Kurskonzeptes und Ausbildung der Dozenten am Ultraschallsimulator

Im Rahmen der halbjährlichen Weiterbildung der Ultraschalldozenten des sonoforklinik-students-Projekts wurde im Mai 2021 der neu eingeführte Ultraschallsimulator Vimedix 3.0 und seine Funktionen vorgestellt.

Zu Beginn der Schulung wurde ein Evaluationsbogen und ein Theorietest (T1) ausgefüllt. Der Evaluationsbogen erfasste die demografischen Daten (Alter, Matrikelnummer, Vorerfahrung), Vorerfahrungen mit Ultraschall an und außerhalb der Universität, sowie die Teilnahme an sonoforklinik-students- oder DEGUM-Kursen als Teilnehmende oder Dozenten. Darüber hinaus wurde die Selbsteinschätzung zur Kompetenz in den Bereichen Fachwissen, Schallkopfhandling, räumliche Orientierung, Organbeurteilung und Pathologie abgefragt. Es wurden Fragen zu bisherigen Erfahrungen mit Simulatoren sowie zur Motivation und Zufriedenheit mit simulationsbasiertem Training gestellt, ergänzt durch Wünsche und Vorschläge zur effektiven Gestaltung von simulationsbasiertem Training.

Der Theorietest (maximal 204 Punkte) prüfte die Grundlagen des Ultraschalls (33 Punkte), Normalbefunde im Abdomen anhand beschrifteter Strukturen (118 Punkte) sowie die Erkennung abdominaler Pathologien (53 Punkte).

Nach Abschluss des schriftlichen Tests erhielten die Dozenten ein Simulatorhandbuch, das sowohl das Benutzerhandbuch als auch das Arbeitsheft (DIN A4) enthielt. Sie wurden angewiesen, die Inhalte eigenständig zu bearbeiten. Im Handbuch war ein QR-Code integriert, der zu einem Online-Dokument führte, in dem Verbesserungsvorschläge und Anmerkungen eingetragen werden konnten. Dies diente der kontinuierlichen Optimierung sowohl des Schulungsmaterials als auch der gesamten Ausbildung.

Nach der Einführung in das Simulatorhandbuch erhielten die Dozenten eine praktische Einführung direkt am Simulator. In dieser ersten Übungseinheit wurden das Aufbauen des Simulators, die Basisfunktionen sowie die Einstellung und Erkennung von Pathologien geübt. Diese Einführung diente dazu, Fragen zu klären und die Dozenten zum eigenständigen Training zu motivieren.

Im Laufe des kommenden Semesters sollten die Aufgaben aus dem Handbuch eigenständig oder in Kleingruppen bearbeitet werden. Ziel war es, sicherzustellen, dass alle Dozenten mindestens einmal die Normalbefunde, Pathologien und Messungen am Simulator durchgeführt hatten. Der Arbeitsauftrag sollte bis zum übernächsten Dozententreffen, welches den zweiten Testzeitpunkt (T2 im Oktober 2022) beinhaltete, abgeschlossen sein.

Hier wurde erneut ein Evaluationsbogen ausgefüllt, der die Zufriedenheit im Umgang mit dem Simulator, die Haltung zu simulationsbasiertem Training, die Motivation sowie die Selbsteinschätzung der eigenen Kompetenz abfragte. Der Theorietest entsprach dem Aufbau von T1 und diente zur Erfassung des Lernfortschritts.

3.2.3.1 Übersicht der Prüfungsformate

Die Übersicht der Prüfungsformate gliedert sich in zwei Tabellen zur Evaluation und zur Wissensüberprüfung mit den Angaben Prüfungstitel, Zeitpunkt, Testformat und Testinhalt (Tabellen 2 und 3).

Tabelle 2: Übersicht der Evaluationen im Rahmen der Dozentenausbildung

Prüfungstitel und Zeitpunkt	Testformat	Testinhalt
Evaluationen		
Prä-Evaluation vor Dozenten-schulung (T1)	<u>Fragentyp:</u> Skalierte Fragen: Siebenstufige Likert-Skala (1= „trifft voll und ganz zu“, 7= „trifft gar nicht zu“) Dichotome Fragen: z.B. „Haben Sie eine Vorausbildung im medizinischen Bereich?“	<u>Fragenkomplex 1:</u> Persönliche Daten (Alter, Matrikelnummer, Geschlecht) <u>Fragenkomplex 2:</u> Persönliche Vorerfahrungen und Fertigkeiten (Vorausbildungen, Leistungsfähigkeit bzgl. visueller und räumlicher Wahrnehmung) <u>Fragenkomplex 3:</u> Ultraschall-Vorerfahrung (Anzahl der selbstständig durchgeführten Ultraschalluntersuchungen und Selbsteinschätzung)

	Freitextfragen: z.B. Alter, Bezeichnung des Ausbildungsberufes, Gründe für Motivation <u>Testart:</u> Papiertest <u>Testdauer:</u> 10 min <u>Korrektur / Bewertung:</u> keine, Erhebung von persönlichen Angaben und Evaluationsdaten	<u>Fragenkomplex 4:</u> sonoforklinik-students Dozentenausbildung und Kursteilnahmen (Anzahl bisher absolvierter Kurse als Teilnehmer, bzw. als Dozent) <u>Fragenkomplex 5:</u> Nutzungsverhalten von Simulatoren (Berührungspunkte, Zustimmungsfagen zur Erweiterung der simulationsbasierten Lehre) <u>Fragenkomplex 5:</u> Motivation und Erwartung an den Simulator-Kurs (Gründe für hohe Motivation) <u>Fragenkomplex 6:</u> Persönliche Lernziele für den Simulator-Kurs (Zustimmungsfagen bzgl. Zugewinn an Technik, praktischen Fertigkeiten, Sicherheit bei Ultraschalluntersuchungen)
Post-Evaluation nach Dozenten-schulung (T2)		<u>Fragenkomplex 1:</u> Persönliche Daten <u>Fragenkomplex 2:</u> Persönliche Vorerfahrungen und Fertigkeiten <u>Fragenkomplex 3:</u> Ultraschallvorerfahrung <u>Fragenkomplex 4:</u> Motivation und Erwartung des Simulator Kurses (inkl. Abfrage der verbrachten Zeit am Simulator) <u>Fragenkomplex 5:</u> Persönliche Lernziele des Simulator Kurses
Online-Umfrage nach Dozenten-schulung (T2)	Siehe Kapitel 3.1.4.3	Siehe Kapitel 3.1.4.3
Evaluation Simulator-Handbuch nach Dozentenschulung (T2)	<u>Fragentyp:</u> Skalierte Fragen: Siebenstufige Likert-Skala (1= „trifft voll und ganz zu“, 7= „trifft gar nicht zu“) Dichotome Fragen <u>Testart:</u> Online-Fragebogen <u>Testdauer:</u> 15 min <u>Korrektur / Bewertung:</u> keine, Erhebung von persönlichen Angaben und Evaluationsdaten	<u>Fragenkomplex 1:</u> Persönliche Daten (Alter, Matrikelnummer, Geschlecht) <u>Fragenkomplex 2:</u> Arbeitsheft (Absolvierte Lerneinheiten, Bewertung Layout und Inhalt) <u>Fragenkomplex 3:</u> Selbsteinschätzung (eigenständiges Arbeiten, Sicherheit) <u>Fragenkomplex 4:</u> Benutzerhandbuch (Aufbau und Übersichtlichkeit)

Tabelle 3: Übersicht über die Wissensüberprüfung im Rahmen der Dozentenausbildung

Prüfungstitel und Zeitpunkt	Testformat	Testinhalt
Wissensüberprüfung		
Prätest vor Dozenten-schulung (T1)	<u>Fragentyp:</u> Beschriftungsfragen Lückentextfragen <u>Testart:</u> Papiertest	<u>Themenkomplex 1:</u> Grundlagen: Bildentstehung und Schnittbildverständnis, Echogenität und Sonomorphologie, Schallköpfe und Ultraschallmodi, Artefakte, Bildoptimierung <u>Themenkomplex 2:</u> Sonoanatomie und Normalbefunde: Retroperitoneum, Leberpforte und Gallenblase, Leber, Niere, Milz, Harnblase und Beckenorgane <u>Themenkomplex 3:</u> Pathologien: Retroperitoneum, Leberpforte und Gallenblase, Leber, Niere, Milz, Harnblase und Beckenorgane
Posttest nach Dozenten-schulung (T2)	<u>Testdauer:</u> 45 min (10 min Grundlagen, 20 min Normalbefunde, 15 min Pathologien) <u>Korrektur/Bewertung:</u> Mittels Musterlösung, pro Test maximal 204 Punkte erreichbar (33 Punkte Grundlagenteil, 118 Punkte Normalbefundteil, 53 Punkte Pathologieteil)	

3.2.3.2 Ausschlusskriterien und Problematiken

Dozenten, die das Projekt verlassen hatten oder zu einem der Testzeitpunkte nicht anwesend waren (z. B. Erasmusstudierende), wurden von der Auswertung ausgeschlossen. Initial wurden 30 Dozenten eingeschlossen, von denen bis zum Ende 15 T2-Bögen ausgefüllt wurden. Aufgrund der Ausschlusskriterien konnten jedoch 15 Bögen nicht in die finale Auswertung aufgenommen werden.

Die Evaluations- und Prüfungsbögen wurden im Rahmen eines Expertenaustauschs entwickelt, an dem DEGUM-zertifizierte und erfahrene Dozenten beteiligt waren. Dieses Vorgehen stellte sicher, dass die erhobenen Daten wissenschaftlich fundiert und praxisorientiert waren

3.2.4 Evaluation des Simulatorhandbuchs

Im Januar 2022 wurde eine Online-Umfrage über die digitale Umfragesoftware „SoSci“ (Softwareversion 3.5.05; SoSci Survey GmbH, München, Deutschland) durchgeführt, um das Handbuch für den Ultraschallsimulator zu evaluieren und Verbesserungspotenziale zu identifizieren. Ziel war es, die Inhalte und die Struktur des Simulatorhandbuchs weiter zu optimieren und das Feedback der Dozenten in den Überarbeitungsprozess einfließen zu lassen. Die Umfrage umfasste verschiedene Themenbereiche, darunter die Bewertung des Layouts sowie die Einschätzung der Lerneinheiten und deren praktischer Anwendbarkeit. Auch die Nutzung und Praktikabilität des Arbeitsbuches wurden kritisch hinterfragt. Darüber hinaus wurde der Bezug der Inhalte auf die praktische Anwendung am Simulator, die durch das Handbuch geförderte Motivation und die subjektive Einschätzung der eigenen

Vorbereitung als Dozent am Simulator erfasst. Abschließend konnten die Dozenten eine Gesamtbewertung abgeben und in einem Freitextfeld Verbesserungsvorschläge sowie allgemeines Feedback einbringen. Das gesammelte Feedback wurde genutzt, um das Benutzerhandbuch sowohl inhaltlich als auch didaktisch weiter zu verbessern und so eine strukturierte und praxisnahe Dozentenausbildung am Ultraschallsimulator sicherzustellen.

3.2.5 Ausblick auf die dritte Stufe des Stufenmodells: Probelauf des Kurskonzeptes zur FATE-Sim-Studie im Rahmen des sonoforklinik-students-Dozententreffens

Im Oktober 2021 wurde während des halbjährlichen sonoforklinik-students Dozententreffens ein Probelauf des erarbeiteten Kurskonzeptes zur bevorstehenden FATE-Sim-Studie durchgeführt. Dieser Probelauf, der sowohl theoretische als auch praktische Komponenten umfasste, wurde von den Ultraschalldozenten durchgeführt, um das Konzept umfassend zu testen. Ziel des Probelaufs war es, potenzielle Fehler im Kurskonzept frühzeitig zu erkennen und zu beheben sowie mögliche Verbesserungen in der Struktur und Durchführung vorzunehmen. Darüber hinaus bot der Testlauf eine erneute Gelegenheit zur Fortbildung der Dozenten am Ultraschallsimulator, um deren Kompetenz und Sicherheit im Umgang mit dem Gerät weiter zu stärken. Die Ergebnisse und Erkenntnisse dieses Probelaufs flossen in die finale Ausarbeitung des Kurskonzeptes ein, welches in den folgenden Abschnitten detailliert erläutert wird.

3.3 Beschreibung der dritten Stufe des Stufenmodells – die FATE-Sim-Studie

Die folgenden Unterkapitel sowie die Kapitel 3.4, 3.5 und 3.6 knüpfen inhaltlich an Kapitel 3.3 an und bilden gemeinsam mit der Beschreibung der FATE-Sim-Studie einen wesentlichen Bestandteil der Promotionsarbeit. Sie stellen die dritte Stufe des zugrunde liegenden Stufenmodells dar.

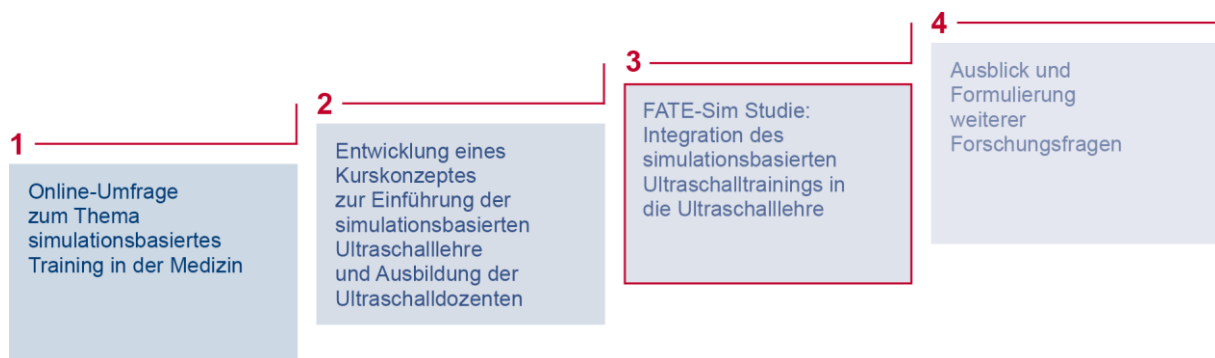


Abbildung 16: Stufenmodell

3.3.1 Studiendesign zur FATE-Sim-Studie

Die vorliegende Studie hatte das Ziel, Unterschiede in der Trainingseffektivität der Echokardiographie zu untersuchen, um langfristig die Ultraschallausbildung zu optimieren und eine sinnvolle Integration simulationsbasierter Trainingsmethoden zu ermöglichen. Hierzu wurde eine monozentrische, prospektive, randomisierte kontrollierte Studie durchgeführt. Die Studienteilnehmenden wurden per Zufallsprinzip einer von zwei Gruppen zugewiesen: einer Studiengruppe, die ihr Training an einem Ultraschallsimulator absolvierte, und einer Kontrollgruppe, die das Training am Menschen durchführte. Beide Gruppen wurden nach dem Focused Assessed Transthoracic Echocardiography (FATE) -Protokoll geschult [106]. Dieses standardisierte Protokoll dient der strukturierten transthorakalen Echokardiographie in der Notfall- und Intensivmedizin, um hämodynamisch relevante Parameter schnell und zuverlässig zu erfassen. Es ermöglicht eine fokussierte Beurteilung kardialer Strukturen mit dem Ziel, relevante Pathologien frühzeitig zu identifizieren.

Der Lernerfolg wurde sowohl anhand theoretischer als auch praktischer Prüfungsformate bewertet. Während schriftliche Tests die Aneignung theoretischen Wissens überprüften, erfolgte die Beurteilung praktischer Fertigkeiten mittels Direct Observation of Procedural Skills (DOPS), vgl. Abbildung 17. Die Haupthypothese der Studie lautete, dass die Vermittlung von Ultraschallkenntnissen durch den Einsatz eines Simulators mit der herkömmlichen patientenbasierten Lehre vergleichbar ist. Die Alternativhypothese besagte hingegen, dass ein rein simulationsbasiertes Training nicht ausreicht, um die erforderlichen praktischen Fertigkeiten für die Anwendung am Menschen zu erwerben.

Zusätzlich zu diesen zentralen Fragestellungen wurden weitere Aspekte untersucht. Dazu gehörten die Bewertung des eingesetzten Lehrmaterials sowie der Einfluss der verschiedenen Lehrmethoden auf die Motivation der Teilnehmenden. Darüber hinaus wurde der gesamte Workshop durch die Studierenden evaluiert.

Als primäre Endpunkte der Studie wurden die Verbesserung der theoretischen Kenntnisse, gemessen durch schriftliche Tests, sowie die Steigerung der praktischen Kompetenz definiert. Letztere wurde anhand einer standardisierten DOPS-Prüfung erfasst, in der die Teilnehmenden das FATE-Protokoll demonstrieren mussten – entweder am Simulator oder am Menschen. Zudem wurde die Fähigkeit zur Erkennung pathologischer Befunde mittels Echokardiographie überprüft. Sekundäre Endpunkte umfassten die subjektive Einschätzung der eigenen Kompetenzsteigerung, die individuelle Motivation der Teilnehmenden, das selbst wahrgenommene Erreichen der Lernziele sowie die Gesamtbewertung des Trainingskonzeptes.

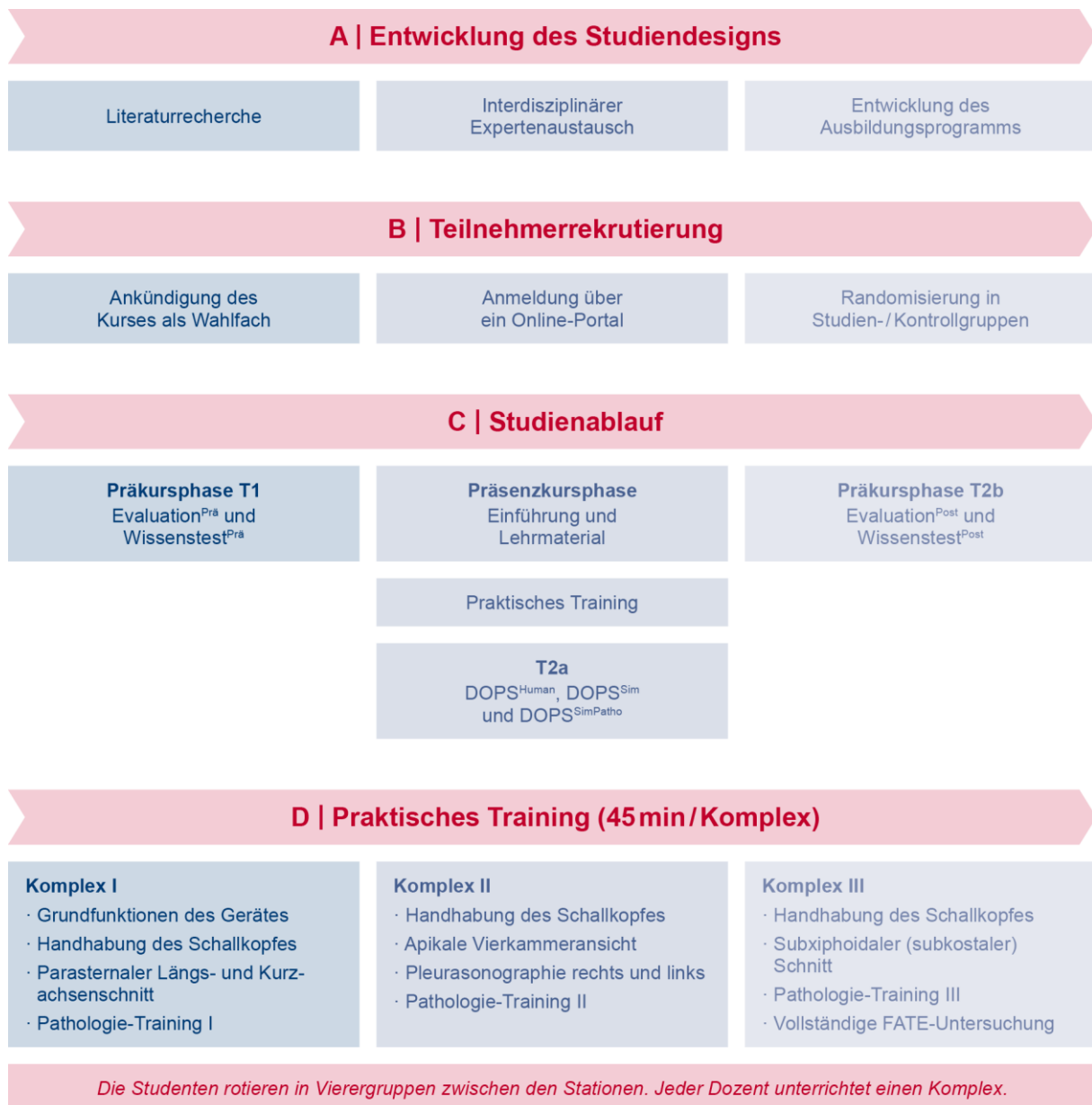


Abbildung 17: Chronologische Darstellung des Studiendesigns und des Kurskonzeptes, einschließlich der Zeitpunkte der Datenerhebung (T1, T2a und T2b). (A) Der Entwicklungsprozess des Kursdesigns und der Kursinhalte; (B) Rekrutierung; (C) Kurskonzept; (D) Kursmodule einschließlich Lerninhalte.

3.3.2 Rahmenbedingungen

3.3.2.1 Entwicklung des Kurskonzeptes

Ursprünglich war die Implementierung des Kurskonzeptes innerhalb des regulären Inneren-Kurses im fünften Semester vorgesehen. Dieser Kurs erstreckt sich über eine Woche, wobei täglich etwa 25 Studierende an einem Zirkeltraining teilnehmen, sodass insgesamt rund 200 Studierende geschult werden. Innerhalb dieses Kursformates sollte eine Station der Ultraschallausbildung gewidmet werden, insbesondere zur Schulung des Focused Assessment with Sonography for Trauma (FAST)-Schemas. Da Studierende zu diesem Zeitpunkt noch keine Vorerfahrung mit der Sonographie hatten, sollte das Konzept einen strukturierten Einstieg ermöglichen. Die für einen Kursdurchgang geplante Dauer betrug etwa drei Stunden und setzte sich aus einem Prätest zur Erfassung des Eingangsniveaus, einer

Theorie- und Praxiseinheit zur Vermittlung der Grundlagen der transthorakalen Echokardiographie, einer praktischen Prüfung zur Beurteilung der erworbenen Fertigkeiten sowie einem abschließenden Posttest zur Evaluation der Lernfortschritte zusammen.

Im weiteren Planungsverlauf ergaben sich jedoch organisatorische Herausforderungen. Eine Umstrukturierung des Inneren-Kurses führte dazu, dass der Einsatz von Ultraschallsimulatoren nicht mehr möglich war, da eine Integration in das bestehende Kursformat von den Organisatoren abgelehnt wurde. Zudem war der Kurs für die dritte Semesterwoche terminiert, zu einem Zeitpunkt, an dem die Studierenden bereits einen allgemeinen Ultraschallkurs begonnen hatten. Dadurch bestand die Gefahr, dass die Teilnehmenden nicht mehr als unerfahren in der Sonographie gelten konnten, was die Vergleichbarkeit der Studienergebnisse beeinträchtigt hätte.

Als Alternative wurde daher ein Wochenend-Workshop zur Echokardiographie konzipiert. Dieses Format ermöglichte mehrere identische Durchgänge, sodass möglichst viele Studierende an der Schulung teilnehmen konnten. Da Echokardiographie nicht Teil des regulären Ultraschallkurses im fünften Semester war, bestand keine inhaltliche Überschneidung. Studierende, die bereits an den ersten beiden Kurstagen des regulären Ultraschallkurses teilgenommen hatten, konnten zudem von grundlegenden Vorkenntnissen im Umgang mit dem Ultraschallgerät profitieren, wodurch eine erneute Einführung in die Handhabung entfallen konnte.

Die Studie wurde von der Ethik-Kommission der Landesärztekammer Rheinland-Pfalz (Mainz, Deutschland) genehmigt. Alle Teilnehmenden gaben eine schriftliche Einwilligung zur Studienteilnahme ab.

3.3.2.2 Planungsarbeiten des FATE-Workshops

Die Planung des Workshops umfasste eine detaillierte Berechnung der benötigten Ressourcen und zeitlichen Abläufe. Insbesondere musste die Anzahl möglicher Kursdurchgänge pro Tag sowie der erforderlichen Dozenten ermittelt werden. Aufgrund dieser Überlegungen wurde der Workshop für ein Wochenende im November 2021 terminiert, was dem Ende der dritten Semesterwoche entsprach.

Zur Sicherstellung eines reibungslosen Ablaufs wurden bereits im Vorfeld verschiedene Maßnahmen getroffen. Die Dozenten wurden geschult, um eine einheitliche Wissensvermittlung und eine standardisierte Durchführung der Prüfungen zu gewährleisten. Zudem wurden die benötigten Ultraschallsimulatoren reserviert und die Termine frühzeitig sowohl den Dozenten als auch den Studierenden kommuniziert, um eine hohe Teilnahmequote zu ermöglichen.

3.3.2.3 Teilnehmerrekrutierung

Die Rekrutierung der Teilnehmenden erfolgte im Wintersemester 2021/2022. Die Studierenden des fünften Semesters erhielten eine offizielle Einladung zur Teilnahme am Workshop, die durch das Dekanat per E-Mail versendet wurde. Die Anmeldung erfolgte über das universitäre Verwaltungssystem Jogustine, wobei der Kurs als freiwillige, extracurricular angebotene Ultraschallfortbildung ausgeschrieben wurde.

Teilnahmeberechtigt waren ausschließlich Studierende des fünften Semesters, das als erstes klinisches Semester gilt. Ein wesentliches Auswahlkriterium war die Sicherstellung, dass keine Vorerfahrung in der Echokardiographie vorlag. Dadurch sollte eine möglichst homogene Ausgangslage gewährleistet werden, um Verzerrungen der Studienergebnisse zu vermeiden.

3.3.2.4 Räumlichkeiten, Geräte, Technische Voraussetzungen, Hygiene

Der Workshop wurde in der Rudolf-Frey-Lernklinik (RFLK) sowie in einem Hörsaal der Universitätsmedizin Mainz durchgeführt. Für die praktische Umsetzung standen drei Ultraschallgeräte der Firma CAE Healthcare (GE F8, General Electric Company, Boston, USA) sowie drei Ultraschallsimulatoren des Typs Vimedix 3.0 (CAE Healthcare, Montreal, Kanada) zur Verfügung.

Der verwendete Vimedix-Ultraschallsimulator ist ein validiertes Trainingsgerät, das von Experten für die Schulung in der Echokardiographie zugelassen wurde (vgl. Abbildung 18). Dieser Simulator verfügt über einen lebensgroßen Sektorschallkopf, der realistisch auf ein menschliches Rumpfmodell angewendet werden kann. Das System bietet eine Vielzahl an kardiologischen Trainingsmodulen und ermöglicht die Simulation unterschiedlichster Pathologien. Neben der animierten Darstellung anatomischer Schnittbilder projiziert der Monitor ein realitätsnahes Ultraschallbild, das durch verschiedene Messwerkzeuge, Dopplerfunktionen und andere diagnostische Features ergänzt wird. Zusätzlich bietet der Simulator die Möglichkeit, eine transösophageale Echokardiographie (TEE) durch Wechsel der Ultraschallsonde durchzuführen.

Da die Studie während der COVID-19-Pandemie durchgeführt wurde, mussten umfangreiche Hygienemaßnahmen eingehalten werden. Dazu gehörten Abstandsregelungen, die Desinfektion der Ultraschallgeräte nach jeder Nutzung sowie das verpflichtende Tragen von Schutzmasken während der gesamten Schulung.

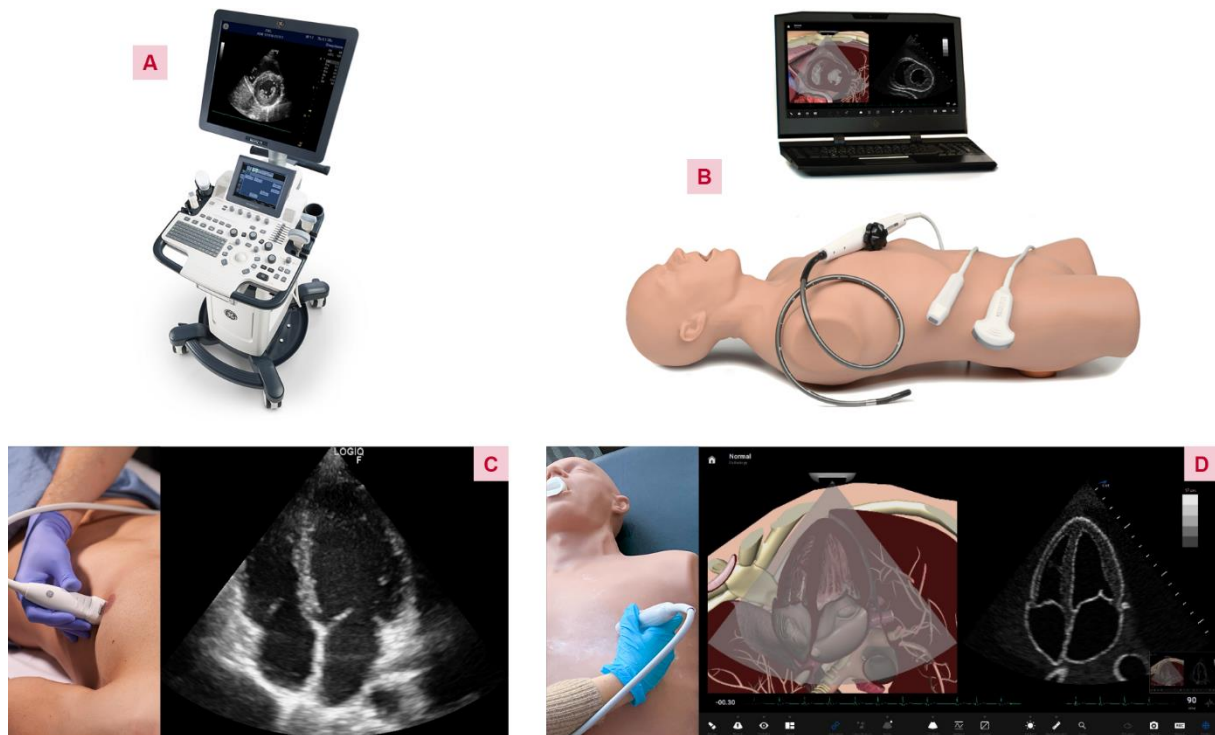


Abbildung 18: Vorstellung der im Kurs verwendeten Trainingsgeräte. Die Kontrollgruppe wurde am Ultraschallsystem GE F8 der General Electric Company, Boston geschult (Abbildungen A und C), während die Studiengruppe mit dem Ultraschallsimulator Vimedix von CAE Healthcare, Montreal, Kanada (Abbildungen B und D) trainierte.[83]

3.3.2.5 Studieninstruktion für die Tutoren

Zur Sicherstellung einer einheitlichen Wissensvermittlung und einer standardisierten Prüfungsdurchführung wurden die Dozenten systematisch geschult. Dies erfolgte im Rahmen eines speziell konzipierten Wochenendkurses, in dem sie gezielt auf ihre Aufgaben vorbereitet wurden. Zusätzlich wurde ein umfassendes Handbuch zur Verfügung gestellt, das ein selbstständiges Lernen ermöglichte (vgl. Kapitel 3.2.2).

Die Schulung fand im Rahmen des Semesterauftakt-Wochenendes im Oktober 2021 statt, das als halbjährliche Fortbildungsveranstaltung für die Ultraschalldozenten diente. Innerhalb dieser Veranstaltung wurde ein vierstündiger Probelauf des geplanten FATE-Workshops durchgeführt, um die Abläufe zu testen und die Dozenten mit den Unterrichtsinhalten und Prüfungsformaten vertraut zu machen. Der Probelauf umfasste alle wesentlichen Kursbestandteile, darunter ein Prätest zur Wissensüberprüfung und Evaluation, eine verkürzte Theorie- und Praxiseinheit sowie eine erste Version der praktischen Prüfungen. Den Abschluss bildete ein Posttest, der zu diesem Zeitpunkt noch keine pathologischen Befunde enthielt.

Nach dem Probelauf wurden die praktischen Prüfungsbögen analysiert und notwendige Anpassungen vorgenommen. Dies betraf sowohl inhaltliche Optimierungen der

Prüfungsbögen als auch die Feinabstimmung der zeitlichen Abläufe innerhalb des Kurskonzeptes.

Um den Dozenten eine frühzeitige Vorbereitung auf ihre Lehrtätigkeit zu ermöglichen, wurden sämtliche Unterrichtsmaterialien vorab bereitgestellt. Dadurch konnten sie sich weitreichend mit den Kursinhalten, Prüfungsanforderungen und Lehrmethoden vertraut machen, um eine einheitliche und qualitativ hochwertige Wissensvermittlung im FATE-Kurs sicherzustellen.

3.4 Beschreibung des Kursmodells und -ablaufs

3.4.1 Kurskonzept und Lernziele

Basierend auf etablierten Trainingskonzepten für die fokussierte Sonographie des Herzens (Focused Cardiac Ultrasound, FOCUS) unter Verwendung transthorakaler Querschnitte wurde ein strukturiertes FATE-Workshop-Modell entwickelt. Dieses Konzept geht auf eine Empfehlung des World Interactive Network Focused on Critical Ultrasound (WINFOCUS) zurück.

Der Workshop erstreckte sich über eine Gesamtzeit von 360 Minuten und gliederte sich in drei Hauptabschnitte: eine Einführungsveranstaltung im Plenum (90 Minuten), ein praktisches Training in Kleingruppen mit anschließenden praktischen Prüfungen (225 Minuten) sowie eine abschließende Plenarsitzung (45 Minuten). Die detaillierte Durchführung der einzelnen Abschnitte wird ab Kapitel 3.4.3 beschrieben.

Die Lernziele des Workshops umfassten die Vermittlung des FATE-Protokolls und die Schulung der Teilnehmenden in der Anwendung der transthorakalen Echokardiographie unter Berücksichtigung pathologischer Befunde. Die genaue chronologische Abfolge des Kurses kann Abbildung 17 in Kapitel 3.3.1 entnommen werden.

3.4.2 Kursmodell

Das Kursmodell setzte sich aus mehreren aufeinander aufbauenden Phasen zusammen, um eine schrittweise Wissensvermittlung und Kompetenzsteigerung zu gewährleisten. Der Workshop bestand aus einer Einführungsveranstaltung (Präkurs), einem praktischen Training mit Prüfungen (Präsenzkurs) sowie einer schriftlichen Abschlussprüfung (Postkurs).

Die inhaltlichen Schwerpunkte orientierten sich am FATE-Protokoll, das eine strukturierte Herangehensweise an die transthorakale Echokardiographie ermöglicht.

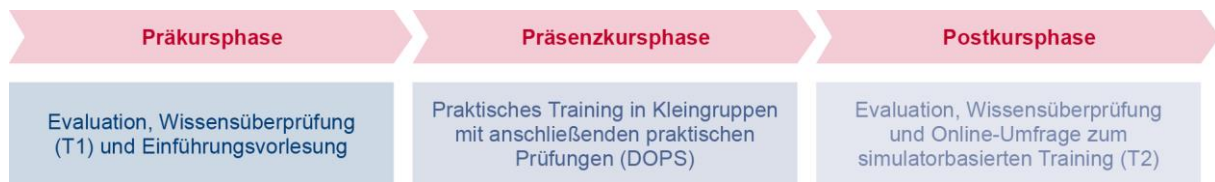


Abbildung 19: Studiendurchführung mit Erhebungszeitpunkten, Fallgruppe am Simulator, Kontrollgruppe am Menschen

3.4.3 Präkursphase / Kursvorbereitung

Die Präkursphase begann mit einer verbindlichen Einführungsvorlesung, die für alle Teilnehmenden nach Vergabe der Kursplätze verpflichtend war. In dieser Veranstaltung wurden sowohl die Teilnahme an der Studie als auch der genaue Ablauf des Workshops erläutert.

Zur Erhebung des Ausgangsniveaus erfolgte im Rahmen dieser Veranstaltung ein schriftlicher Test (T1). Dieser schriftliche Prätest bestand aus einem Theorietest zur Wissensüberprüfung sowie einem Evaluationsfragebogen, der sowohl der Selbstbewertung der eigenen Kenntnisse als auch der ersten Evaluation des simulationsbasierten Trainings diene. Anschließend erhielten die Teilnehmenden eine Einführung in das FATE-Protokoll durch einen Live-Vortrag, um eine einheitliche Grundlage für alle zu schaffen. Ergänzend wurde ein Poster mit den relevanten Schnitten des FATE-Protokolls verteilt, das als visuelle Lernhilfe diene.

Zur Ergänzung der Vorlesung wurde ein QR-Code bereitgestellt, über den die Teilnehmenden Zugriff auf ein Online-Video erhielten. Dieses Video demonstrierte den vollständigen Untersuchungsgang nach dem FATE-Protokoll und ermöglichte es den Studierenden, sich auch außerhalb des Kurses mit der praktischen Durchführung vertraut zu machen. Durch diese Kombination aus Vorlesung, visueller Präsentation und digitaler Unterstützung wurde eine optimale Grundlage für das anschließende praktische Training geschaffen.

3.4.4 Präsenzkursphase

Die Präsenzkursphase des Workshops war so konzipiert, dass die Teilnehmenden durch ein praxisorientiertes Training ihre Fähigkeiten in der transthorakalen Echokardiographie weiterentwickeln konnten. Im Mittelpunkt stand dabei die Anwendung des FATE-Protokolls in Kleingruppen, wobei der Schwerpunkt sowohl auf der räumlichen Orientierung innerhalb der echokardiographischen Schnitte als auch auf dem Training zur Identifikation pathologischer Befunde lag. Der gesamte praktische Abschnitt erstreckte sich über 135 Minuten und war in drei Stationen unterteilt, die jeweils spezifische Aspekte der Bildgebung und Diagnostik vermittelten.

Die Teilnehmenden wurden randomisiert einer von zwei Gruppen zugeteilt. Die Kontrollgruppe erhielt Ultraschallclips mit pathologischen Befunden, die visuell analysiert und interpretiert werden mussten. Im Gegensatz dazu bearbeitete die Studiengruppe Fallszenarien an einem Ultraschallsimulator, bei denen verschiedene Pathologien simuliert und direkt durch aktive Schallübungen diagnostiziert wurden. Diese unterschiedlichen methodischen Ansätze sollten ermöglichen, die Effizienz eines simulationsbasierten Trainings im Vergleich zur klassischen bildbasierten Lehre zu bewerten.

Um eine einheitliche und standardisierte Wissensvermittlung zu gewährleisten, wurden für jede der Stationen detaillierte Arbeitsanweisungen und Aufgabenstellungen formuliert, die eine strukturierte Herangehensweise an die verschiedenen Trainingsszenarien sicherstellten. Die inhaltliche Gestaltung dieser Stationen war im Vorfeld sorgfältig abgestimmt worden, um sicherzustellen, dass alle Teilnehmenden unabhängig von ihrer Zuteilung vergleichbare Lernziele erreichten.

Nach Abschluss des praktischen Trainings erfolgte die standardisierte Evaluation der erworbenen Fertigkeiten durch eine praktische Prüfung mit direkter Beobachtung (DOPS). Diese hatte eine Dauer von 90 Minuten und wurde sowohl am Ultraschallsimulator (DOPS^{Sim}) als auch am Menschen (DOPS^{Human}) durchgeführt. Um mögliche Verzerrungen in der Bewertung zu vermeiden, wurde die Reihenfolge der Prüfungen innerhalb der Gruppen variiert. Während die Studiengruppe zunächst am Simulator geprüft wurde und anschließend eine DOPS-Prüfung am Menschen absolvierte, erfolgte die Testung in der Kontrollgruppe in umgekehrter Reihenfolge, sodass zuerst die Untersuchung am Menschen und anschließend die Prüfung am Simulator stattfand.

Insgesamt wurden sechs Workshops durchgeführt, in denen parallel jeweils sechs Stationen aktiv waren. Jede dieser Stationen wurde von einem Dozenten betreut, wobei pro Station vier Studierende gemeinsam arbeiteten. Diese Struktur stellte sicher, dass trotz der relativ kurzen Trainingszeit eine intensive praktische Übung sowie eine engmaschige Betreuung der Teilnehmenden gewährleistet waren.

3.4.4.1 Dozenten

Die Schulung der Teilnehmenden erfolgte im Rahmen eines Peer-to-Peer-Formats, bei dem zehn fortgeschrittene Studierende aus höheren klinischen Semestern als Dozenten fungierten. Dieses didaktische Konzept basiert auf der Idee, dass Lernende, die sich in einer ähnlichen Ausbildungsphase befinden, ihr Wissen besonders effizient untereinander vermitteln können. Der Vorteil dieser Lehrmethode liegt darin, dass die Peer-Dozenten nicht nur über fachliches Wissen verfügen, sondern auch mit den Lernprozessen und Herausforderungen der

Studierenden vertraut sind, wodurch eine praxisnahe und verständliche Wissensvermittlung ermöglicht wird.

Die Dozenten wurden durch eine umfassende Schulung systematisch auf ihre Aufgabe vorbereitet, um eine einheitliche Unterrichtsqualität zu gewährleisten. Ein besonderer Fokus lag dabei auf der Bedienung der Ultraschallsimulatoren sowie auf der didaktischen Gestaltung des praktischen Unterrichts. Zusätzlich wurden die Workshops von zwei erfahrenen Fachberatern supervidiert, die für die inhaltliche Qualitätssicherung und methodische Konsistenz des Trainings verantwortlich waren.

3.4.5 Postkursphase

Im Anschluss an den Präsenzkurs erfolgte die Postkursphase (T2), die parallel zum Start des nächsten Workshops durchgeführt wurde. Die Teilnehmenden versammelten sich im Hörsaal, während die nächste Kohorte bereits in den Kursräumen mit dem Training begann.

Der schriftliche Posttest (T2) bestand aus einem Theorietest zur Wissensüberprüfung (inhaltlich identisch zu T1) sowie einem Evaluationsfragebogen, der sowohl der Selbstbewertung der eigenen Kenntnisse als auch der erneuten Evaluation des simulationsbasierten Trainings diente. Zusätzlich wurden die Teilnehmenden mit einer erweiterten Prüfung konfrontiert, die das Erkennen einer festgelegten Anzahl pathologischer Befunde umfasste. Hierzu wurde eine Präsentation gezeigt, die Ultraschallclips mit verschiedenen pathologischen Befunden enthielt.

Ergänzend wurde eine Online-Umfrage zur Bewertung des simulationsbasierten Trainings durchgeführt, in der die Teilnehmenden ihre subjektive Einschätzung zur Lehrmethode und zur eigenen Kompetenzsteigerung abgaben. Diese Umfrage stellte die Stufe 1 des in dieser Arbeit verwendeten Stufenmodells dar und wurde im Rahmen dieses Kurses erneut angewendet, sodass alle Teilnehmenden verpflichtet waren, sie auszufüllen.

Nach Abschluss des Workshops erhielten alle Workshop-Teilnehmer eine offizielle Teilnahmebescheinigung. Zur Vertiefung der erlernten Fertigkeiten wurden weitere fakultative Übungsmöglichkeiten angeboten. Diese umfassten zusätzliche Termine für das freie Schallen sowie die Bereitstellung eines Posters mit der Ablaufübersicht des FATE-Protokolls, um das Gelernte selbstständig weiter zu festigen.

3.5 Beschreibung der Lehrmedien

Der folgende Abschnitt beschreibt die verwendeten Lehrmaterialien. Diese wurden in Zusammenarbeit mit erfahrenen Ultraschallexperten (DEGUM III) sowie Didaktikern entwickelt

und basieren auf den Empfehlungen des World Interactive Network Focused on Critical Ultrasound (WINFOCUS).

3.5.1 Handbuch Simulator

Die Dozenten erhielten ein Benutzerhandbuch zum sicheren Umgang mit dem Ultraschallsimulator. Weitere Details diesbezüglich sind den Kapiteln 3.2.2.1 und 3.2.2.2 zu entnehmen.

3.5.2 Poster

Zur Unterstützung des Lernprozesses wurde eine FATE-Protokoll-Übersichtskarte im A3-Format erstellt (vgl. Abbildung 20). Dieses Poster enthielt eine visuelle Darstellung der relevanten Schnittebenen des FATE-Protokolls, ergänzt durch beschriftete Ultraschallbilder, Simulator-Darstellungen sowie eine Anleitung zur korrekten Schallkopfführung. Durch die Kombination dieser Elemente wurde den Teilnehmenden eine strukturierte Orientierung innerhalb der transthorakalen Echokardiographie ermöglicht.

Das Poster diente während des Kurses als zentrales Lehrmedium und wurde an verschiedenen Stellen im Unterrichtsablauf eingesetzt. Es wurde sowohl in den Schulungsräumen als gedruckte Übersichtskarte zur Verfügung gestellt als auch über einen Fernseher visualisiert, um eine gemeinsame Betrachtung und Diskussion der Inhalte in den Kleingruppen zu ermöglichen. Durch diese multimediale Einbindung konnte das Poster als visuelle Unterstützung zur Festigung der theoretischen und praktischen Inhalte genutzt werden.

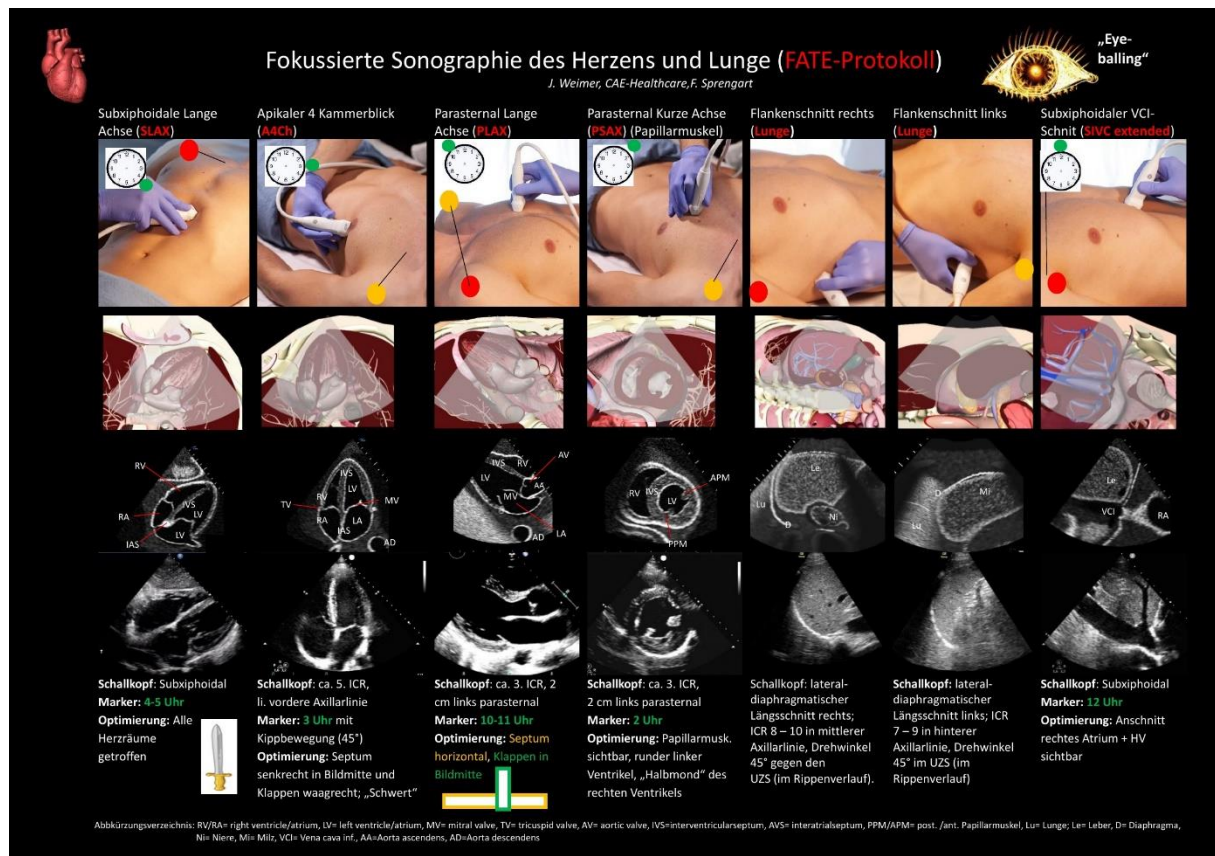


Abbildung 20: Poster zum FATE-Protokoll

3.5.3 Vorlesung zur Einführungsveranstaltung

Die Einführungsveranstaltung des Kurses wurde in Form einer Vorlesung durchgeführt, die den Teilnehmenden einen strukturierten Überblick über den Kursablauf sowie die inhaltlichen Schwerpunkte vermittelte. Die theoretische Wissensvermittlung erfolgte anhand einer Präsentation, die zentrale Themen wie die Grundlagen der Anatomie, physikalische Prinzipien der Ultraschall-Bildgebung sowie die einzelnen Schritte des FATE-Protokolls behandelte.

3.5.4 Didaktische Leitfäden und Ablaufpläne für Dozenten

Zur Sicherstellung eines einheitlichen und strukturierten Kursablaufs wurden für die Dozenten detaillierte Anleitungen und Ablaufpläne erstellt (vgl. Abbildung 21 und 22); die ausführlichen Schallanleitungen und Kursaufgaben finden sich in den Anhängen C und D. Diese dienten als didaktische Leitfäden, um eine standardisierte Wissensvermittlung und Prüfungsdurchführung im gesamten Kurs zu gewährleisten.

	Raum 1 Sim Dozent 1	Raum 2 Sim Dozent 2	Raum 3 Sim Dozent 3	Raum 4 Dozent 4	Raum 5 Dozent 5	Raum 6 Dozent 6
Praxis Station 18:00- 8:40 40 min	M 1	M 2	M 3	M 4	M 5	M 6
Praxis Station 2 8:45-9:25 40 min	M 3	M 1	M 2	M 6	M 4	M 5
Praxis Station 3 9:30-10:10 40 min	M 2	M 3	M 1	M 5	M 6	M 4
	Dozent 3	Dozent 1	Dozent 2	Dozent 6	Dozent 4	Dozent 5
DOPS 10:15-10:55 40 min	M 1 Sim DOPS + Patho	M 2 Sim DOPS + Patho	M 3 Sim DOPS + Patho	M 4 DOPS	M 5 DOPS	M 6 DOPS
DOPS 11:00-11:40 40 min	M 4 Sim DOPS + Patho	M 5 Sim DOPS + Patho	M 6 Sim DOPS + Patho	M 1 DOPS	M 2 DOPS	M 3 DOPS
→ Praxis gesamt 200min (3h 20min)						
Dozent 7 Hörsaal						
Evaluation + Posttest 11:45-12:15 30 min	Alle im HS	Alle im HS	Alle im HS	Alle im HS	Alle im HS	Alle im HS

Abbildung 21: Zeitplan der Kleingruppe M. Dargestellt sind die einzelnen Praxisstationen mit jeweils 40 Minuten Dauer, die nacheinander durchlaufen wurden. Jede Station wurde von einem Dozenten betreut (Raum 1–6). Im Anschluss erfolgten strukturierte praktische Prüfungen (DOPS) in zwei Durchgängen à 40 Minuten. Den Abschluss bildeten eine gemeinsame Evaluation sowie ein Posttest im Hörsaal. Der gleiche Zeitplan galt am darauffolgenden Kurstag für die Kleingruppe R.

Ein Übersichtsplan enthielt die Einteilung der Dozenten auf die verschiedenen Kursräume, inklusive der jeweiligen Zeitvorgaben für die einzelnen Phasen des Workshops. Darüber hinaus wurden für jede der drei praktischen Stationen spezifische Schallanweisungen formuliert, die die exakten Untersuchungsaufträge für die Teilnehmenden festlegten.

Ein weiterer zentraler Bestandteil der Anleitungen war die standardisierte Darstellung der Pathologien. Während in der Kontrollgruppe pathologische Befunde anhand von Ultraschallclips am Menschen demonstriert wurden, erfolgte in der Studiengruppe die praktische Anwendung pathologischer Fallszenarien am Simulator. Diese Vorgaben stellten sicher, dass alle Teilnehmenden unabhängig von ihrer Gruppenzuteilung vergleichbare Lerninhalte vermittelt bekamen.

Zusätzlich wurde ein Leitfaden für die Durchführung der DOPS-Prüfung bereitgestellt. Diese standardisierte Prüfungsanleitung enthielt detaillierte Vorgaben für die Beurteilung der praktischen Fertigkeiten und sollte eine einheitliche Bewertung der Teilnehmenden gewährleisten.

Durch diese detaillierten Anleitungen wurde eine methodisch konsistente und qualitativ hochwertige Schulung gewährleistet, die sowohl die Unterrichtsstruktur als auch die Prüfungsmodalitäten klar definierte.

Schallanleitungen und Kursaufgaben für den Kleingruppenunterricht am Simulator

Die Studierenden sollen nach Absolvieren der Stationen 1-3 in der Lage sein...

- ✓ die parasternal lange Achse und parasternal kurze Achse,
- ✓ den apikalen 4-Kammer Blick,
- ✓ die subxiphoidale lange Achse,
- ✓ den Flankenschnitt links und rechts und
- ✓ eine Komplettuntersuchung nach dem FATE Protokoll

... adäquat einzustellen, deren anatomischen Strukturen und die Qualitätsmerkmale der Einstellungen kennen. Desweiteren sollen die einige Pathologien inkl. der sonomorphologischen Besonderheiten erlernt werden.

Wichtige Besonderheiten am Simulator: Magen ist besonders groß dargestellt. Ggf. Strukturen ausblenden (Layout), falls erschwerte Einstellungen vorhanden sind. Besondere Schalltipps sind in den folgenden Stationsanleitungen notiert. Achte darauf, dass der Blick v.a. auf das Ultraschallbild am Simulator gerichtet ist.

Pro Station sind 8 Aufgaben hinterlegt. Bei einer Gruppenstärke von 4 Personen kann in zwei Durchgängen jede/r Teilnehmer/in zwei Aufgaben durchführen. Diese können in gleicher Reihenfolge der Teilnehmer/innen durchgeführt werden, da die Reihenfolge der Aufgaben variiert.

Landmarken der Ebeneneinstellungen und Qualitätsmerkmale

Parasternal lange Achse	Parasternal kurze Achse	Apikaler 4-Kammer Blick	Subxiphoidale lange Achse
- Der Apex sollte abgeschnitten sein! - Die Aorta descendens sollte dorsal zu sehen sein! - Mitral- und Aortenklappe sollten mittig im Bild und ca. auf einer Höhe liegen! - Die Taschen der Aortenklappe sollten symmetrisch sein! - IVS und Hinterwand des linken Ventrikels sollten horizontal im Bild liegen!	- Runder linker Ventrikel (keine „Ei-Form“)! Halbmondförmiger RV um den LV! - Beide Papillarmuskeln ohne Anteile der Mitralklappe!	- Es sollten alle vier Herzkammern dargestellt sein! - Der Apex sollte mittig oben im Bild liegen! - Das Septum sollte sich senkrecht im Bild darstellen! - Mitral- und Trikuspidalklappe sind senkrecht zum Septum! - Der LVOT sollte nicht zu sehen sein!	- Alle vier Herzkammern sollten zu sehen sein! - Die Segel der MV und TV sollten abgrenzbar sein! - Das IVS sollte sich längs im Bild befinden! - Das Diaphragma bzw. die Leber sollten Schallkopfnahe zu sehen sein!
Merke: Um verlässliche und reproduzierbare Messungen durchzuführen solltest du dich nicht mit einer schlechten Ebene zufriedengeben! Je nach Fragestellung (Perikarderguss) oder Situation (Notfall) kommt man aber natürlich nicht um Kompromisse herum!	Merke: Ein Eiförmiger linker Ventrikel entsteht durch eine falsche Haltung des Schallkopfes. Leichte Rotationsbewegungen sollten diesen Fehler korrigieren!	Merke: Beim 4-Kammer Blick ist es wichtig, darauf zu achten, dass die Ebene nicht verkürzt ist!	

Station 1: Geräteeinführung + Parasternal lange Achse + Parasternal kurze Achse

Schallanleitung

TN 1 Stelle die parasternal lange Achse ein

TN 2 Stelle die parasternal lange Achse ein, achte dabei auf eine adäquate Bildoptimierung

TN 3 Stelle die parasternal lange Achse ein, achte auf die Schallkopfhaltung und erläutere die anatomischen Strukturen

TN 4 Stelle die parasternal lange Achse ein, achte auf die Schallkopfhaltung, Bildoptimierung und erläutere die anatomischen Strukturen (1)

Tutorenhinweis

Normal patient

1. Layout → AR Only

2. Nach erfolgter Einstellung: Beam → Guide (Erläuterung der Schnitterorientierung)

3. Nach erfolgter Einstellung: Layout → split view

Normal patient zur Erläuterung der Geräteköpfe

Depth

Gain

Beam wide

Normal patient

1. Beam → Ultrasound

Erläuterung der anatomischen Strukturen (Landmarken der Ebeneneinstellung und Qualitätsmerkmale)

2. Beam → Guide zur Erklärung der Schallkopforientierung

Pathology: dilated cardiomyopathy – very severe left ventricular systolic dysfunction

1. Erläuterung der Pathologie: stillstehender linker Ventrikel, systolische Dysfunktion

2. Drehung in kurze Achse: Bildoptimierung beachten, Beam → Guide zur Orientierungserläuterung

Station 1: Geräteeinführung + Parasternal lange Achse + Parasternal kurze Achse

Schallanleitung

TN 1 Stelle die parasternal lange Achse ein. Orientiere dich am Sternumklaviculargelenk und setze den Schallkopf so auf, dass die Markierung auf die rechte Schulter (10 Uhr) zeigt. Verschiebe den Schallkopf nach kaudal, bis sich das Herz zeigt.

TN 2 Stelle die parasternal lange Achse ein, achte dabei auf eine adäquate Bildoptimierung. Orientiere dich in der Ebene und mache dir bewusst, wo sich welche Seite des Herzens im Ultraschallbild befinden.

TN 3 Stelle die parasternal lange Achse ein, achte auf die Schallkopfhaltung und erläutere die anatomischen Strukturen

TN 4 Stelle die parasternal lange Achse ein, achte auf die Schallkopfhaltung, Bildoptimierung und mache dir bewusst, welche Wandabschnitte zu sehen sind. Beurteile die Wandabschnitte nach ihrer Beweglichkeit

Tutorenhinweis

1. Erläuterung der Lagerung

2. Erläuterung der Schnitterorientierung

1. Knopfloge Erläuterungen: Depth, Gain, Fokus, Freeze

2. Schallkopfbewegungen erläutern (Kippen, Angulieren, Rotieren, Verschieben)

Erläuterung der anatomischen Strukturen (Landmarken der Ebeneneinstellung und Qualitätsmerkmale der Einstellung)

RV, LV
LA, RA
Aorta ascendens + descendens
Papillarmuskel
Interventrikularseptum

1. Erläuterung: Kippen des Schallkopfes nach kranial, bzw. kaudal verändert die Ebene: Aortenklappen-, Mitralklappen-, Papillarmuskel- oder Apexebene

2. Drehung in kurze Achse: Bildoptimierung beachten, Orientierungserläuterung

Background: Grundlagen TTE

Das TTE ist eine der wichtigsten kardiologischen Untersuchungen sowohl im klinischen Alltag als auch in Notfällen.

Diagnostik eines breiten Spektrums an kardiologischen Erkrankungen und ein Einschätzen der Pumpfunktion. (Kammergrößen, Klappenvitien, globale und lokale Bewegungseinschränkungen, systolische und diastolische Funktion LV, RV Funktion)

Beachte: Das TTE sollte immer im Zusammenhang mit der gesamten klinischen Konstellation betrachtet werden! Außerdem ist es nur ein Glied in der Kette der kardiologischen Diagnostik (MRT, TEE, Koronarangiographie, usw.)

Schallkopf: Im TTE wird der Sektorschallkopf (1-8 MHz) verwendet. Dieser bietet 2 Vorteile:

- Ideale Eindringtiefe
- Ideale Auflagefläche, um zwischen den Interkostalräumen zu schallen

Bildentstehung: Im Gegensatz zum Abdomen Ultraschall, befindet sich die Schallkopfseite mit der Markierung rechts im Bild! Dieses kleine Detail ist wichtig, um sich die Bildentstehung in den einzelnen Ebenen herzuholen. Ventrale teile werden aber auch wie im Abdomenultraschall oben im Bild und dorsale unten im Bild dargestellt.

Exkurs: Eyeballing

Beim Eyeballing konzentriert du dich auf einen Punkt **mittig im LV**, der in alle Richtungen ungefähr die **Gleiche Entfernung zum Endokard** hat. Ein Erfahrener Untersucher kann damit gleich 2 Dinge abschätzen.

1. **Wie gut bewegen** sich die einzelnen **Wandabschnitte** und liegt eine lokale Bewegungsstörung vor und 2. **Wie groß ist die EF** in etwa. Zusätzlich kann der **M-Modus** eingesetzt werden. Dadurch kann es leichter fallen die **Bewegung zu visualisieren**.

Versuche die EF in den **parasternalen kurzen Achsen** einzuschätzen und vergleiche dein Ergebnis mit den **Messungen/der Meinung** eines erfahrenen Untersuchers.

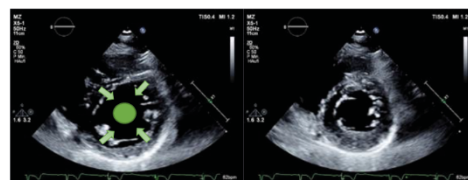


Abbildung 22: Auszug aus den Schallanleitungen für das Training am Simulator (oben) und das Training am Menschen (links unten) sowie einer allgemeinen Information über das TEE (rechts unten). Einzelne grafische Elemente basieren auf Material von CAE Healthcare und wurden mit freundlicher Genehmigung übernommen. Weitere Beispiele im **Anhang C und D**.

3.6 Beschreibung der Prüfungsformate

Zur Messung des Kompetenzzuwachses wurden verschiedene Prüfungsformate eingesetzt, die sowohl theoretische als auch praktische Fertigkeiten der Teilnehmenden bewerteten. Diese Prüfungen dienten dazu, den Lernfortschritt der Studierenden objektiv zu quantifizieren und die Effektivität der eingesetzten Lehrmethoden zu evaluieren.

Alle Prüfungsformate wurden vorab im Rahmen der Dozentenausbildung validiert, die zur Stufe 2 des beschriebenen Stufenmodells zählt. Dadurch wurde sichergestellt, dass die Prüfverfahren zuverlässig die angestrebten Kompetenzen abbildeten und eine einheitliche Bewertung gewährleistet war.

Die schriftlichen Tests zur Wissensüberprüfung orientierten sich an bereits etablierten Prüfungsformaten und waren an frühere Studien aus dem sonoforklinik-students-Projekt angelehnt. Diese Vorgehensweise ermöglichte eine methodische Vergleichbarkeit mit bestehenden Untersuchungen zur sonographischen Ausbildung und trug zur Validität der theoretischen Prüfung bei.

Durch die sorgfältige Auswahl und Validierung der Prüfungsformate wurde gewährleistet, dass die Kompetenzsteigerung der Teilnehmenden präzise erfasst und wissenschaftlich fundiert analysiert werden konnte.

3.6.1 Evaluationen

Zur detaillierten Bewertung des Workshops wurden Evaluationsfragen zu verschiedenen Themenbereichen erhoben. Diese wurden sowohl vor als auch nach dem Kurs erfasst, um Veränderungen in der Wahrnehmung der Teilnehmenden zu analysieren und den Einfluss des Lehrkonzepts auf deren Kompetenz- und Motivationsentwicklung zu messen.

Die Evaluation umfasste mehrere inhaltliche Komplexe, darunter demografische Daten wie Alter und bisherige Erfahrung im Ultraschall, die Nutzung von Simulatoren, persönliche Motivation und Erwartungen an den Kurs, definierte Lernziele sowie eine subjektive Kompetenzbewertung. Darüber hinaus wurde die Lehrveranstaltung, das eingesetzte Lehrmaterial sowie die Dozenten hinsichtlich ihrer didaktischen Qualität und Effektivität beurteilt.

Die Befragung erfolgte größtenteils mittels einer siebenstufigen Likert-Skala, bei der die Teilnehmenden ihre Zustimmung zu verschiedenen Aussagen bewerten konnten (1 = „stimme vollständig zu“, 7 = „stimme überhaupt nicht zu“). Ergänzend wurden dichotome Fragen sowie

Freitextfelder eingesetzt, um zusätzliche qualitative Rückmeldungen zu ermöglichen. Der vollständige Evaluationsfragebogen ist in Anhang E dargestellt.

Zusätzlich zur direkten Befragung wurde eine Online-Umfrage mittels eines QR-Codes bereitgestellt, über den die Teilnehmenden auf die Evaluationsfragen der ersten Stufe des verwendeten Stufenmodells zugreifen konnten. Diese digitale Erhebung diente dazu, die subjektive Einschätzung des simulationsbasierten Trainings in einem standardisierten Format zu erfassen und mit bisherigen Studienergebnissen zu vergleichen.

Durch diese mehrdimensionale Evaluation konnten sowohl die Wirksamkeit der Lehrmethode als auch die subjektiven Eindrücke und Erwartungen der Teilnehmenden detailliert analysiert werden.

3.6.2 Theoretische Wissensprüfung zur Evaluierung des Lernerfolgs

Zur objektiven Messung des theoretischen Wissensstandes wurde eine standardisierte Theorieprüfung durchgeführt, die sowohl vor als auch nach dem Kurs zur Anwendung kam. Der Prätest (T1) diente der Erfassung des Eingangsniveaus, während der Posttest (T2) zur Bewertung des individuellen Lernfortschritts eingesetzt wurde. Die maximale Punktzahl unterschied sich zwischen den beiden Prüfungen, wobei im Prätest maximal 74 Punkte erzielt werden konnten, während im Posttest bis zu 83 Punkte erreicht werden konnten. Die Erweiterung der Punktzahl im Posttest ergab sich durch die zusätzliche Überprüfung der Erkennung pathologischer Befunde (9 Punkte), die im Prätest nicht Bestandteil der Prüfung waren.

Die Theorieprüfung umfasste verschiedene Kompetenzbereiche, die sich auf zentrale Inhalte der transthorakalen Echokardiographie bezogen. Dazu gehörten anatomische Grundlagen (11 Punkte), physikalische Prinzipien der Ultraschall-Bildgebung (14 Punkte), die Identifikation von Normalbefunden durch Zuordnungsbilder (10 Punkte) sowie die Beschriftung anatomischer Strukturen in Orientierungsschnitten (50 Punkte). Während der Prätest ausschließlich diese grundlegenden Wissensbereiche abdeckte, wurde im Posttest zusätzlich die Fähigkeit zur Erkennung pathologischer Befunde geprüft (9 Punkte).

Die Prüfungsinhalte wurden unmittelbar aus den definierten Lernzielen abgeleitet, sodass sichergestellt war, dass die Testfragen gezielt die vermittelten Kenntnisse abfragten. Die Theorieprüfung setzte sich aus verschiedenen Fragetypen zusammen, darunter Beschriftungsaufgaben, Lückentexte sowie Multiple-Choice-Fragen. Um vergleichbare Bedingungen für alle Teilnehmenden zu gewährleisten, wurde für beide Tests eine Bearbeitungszeit von 25 Minuten festgelegt. Der vollständige Test ist in Anhang F dargestellt.

3.6.3 Praktische Prüfungen

Die praktischen Fertigkeiten der Teilnehmenden wurden mittels Direct Observation of Procedural Skills (DOPS) erfasst, wobei sich das Prüfungsformat an früheren Studien orientierte [107]. Die DOPS-Prüfungen wurden sowohl am Simulator (DOPS^{Sim}) als auch am Menschen (DOPS^{Human}) durchgeführt. Beide Prüfungen hatten eine Bearbeitungszeit von jeweils 10 Minuten und umfassten eine maximale Punktzahl von 78 Punkten.

Im Rahmen dieser praktischen Prüfungen wurden insgesamt sechs Standardquerschnitte des FATE-Protokolls innerhalb einer Fallstudie getestet. Die Untersuchung am Menschen erfolgte an freiwilligen Probanden, die sich aus Studierenden zusammensetzten und hinsichtlich ihres Body-Mass-Index (BMI) vergleichbare Werte aufwiesen, um eine möglichst einheitliche Untersuchungsgrundlage zu gewährleisten.

Die Bewertung der praktischen Fertigkeiten erfolgte in verschiedenen Kompetenzbereichen. Dazu zählten die Kommunikation mit dem Probanden (max. 8 Punkte), die korrekte Handhabung des Schallkopfes sowie die Bedienung des Ultraschallgeräts und die Patientenführung (max. 14 Punkte). Zusätzlich wurde die korrekte Einstellung der Positionen FATE 1–6 (max. 36 Punkte) sowie die darauf basierende Erklärung der angefertigten Bilder (max. 12 Punkte) bewertet. Die abschließende Gesamtleistung wurde mit maximal 8 Punkten in die Bewertung einbezogen.

Ergänzend zu den DOPS-Prüfungen zur Beurteilung der standardisierten Querschnitte absolvierten die Teilnehmenden eine zusätzliche praktische Prüfung zur Erkennung pathologischer Befunde (DOPS^{SimPatho}). Dabei mussten insgesamt vier Fallszenarien am Simulator bearbeitet werden, wobei die Gesamtbearbeitungszeit 10 Minuten betrug. Die Beurteilung erfolgte anhand der Kompetenzbereiche zum Einstellen der Ebenen (max. 2 Punkte), der Pathologieerkennung (max. 2 Punkte) und den Gesamteindruck (max. 8 Punkte), wodurch insgesamt maximal 48 Punkte erreicht werden konnten.

Dieses mehrdimensionale Prüfungsformat ermöglichte eine detaillierte Bewertung sowohl der praktischen Anwendung des FATE-Protokolls als auch der Fähigkeit zur Identifikation pathologischer Befunde. Die zugehörigen Prüfungsbögen sind vollständig in Anhang G abgedruckt.

3.6.4 Übersicht der Prüfungsformate

Die Übersicht der Prüfungsformate gliedert sich in drei Tabellen zur Evaluation, zur Wissensüberprüfung und zu den praktischen Prüfungen mit den Angaben Prüfungstitel, Zeitpunkt, Testformat und Testinhalt (Tabellen 4-6).

Tabelle 4: Übersicht über die Evaluationen

Prüfungstitel und Zeitpunkt	Testformat	Testinhalt
Evaluationen		
Prä-Evaluation, Präkursphase (T1)	<u>Fragentyp:</u> Skalierte Fragen: Siebenstufige Likert-Skala (1= „trifft vollständig zu“, 7= „trifft gar nicht zu“) Dichotome Fragen: z. B. „Haben Sie eine Vorausbildung im medizinischen Bereich?“ Freitextfragen: z.B. Alter, Bezeichnung des Ausbildungsberufes, Gründe für Motivation <u>Testart:</u> Papiertest	<u>Fragenkomplex 1:</u> Persönliche Daten <u>Fragenkomplex 2:</u> Persönliche Vorerfahrungen und Fertigkeiten <u>Fragenkomplex 3:</u> Ultraschallvorerfahrung <u>Fragenkomplex 4:</u> Nutzungsverhalten Simulatoren <u>Fragenkomplex 5:</u> Motivation und Erwartung an den Kurs <u>Fragenkomplex 6:</u> Persönliche Lernziele für den Kurs
Post-Evaluation, Postkursphase (T2)	<u>Testdauer:</u> 5 min <u>Korrektur / Bewertung:</u> keine, Erhebung von persönlichen Angaben und Evaluationsdaten	<u>Fragenkomplex 1:</u> Persönliche Daten <u>Fragenkomplex 2:</u> Persönliche Fertigkeiten und Lernerfahrung im Kurs <u>Fragenkomplex 3:</u> Persönliche Lernziele des Kurses <u>Fragenkomplex 4:</u> Nutzungsverhalten von Simulatoren <u>Fragenkomplex 5:</u> Motivation und Erwartung eines Kurses <u>Fragenkomplex 6:</u> Kursbewertung (Kursablauf, Kursmaterialien und Dozenten)
Online-Umfrage, Postkursphase (T2)	Siehe Kapitel 3.1.4.3	Siehe Kapitel 3.1.4.3

Tabelle 5: Übersicht über die Wissensüberprüfung

Prüfungstitel und Zeitpunkt	Testformat	Testinhalt
Wissensüberprüfung		
Prätest, Präkursphase (T1)	<u>Fragentyp:</u> Beschriftungsfragen Lückentextfragen <u>Testart:</u> Papiertest <u>Testdauer:</u> 20 min <u>Korrektur / Bewertung:</u> mittels Musterlösung,	<u>Themenkomplex 1:</u> Grundlagen: Bildentstehung und Schnittbildverständnis, Echogenität und Sonomorphologie, Schallkopf und Ultraschallmodi, Bildoptimierung <u>Themenkomplex 2:</u> Sonoanatomie und Normalbefunde: Schnittbilder des FATE-Protokolls und Beschriftungsaufgaben
Posttest, Postkursphase	pro Test max. 74 Punkte (T1), bzw. 83 Pkt. (T2)	<u>Themenkomplex 1:</u> Grundlagen:

(T2)	Übersicht der Punkteverteilung: 14 Punkte physikalische Grundlagen, 11 Punkte Normalbefunde, 10 Punkte Zuordnungsaufgaben, 50 Punkte Beschriftungsaufgaben Ergänzung um 9 Punkte im Posttest (T2) zur Erkennung von Pathologien	Bildentstehung und Schnittbildverständnis, Echogenität und Sonomorphologie, Schallkopf und Ultraschallmodi, Bildoptimierung <u>Themenkomplex 2:</u> Sonoanatomie und Normalbefunde: Schnittbilder des FATE-Protokolls und Beschriftungsaufgaben <u>Themenkomplex 3:</u> Pathologieerkennung
-------------	--	---

Tabelle 6: Übersicht über die praktischen Prüfungen

Prüfungstitel und Zeitpunkt	Testformat	Testinhalt
Praktische Prüfungen		
DOPS zum FATE-Protokoll, Präsenzkursphase	Klinischer Fall mit Untersuchungsauftrag Dozenten lesen Aufgaben vor und führen Teilnehmer durch die Prüfung <u>Testart:</u> Praktischer Test, ein Fall pro Teilnehmer am Simulator und ein Fall pro Teilnehmer am Menschen <u>Testdauer:</u> 8 min <u>Korrektur / Bewertung:</u> Durch Dozenten anhand eines Handlungsleitfadens Bewertungskategorien: Patientenführung / Kommunikation (8 Punkte), korrektes Einstellen der sechs FATE-Schnitte (je 8 Punkte), Gesamteindruck der Prüfung (22 Punkte, zusammengesetzt aus: Orientierung, Positionierung, Ankopplung/Schallkopfhandling, Adäquate Bildvergrößerung, Atemkommando, Lagerung, Untersuchungstempo/Zeit) <u>Gesamtpunktzahl:</u> 78 Punkte	<u>Fallvignette:</u> Patientin mit Luftnot und Thoraxschmerz wird in Notfallambulanz eingewiesen, es soll nach der EKG-Diagnostik eine fokussierte Herzultraschalluntersuchung zur weiteren Einschätzung durchgeführt werden
DOPS zur Pathologieerkennung, Präsenzkursphase	Dozenten stellen verblindete Pathologie am Ultraschallsimulator ein und lesen anschließend eine Aufgabe für den Teilnehmer vor <u>Testart:</u> Praktischer Test, vier Pathologien pro Teilnehmer ausschließlich am Simulator <u>Testdauer:</u> 10 min <u>Korrektur / Bewertung:</u> Durch Dozenten anhand eines Handlungsleitfadens Bewertungskategorien:	<u>Verwendete klinische Beispiele:</u> Dilatative Kardiomyopathie Pulmonale Hypertonie Herzbeuteltamponade Pleuraler Erguss links

	Einstellen der Ebene (2 Punkte), Erkennen der Pathologie (2 Punkte), Bewertung des Untersuchungsablaufs (8 Punkte), Gesamtpunktzahl pro Pathologie: 12 Punkte <u>Gesamtpunktzahl</u> für vier Pathologiefälle: 48 Punkte	
--	--	--

3.7 Dateneingabe und -auswertung

Die erhobenen Daten aus den Evaluationen, den theoretischen Prüfungen sowie den praktischen DOPS-Prüfungen wurden manuell in Microsoft Excel eingegeben und für die anschließende statistische Analyse aufbereitet. Die Analyse erfolgte durch einen erfahrenen Statistiker unter Anwendung geeigneter statistischer Verfahren.

Für die Auswertung wurden unterschiedliche statistische Berechnungsmethoden eingesetzt. Binäre und kategoriale Daten wurden als absolute Zahlen und Prozentsätze dargestellt. Kontinuierliche Daten wurden je nach Verteilungseigenschaften entweder als Median mit Interquartilsbereich (IQR) oder als Mittelwert (MW) mit Standardabweichung (SD) angegeben.

Zum Vergleich kategorialer Daten wurde der exakte Test nach Fisher verwendet. Kontinuierliche Daten wurden mithilfe des Mann-Whitney-Tests analysiert. Darüber hinaus wurde der Mann-Whitney-Test gezielt eingesetzt, um den Einfluss einzelner Faktoren auf die theoretischen und praktischen Prüfungsergebnisse zu untersuchen.

Korrelationseffekte wurden anhand paarweiser Korrelationen metrischer Variablen berechnet. Zusätzlich erfolgte eine multivariable lineare Regressionsanalyse, um den Einfluss spezifischer Faktoren auf die Studienergebnisse systematisch zu prüfen und potenzielle Zusammenhänge zu identifizieren.

Durch die detaillierte Planung, die standardisierte Durchführung des Workshops sowie die systematische Erfassung und Auswertung der erhobenen Daten konnte eine fundierte Grundlage für die Analyse der Trainingseffektivität geschaffen werden. Im folgenden Kapitel werden die Ergebnisse der theoretischen und praktischen Prüfungen sowie die Evaluation der Lehrmethoden dargestellt und hinsichtlich des Lernzuwachses und der Akzeptanz des simulationsbasierten Trainings analysiert.

4 Ergebnisse

4.1 Erste Stufe des Stufenmodells: Online-Umfrage zum Thema simulationsbasiertes Training in der Medizin

4.1.1 Beschreibung der Daten

Die Daten wurden digital mithilfe eines Online-Fragebogens (SoSci) erhoben und anschließend zur weiteren statistischen Analyse nach Excel exportiert. Nach der Bereinigung wurden die Daten in RStudio (Version 4.0.3) importiert. Zur Bestimmung der Hauptskalenwerte wurde der Mittelwert der Unterskalenwerte für jedes aufgeführte Thema berechnet und daraus ein Gesamtwert der Hauptskalenwerte ermittelt. Die interne Konsistenz der Skalen wurde mithilfe von Cronbachs Alpha überprüft. Die Zuverlässigkeitstests zeigten gemäß Cronbachs Alpha, dass die interne Konsistenz der Skalen mit Werten zwischen 0,8 und 0,91 stabil und ohne wesentliche Schwankungen war. Eine strukturierte Übersicht der erhobenen Themenbereiche, Unterpunkte und Skalentypen ist in Anhang H, Tabelle H.1 dargestellt.

Es wurden deskriptive und explorative statistische Analysen durchgeführt. Die Normalverteilung von Intervallskalen wurde mit dem Shapiro-Wilk-Test geprüft. Für normalverteilte Skalen wurde der Welch-t-Test für zwei Stichproben verwendet, während bei nicht normalverteilten Skalen der nichtparametrische Wilcoxon-Mann-Whitney-Test zum Einsatz kam. Zur Analyse der Unterschiede innerhalb der verschiedenen Kursmodelle wurden Post-hoc-Tests durchgeführt. Die Auswertung der Unterschiede erfolgte mithilfe einer einfaktoriellen ANOVA (Analysis of Variance / Varianzanalyse) und paarweisen t-Tests, wobei Korrekturen für Mehrfachtests gemäß Bonferroni vorgenommen wurden. p-Werte unter 0,05 wurden als statistisch signifikant betrachtet.

4.1.2 Studienpopulation

Die Analyse umfasste die Bewertungen von 343 Teilnehmenden. Die Studienpopulation bestand aus 154 Medizinstudierenden im dritten Jahr (erstes klinisches Semester), 97 Studierenden im praktischen Jahr (sechstes Jahr) und 92 Ärzten aus verschiedenen Fachrichtungen, darunter Innere Medizin, Allgemeinmedizin, Radiologie, Chirurgie, Anästhesiologie und Neurologie. Die demografischen Daten sind in Tabelle 7 dargestellt.

Tabelle 7: Demografische Daten

Gruppe	Medizinstudierende im klinischen Abschnitt (n = 154)	Studierende im praktischen Jahr (n = 97)	Ärzte (n = 92)	p-Wert
	n (%)	n (%)	n (%)	
Geschlecht				0,04
Weiblich	89 (58)	49 (51)	43 (47)	
Männlich	48 (31)	43 (44)	45 (49)	
Nicht angegeben	17 (11)	5 (5)	4 (4)	
Vorausbildung im Rettungsdienst				p < 0,01

Ja	21 (14)	24 (25)	5 (5)	p < 0,01
Nein	133 (86)	73 (75)	87 (95)	
Nicht angegeben	0 (0)	0 (0)	0 (0)	
Nutzungsdauer eines Simulators				
<1 h/Monat	0 (0)	0 (0)	4 (4)	
>6 h/ Monat	11 (7)	3 (3)	2 (2)	
1 h/ Monat	29 (19)	27 (28)	13 (14)	
2–5 h/ Monat	17 (11)	6 (6)	1 (1)	
Nicht angegeben	97 (63)	61 (63)	72 (79)	

4.1.3 Studienergebnisse: Erfahrungen mit simulationsbasiertem Training

4.1.3.1 Erfahrung mit simulationsbasiertem Training und dessen Anwendung im Unterricht

Die Mehrheit der Befragten hatte bereits Erfahrung mit simulationsbasiertem Training (vgl. Tabelle 8), insbesondere durch ihre eigene Teilnahme ($p = 0,04$). Nur ein kleiner Prozentsatz war als Dozent tätig ($p = 0,45$). Während 96 % der Ärzte im Rahmen ihrer vorherigen Ausbildung auf ein solches Training gestoßen waren, traf dies auf signifikant weniger Studierende zu ($p < 0,01$).

Es wurden signifikante Unterschiede in der Nutzung simulationsbasierter Trainings in den Bereichen Atemwegsmanagement, Ultraschalldiagnostik, Gynäkologie und Notfallmedizin festgestellt. 56 % der Studierenden im praktischen Jahr (PJ) nutzten Simulatoren für das Atemwegsmanagement, im Vergleich zu nur 18 % der Studierenden im dritten Jahr und 16 % der Ärzte ($p < 0,01$). Ein ähnlicher Trend zeigte sich in der Notfallmedizin ($p < 0,01$).

In der Gynäkologie lag die Nutzungsrate bei 19 % unter den PJ-Studierenden, während nur 1 % der Studierenden im dritten Jahr und 2 % der Ärzte Simulatoren in diesem Bereich nutzten ($p < 0,01$). Ultraschalldiagnostik wurde von 35 % der PJ-Studierenden genutzt, verglichen mit 12 % der Studierenden im dritten Jahr und 8 % der Ärzte ($p < 0,01$).

Sowohl in der Pädiatrie als auch in anderen Fachbereichen wurde simulationsbasiertes Training nur selten eingesetzt; signifikante Gruppenunterschiede ließen sich hierbei nicht feststellen ($p = 0,14$).

Tabelle 8: Kontakt mit simulationsbasiertem Training und Einsatzgebiete

Gruppe	Studierende im dritten Jahr (n=154)	PJ-Studierende (n=97)	Ärzte (n=92)	p-Wert
Kontakt als Teilnehmer (Ja/Nein/Keine Angabe)	58% / 36% / 6%	77% / 23% / 0%	66% / 34% / 0%	0,04
Kontakt als Instruktor (Ja/Nein/Keine Angabe)	5% / 89% / 6%	6% / 94% / 0%	9% / 88% / 3%	0,45
Kontakt in vorangegangener Ausbildung (Ja/Nein/Keine Angabe)	79% / 21% / 0%	71% / 29% / 0%	96% / 4% / 0%	<0,01
Kontakt in anderen Bereichen (Ja/Nein/Keine Angabe)	95% / 5% / 0%	97% / 3% / 0%	90% / 10% / 0%	0,10

4.1.3.2 Dozenten und Bewertung des Lernerfolgs an Simulatoren und Ausbau von Simulationszentren

Auf die Frage nach den Dozenten für simulationsbasiertes Training gaben 64 % der PJ-Studierenden und 42 % der Studierenden im dritten Jahr an, dass diese Rolle von Mitstudierenden übernommen wurde, im Vergleich zu nur 13 % der Ärzte ($p < 0,01$); vgl. Tabelle 9.

Ärzte wurden von 62 % der PJ-Studierenden und 27 % der Studierenden im dritten Jahr sowie von den Ärzten selbst als Dozenten genannt ($p < 0,01$).

Externe Ausbilder wurden nur von einer Minderheit genannt (15 % der PJ-Studierenden, 8 % der Studierenden im dritten Jahr und 2 % der Ärzte, $p = 0,01$). Notfallmediziner wurden von 25 % der PJ-Studierenden und 16 % der Studierenden im dritten Jahr, jedoch nur von 9 % der Ärzte als Ausbilder genannt ($p = 0,02$). Das Fehlen von Dozenten wurde lediglich von 1 % der PJ-Studierenden und 3 % der Ärzte berichtet ($p = 0,07$).

Hinsichtlich der Bewertung des Lernerfolgs berichteten 55 % der PJ-Studierenden, 32 % der Studierenden im dritten Jahr und 34 % der Ärzte, dass keine formale Bewertung stattfand ($p < 0,01$). Praktische Prüfungen als Bewertungsmethode wurden von 27 % der PJ-Studierenden, 37 % der Studierenden im dritten Jahr und nur 10 % der Ärzte genannt ($p < 0,01$).

Schriftliche Tests zur Bewertung des Lernerfolgs wurden nur von wenigen Befragten erwähnt (11 % der PJ-Studierenden, 7 % der Studierenden im dritten Jahr und 2 % der Ärzte, $p = 0,06$).

In den letzten fünf Jahren berichteten 23 % der Studierenden im dritten Jahr und 32 % der PJ-Studierenden von einem Ausbau der Simulationszentren an ihren Institutionen. Im Vergleich dazu berichteten nur 7 % der Ärzte davon ($p < 0,01$).

Tabelle 9: Instruktoren, Bewertung des Lernerfolgs und Ausbau von Simulationszentren

Gruppe	Studierende im dritten Jahr (n=154)	PJ-Studierende (n=97)	Ärzte (n=92)	p-Wert
Studierende als Instruktoren (Ja/Nein/Keine Angabe)	42% / 46% / 12%	64% / 28% / 8%	13% / 75% / 12%	< 0,01
Ärzte als Instruktoren (Ja/Nein/Keine Angabe)	27% / 62% / 11%	62% / 30% / 8%	27% / 61% / 12%	< 0,01
Externe Partner als Instruktoren (Ja/Nein/Keine Angabe)	8% / 80% / 12%	15% / 76% / 9%	2% / 86% / 12%	< 0,01
Rettungsdienstpersonal als Instruktoren (Ja/Nein/Keine Angabe)	16% / 73% / 11%	25% / 67% / 8%	9% / 79% / 12%	0,02

4.1.3.3 *Integration in die Pflichtausbildung und spezifische Inhalte durch simulationsbasiertes Training*

Die Einschätzung der Integration von simulationsbasiertem Training in die Pflichtausbildung variierte erheblich: 48 % der PJ-Studierenden berichteten von einer solchen Integration, verglichen mit nur 25 % der Studierenden im dritten Jahr und 14 % der Ärzte ($p < 0,01$). Ein erheblicher Anteil der Ärzte (34 %) gab an, dass in ihrer Ausbildung kein simulationsbasiertes Training stattfindet ($p < 0,01$).

Im vorklinischen Bereich fiel die Inanspruchnahme simulationsbasierten Trainings gering aus (2–10 % der Befragten, $p < 0,01$). Im klinischen Abschnitt des Medizinstudiums hingegen wurde ein deutlich höherer Einsatz berichtet (von 56 % der Studierenden im dritten Jahr bis zu 75 % der PJ-Studierenden, $p < 0,01$). Unter den Ärzten in der Facharztausbildung gaben lediglich 18 % an, entsprechende Trainingsformate genutzt zu haben – im Vergleich zu 7 % der PJ-Studierenden ($p < 0,01$).

Weiterbildungskurse beinhalteten simulationsbasiertes Training für 27 % der PJ-Studierenden und 22 % der Ärzte. Die Nutzung von Training außerhalb des Medizinstudiums wurde nur von 2 % der Ärzte, jedoch von 11 % der Studierenden im dritten Jahr und 18 % der PJ-Studierenden berichtet.

Die Befragten äußerten einen Bedarf an der Nutzung von Ultraschallsimulatoren in gynäkologischen (7 % der Studierenden im dritten Jahr bis 37 % der PJ-Studierenden, $p < 0,01$), anästhesiologischen, chirurgischen und internistischen Inhalten ($p < 0,01$). Ein besonderes Interesse bestand an simulationsbasiertem Training in der Inneren Medizin (54 % der Studierenden im dritten Jahr und PJ-Studierenden), vgl. Anhang H, Tabelle H.2.

Die Befragten bewerteten simulationsbasiertes Training im Medizinstudium und in der Facharztausbildung insgesamt positiv. Die Bewertungen lagen bei bis zu 6,58 (PJ-Studierende) für das Medizinstudium (Abbildung 23B) und 6,07 (Ärzte) für die Facharztausbildung (Abbildung 23C). Der Wunsch nach mehr Training (Abbildung 23D) und nach einem Ausbau der Simulationszentren war mit Werten von bis zu 6,6 für mehr Training und 6,1 für den Ausbau (Abbildung 23E) deutlich erkennbar.

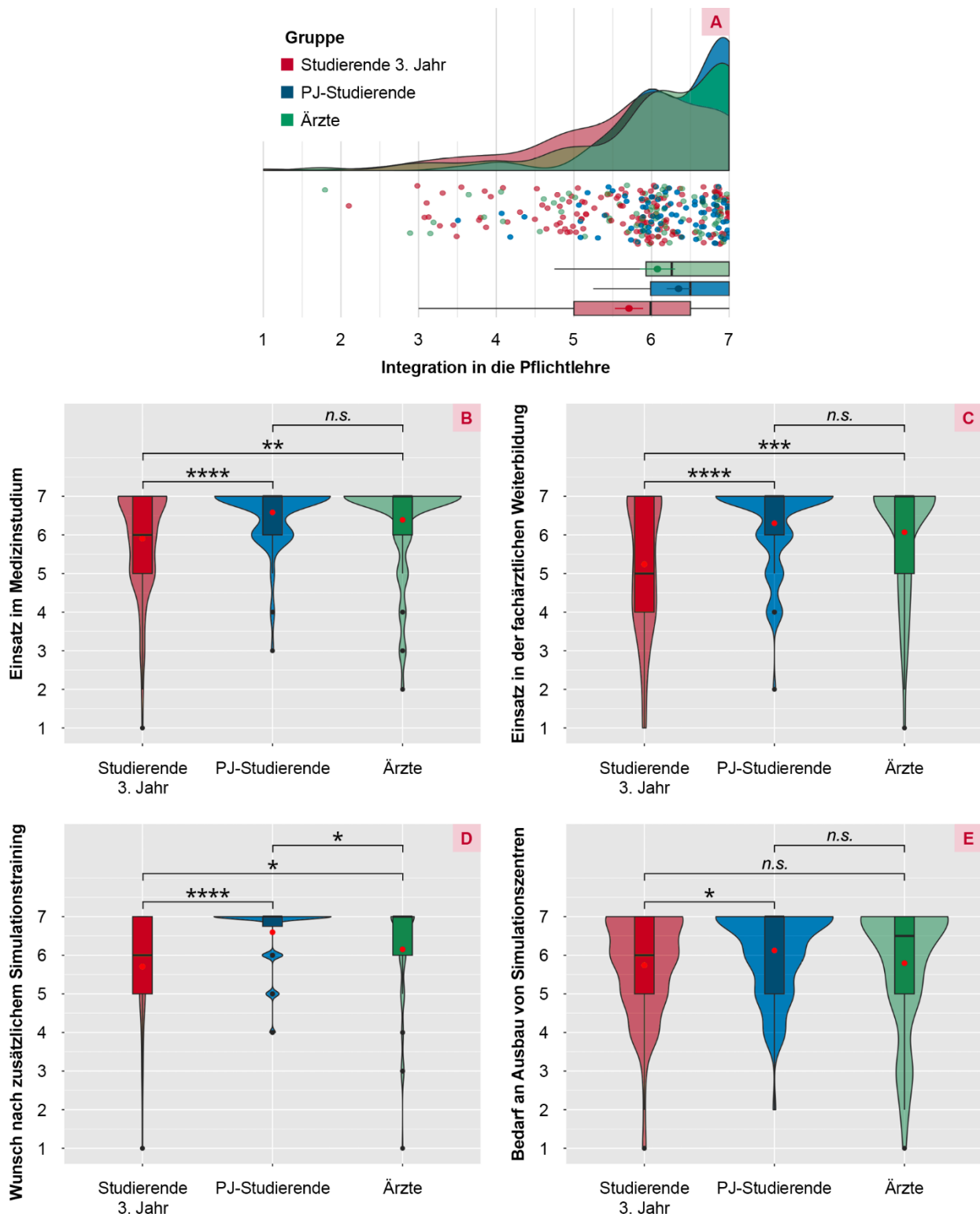


Abbildung 23: (A) Rain-Plot der mittleren Unterskalenbewertungen in der Kategorie „Integration in die Pflichtlehre“ auf einer Likert-Skala (1–7). (B) Der Violin-Plot zeigt die Verteilung der Bewertungen für die Unterskala „hohe Anschaffungskosten“ für Studierende im dritten Jahr (rot), PJ-Studierende (blau) und Ärzte (grün). (B-E) Der Violin-Plot zeigt die Verteilung der Bewertungen für die Unterskala „fehlende Einführung in die Nutzung des Simulators“ für Studierende im dritten Jahr (rot), PJ-Studierende (blau) und Ärzte (grün). Die p-Werte als Ergebnisse der Post-hoc-Tests nach Vergleich der einzelnen Gruppen sind oberhalb der Klammern mit den entsprechenden Sternchen angegeben (* $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$, **** $p < 0,0001$, n.s. = nicht signifikant).

4.1.3.4 Wahrgenommene Vorteile und Herausforderungen des simulationsbasierten Trainings

Die Umfrage zeigte, dass 64 % der Studierenden im dritten Jahr und 84 % der PJ-Studierenden simulationsbasiertes Training hauptsächlich zu Ausbildungszwecken nutzen, im Gegensatz zu nur 41 % der Ärzte, von denen 47 % diese Nutzung verneinten ($p < 0,01$). Die meisten Studierenden betrachteten das Training als eine Möglichkeit, praktische Fähigkeiten zu verbessern (56 % der Studierenden im dritten Jahr und 77 % der PJ-Studierenden gegenüber 41 % der Ärzte, $p < 0,01$).

Der didaktische Mehrwert und der innovative Charakter simulationsbasierter Trainings wurden von den Befragten überwiegend nachrangig bewertet ($p < 0,01$); auch das Argument einer Zusammenarbeit mit externen Partnern spielte eine untergeordnete Rolle ($p = 0,13$), vgl. Anhang H, Tabelle H.3.

Bei der Bewertung der Trainingseffektivität berichteten alle Gruppen von einer Verbesserung der praktischen Fähigkeiten und der Umsetzung theoretischen Wissens in die Praxis. Die Medianwerte lagen zwischen 4,79 (Studierende im dritten Jahr) und 6,49 (PJ-Studierende) für praktische Fähigkeiten (Abbildung 24B) und zwischen 5,86 (Studierende im dritten Jahr) und 6,19 (Ärzte) für die Umsetzung theoretischen Wissens in die Praxis (Abbildung 24C).

Auch die Vertiefung des theoretischen Verständnisses (Abbildung 24D), die Festigung des vorhandenen Wissens (Abbildung 24E), die Förderung des selbstständigen Lernens (Abbildung 24F) und die Verbesserung der Motivation und der Lernerfahrung (Abbildung 24G) sowie der Beitrag zur Verbesserung der Patientensicherheit (Abbildung 24H) erhielten durchweg hohe Bewertungen, wobei PJ-Studierende und Ärzte in einigen Bereichen signifikant höhere Werte erzielten (vgl. Abbildung 24).

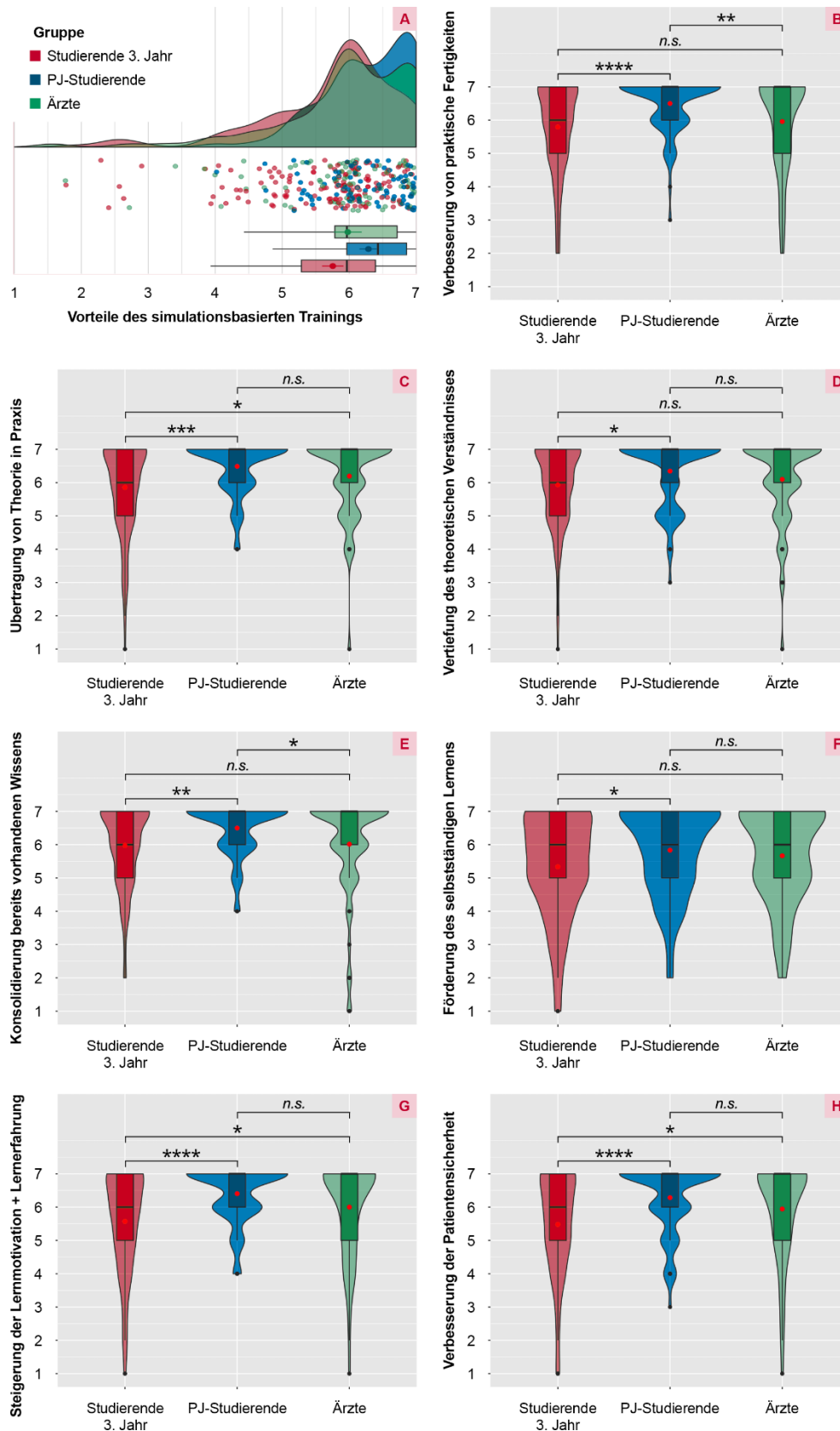


Abbildung 24: (A) Rain-Plot der mittleren Unterskalenbewertungen für das Hauptmerkmal „Vorteile des simulationsbasierten Trainings“ auf einer Likert-Skala (1–7). Die Verteilungen für Studierende im dritten Jahr (rot), PJ-Studierende (blau) und Ärzte (grün) sind durch Dichtekurven dargestellt, wobei die einzelnen Bewertungspunkte als Streuung unterhalb dieser Kurven angezeigt werden. Vertikale Linien innerhalb jeder Farbgruppe zeigen den Median und die Quartile an. (B-H) Violin-Plots, welche die Verteilung der Unterskalenbewertungen auf einer Likert-Skala für Studierende im dritten Jahr (rot), PJ-Studierende (blau) und Ärzte (grün) darstellen. Die p-Werte als Ergebnisse der Post-hoc-Tests nach Vergleich der einzelnen Gruppen sind oberhalb der Klammern mit den entsprechenden Sternchen angegeben (* $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$, **** $p < 0,0001$, n.s. = nicht signifikant).

Wie in Abbildung 25B dargestellt, wurde die Qualität des simulationsbasierten Trainings von allen Gruppen durchweg als zentraler Faktor für ein effektives Lernen eingeschätzt – mit Punktwerten ab 5 aufwärts. Die Unterstützung durch professionelle Dozierende wurde im Mittel mit 4,92 bis 5,38 bewertet (Abbildung 25C).

Zusätzliche Lernressourcen schnitten etwas besser ab und lagen durchschnittlich zwischen 5,42 und 5,73, ohne signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen (Abbildung 25D). Der Aspekt des Realismus erzielte Werte zwischen 5,4 und 6,11, wobei PJ-Studierende und Ärzten signifikant höhere Einschätzungen abgaben als Studierende im dritten Jahr (Abbildung 25E).

Die Einfachheit der Handhabung bzw. Anwendungsfreundlichkeit (Abbildung 25F) sowie die wahrgenommene Lernkurve wurden über alle Gruppen hinweg ähnlich eingestuft, mit Mittelwerten zwischen 4,68 und 5,08. Dennoch bewerteten PJ-Studierende diese beiden Kriterien signifikant positiver als die Studierenden im dritten Jahr (Abbildung 25G).

Das Kriterium der Übertragbarkeit auf die klinische Praxis fand in allen Gruppen breite Zustimmung; PJ-Studierende und Ärzte vergaben hier signifikant höhere Werte als Studierende im dritten Jahr (Abbildung 25H).

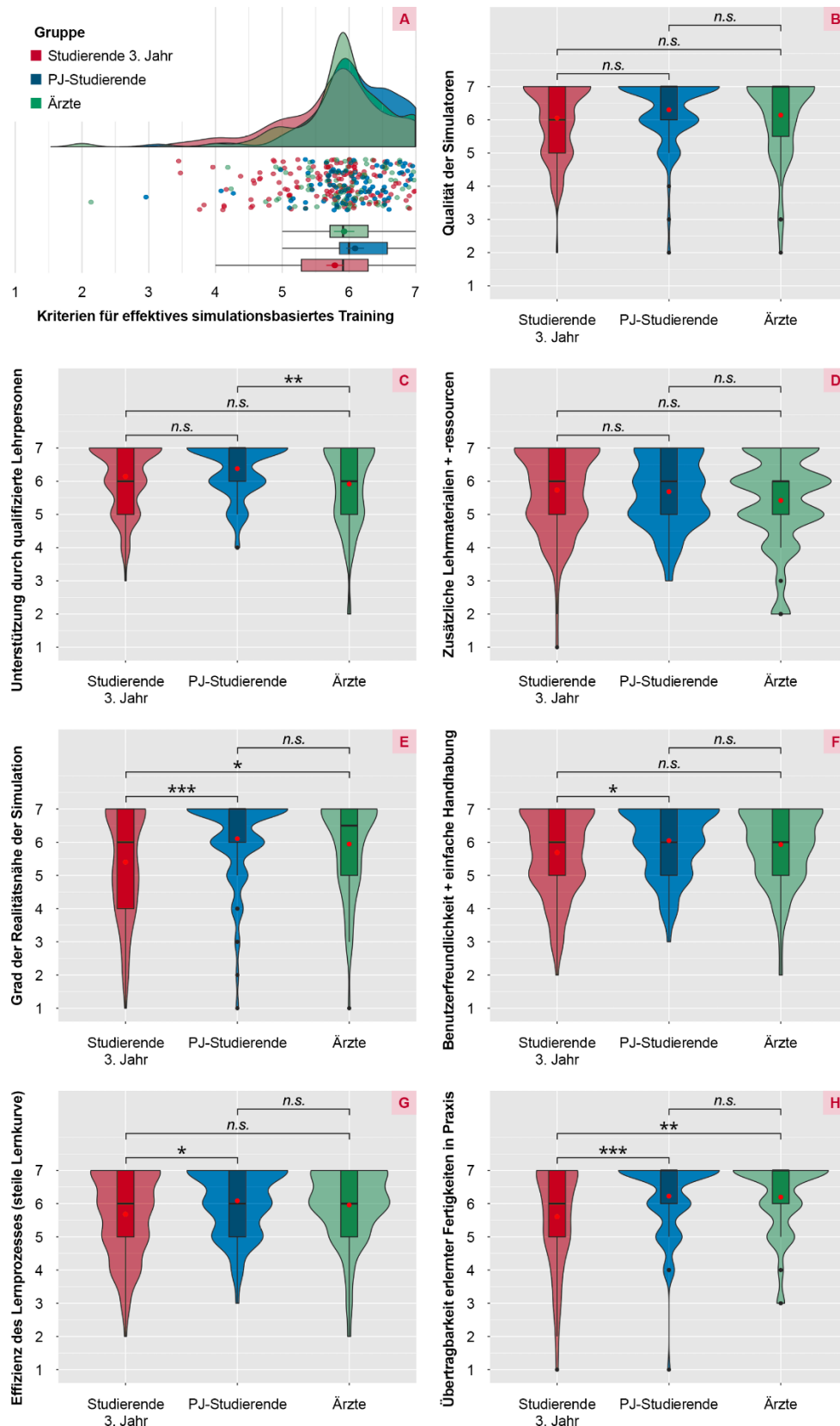


Abbildung 25: (A) Rain-Plot der mittleren Unterskalenbewertungen für das Hauptmerkmal „Kriterien für effektives simulationsbasiertes Training“ auf einer Likert-Skala (1–7). Die Verteilungen für Studierende im dritten Jahr (rot), PJ-Studierende (blau) und Ärzte (grün) sind durch Dichtekurven dargestellt, wobei die einzelnen Bewertungspunkte als Streuung unterhalb dieser Kurven angezeigt werden. Vertikale Linien innerhalb jeder Farbgruppe zeigen den Median und die Quartile an. (B–H) Violin-Plots, welche die Verteilung der Unterskalenbewertungen auf einer Likert-Skala für Studierende im dritten Jahr (rot), PJ-Studierende (blau) und Ärzte (grün) darstellen. Die p-Werte als Ergebnisse der Post-hoc-Tests nach Vergleich der einzelnen Gruppen sind oberhalb der Klammern mit den entsprechenden Sternchen angegeben (* $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$, **** $p < 0,0001$, n.s. = nicht signifikant).

4.1.3.5 Herausforderungen, Einschränkungen und Gründe gegen die Nutzung von simulationsbasiertem Training

Bezüglich der Herausforderungen beim simulationsbasierten Training nannten 38 % der Studierenden im dritten Jahr, 47 % der PJ-Studierenden und 49 % der Ärzte begrenzte Budgets als zentrales Problem, ohne signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen ($p = 0,19$). Die hohen Anschaffungskosten wurden insbesondere von den Studierenden im dritten Jahr als wesentliche Schwäche wahrgenommen (durchschnittliche Bewertung von 4,13). PJ-Studierende und Ärzte bewerteten diesen Aspekt weniger kritisch, mit Durchschnittswerten von 3,8 bzw. 3,77 (Abbildung 26B).

Der Mangel an Einrichtungen oder Lehrpersonal wurde in allen Gruppen ähnlich bewertet ($p = 0,07$ bzw. $p = 0,09$). Die Notwendigkeit einer umfassenden Einführung in die Nutzung von simulationsbasiertem Training wurde in allen Gruppen als ein potenzieller Verbesserungsbereich angesehen (Abbildung 26C).

Allerdings zeigten sich signifikante Unterschiede bei der Betrachtung des Fehlens von Lehrkonzepten oder Zuständigkeiten als Hindernisse ($p < 0,01$ bzw. $p = 0,02$), wobei Ärzte diese Punkte häufig als Gründe gegen die Nutzung von Simulatoren nannten (vgl. Anhang H, Tabelle H.4).

Trotz dieser Hindernisse betonten die Befragten, dass keiner dieser Faktoren grundsätzlich gegen die Nutzung von Simulatoren spricht.

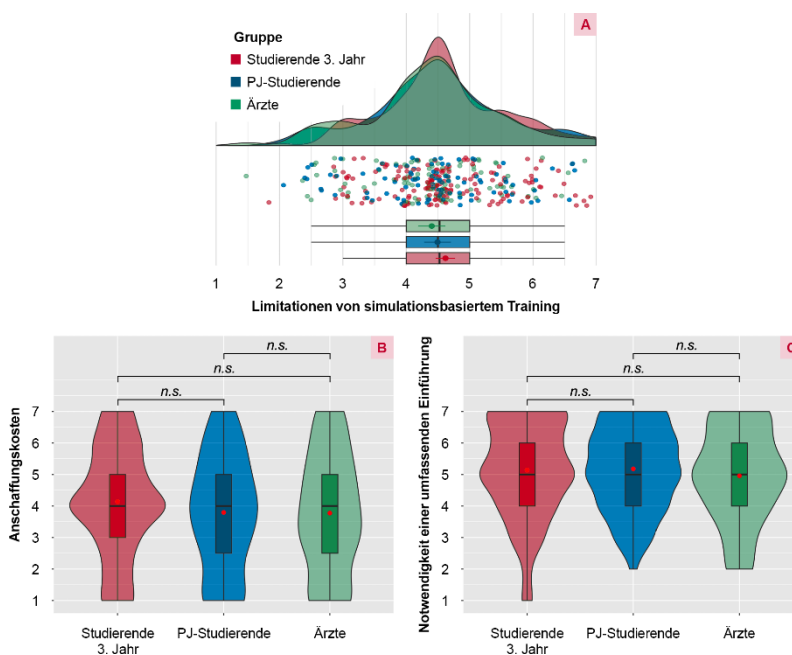


Abbildung 26: (A) Rain-Plot der mittleren Unterskalenbewertungen für das Hauptmerkmal „Limitationen von simulationsbasiertem Training“ auf einer Likert-Skala (1–7). Die Verteilungen für Studierende im dritten Jahr (rot), PJ-Studierende (blau) und Ärzte (grün) sind durch Dichtekurven dargestellt, wobei die einzelnen Bewertungspunkte als Streuung unterhalb dieser Kurven angezeigt werden. Vertikale Linien innerhalb jeder Farbgruppe zeigen den Median und die Quartile an. (B-C) Violin-Plots, welche die Verteilung der Unterskalenbewertungen auf einer Likert-Skala für Studierende im dritten Jahr (rot), PJ-Studierende (blau) und Ärzte (grün) darstellen. Die p-Werte als Ergebnisse der Post-hoc-Tests nach Vergleich der einzelnen Gruppen sind oberhalb der

Klammern mit den entsprechenden Sternchen angegeben (* $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$, n.s. = nicht signifikant).

4.1.3.6 Kontakt mit Ultraschallsimulatoren und Bedarf an der Nutzung von Ultraschallsimulatoren in spezifischen Fachbereichen

Etwa 62 % der Studierenden im dritten Jahr und 61 % der PJ-Studierenden und der Ärzte berichteten, bereits Kontakt mit Ultraschallsimulatoren gehabt zu haben ($p = 0,24$). Die Umfrage ergab jedoch, dass die Erfahrung mit dem im Kurs verwendeten speziellen Ultraschallsimulator in allen Gruppen im einstelligen Prozentbereich lag ($p = 0,32$).

Bei der Nachfrage nach Ultraschallsimulatoren in spezifischen Fachbereichen wurden signifikante Unterschiede festgestellt, insbesondere bei der Nutzung in der Gynäkologie. Hier äußerten die meisten Studierenden beider Gruppen den Wunsch nach einer verstärkten Nutzung, während nur 27 % der Ärzte diese Idee unterstützten und 52 % sie ablehnten ($p < 0,01$).

Ein ähnliches Bild zeigte sich hinsichtlich der Nachfrage nach ihrem Einsatz bei Gefäßpunktionen ($p < 0,01$). Die Nachfrage nach ihrem Einsatz in der Darmsonographie war in allen Gruppen gering ($p = 0,85$).

Im Gegensatz dazu äußerte die Mehrheit der Befragten in allen Gruppen eine Nachfrage nach der Nutzung in der Abdomensonographie ($p = 0,01$), der Notfallsonographie ($p < 0,01$) und der Echokardiographie ($p = 0,19$), vgl. Tabelle 10.

Tabelle 10: Integration in die Pflichtausbildung und vermittelte Inhalte

Kategorie	Studierende im dritten Jahr (n=154)	PJ-Studierende (n=97)	Ärzte (n=92)	p-Wert
Integration in Pflichtausbildung	25%	48%	14%	< 0,001
Keine Nutzung in Ausbildung	10%	5%	34%	< 0,001
Verwendung in vorklinischer Phase	2%	8%	10%	< 0,001
Verwendung in klinischer Phase	56%	75%	28%	< 0,001
Verwendung in Facharztausbildung	4%	7%	18%	< 0,001

4.1.3.7 Bewertung des Ultraschallsimulator-Trainings und Bewertung des verwendeten Ultraschallsimulators

Die Bewertung des Ultraschallsimulator-Trainings und des verwendeten Simulators zeigte, dass alle Befragtengruppen das Pathologie-Training für die klinische Praxis mit Durchschnittswerten von 6,31 (Ärzte) bis 6,54 (PJ-Studierende) hoch einschätzten (Abbildung 27B).

Die Ansicht, dass das Training mit dem Ultraschallsimulator allein ausreicht, um Untersuchungstechniken zu erlernen (Abbildung 27C), fand in keiner Gruppe nennenswerte Unterstützung. Die Durchschnittswerte lagen zwischen 2,17 und 2,69.

Hinsichtlich der Vertiefung des theoretischen Verständnisses zeigten sich in allen Gruppen nur niedrige Zustimmungswerte (Abbildung 27D).

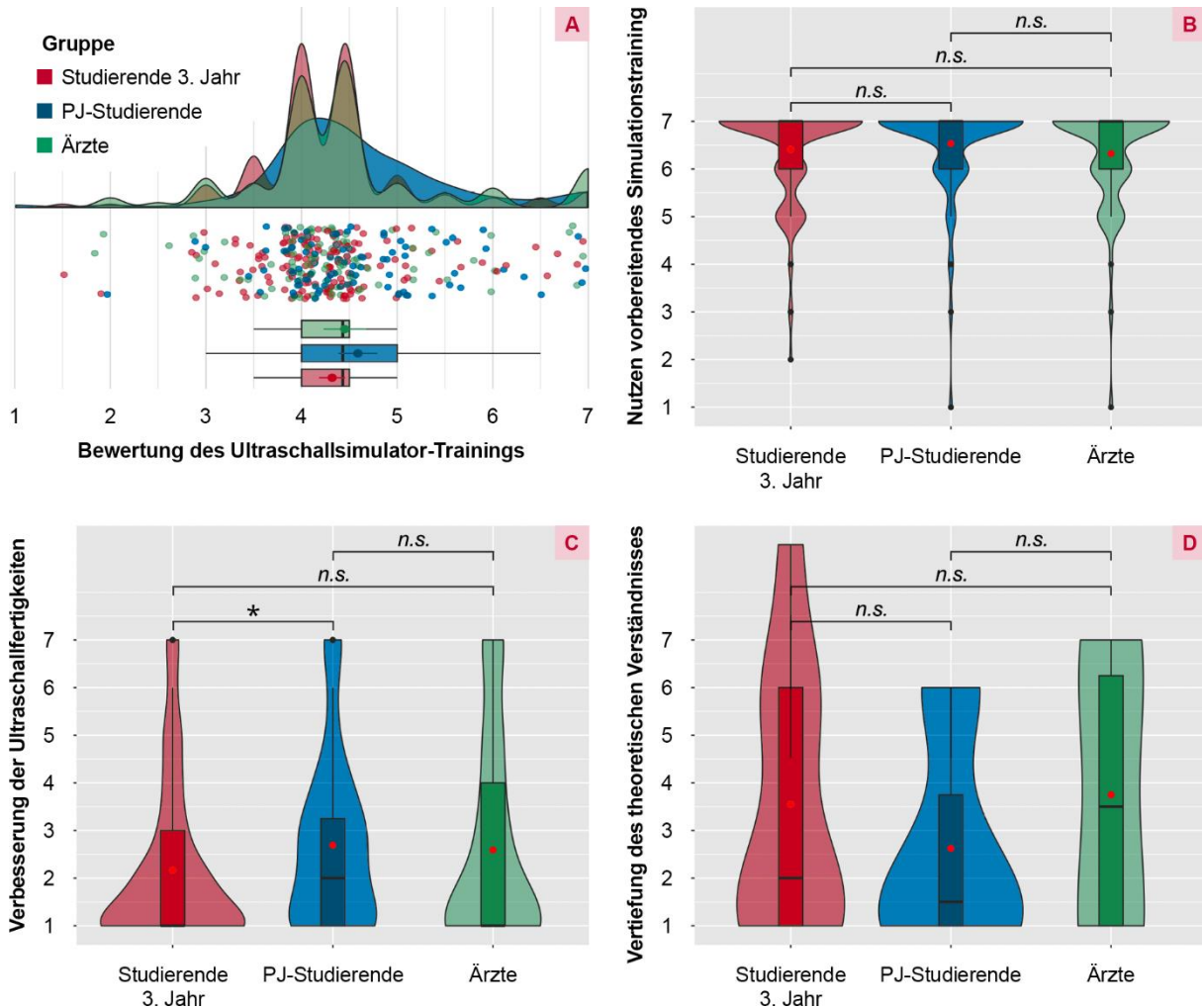


Abbildung 27: (A) Rain-Plot der mittleren Unterskalenbewertungen für das Hauptmerkmal „Bewertung des Ultraschallsimulator-Trainings“ auf einer Likert-Skala (1–7). Die Verteilungen für Studierende im dritten Jahr (rot), PJ-Studierende (blau) und Ärzte (grün) sind durch Dichtekurven dargestellt, wobei die einzelnen Bewertungspunkte als Streuung unterhalb dieser Kurven angezeigt werden. Vertikale Linien innerhalb jeder Farbgruppe zeigen den Median und die Quartile an. (B) Der Violin-Plot zeigt die Verteilung der Bewertungen für die Unterskala „Wert des Pathologie-Trainings“ auf einer Likert-Skala für Studierende im dritten Jahr (rot), PJ-Studierende (blau) und Ärzte (grün). (C) Der Violin-Plot, der die Verteilung der Bewertungen für die Unterskala „Eignung von simulationsbasiertem Ultraschall-Training (SBUT) für Ultraschallfähigkeiten“ auf einer Likert-Skala für Studierende im dritten Jahr (rot), PJ-Studierende (blau) und Ärzte (grün) zeigt. (D) Der Violin-Plot zeigt die Verteilung der Bewertungen für die Unterskala „Vertiefung des theoretischen Verständnisses“ auf einer Likert-Skala für Studierende im dritten Jahr (rot), PJ-Studierende (blau) und Ärzte (grün). Die p-Werte als Ergebnisse der Post-hoc-Tests nach Vergleich der einzelnen Gruppen sind oberhalb der Klammern mit den entsprechenden Sternchen angegeben (* $p < 0,05$, n.s. = nicht signifikant).

In der spezifischen Bewertung des Ultraschallsimulators wurden die physikalischen Eigenschaften (Abbildung 28B), das Gefühl der Ultraschallsonde (Abbildung 28C) sowie die

Schärfe (Abbildung 28F) und die Klarheit (Abbildung 28E) der Bilddarstellung auf dem Laptop von allen Gruppen positiv bewertet wurden.

Hingegen erhielten der Realismus (Abbildung 28D) und die direkte Übertragbarkeit der Simulatoranzeige auf reale Bedingungen mit Werten zwischen 4,02 und 4,69 niedrigere Bewertungen (vgl. Abbildung 28).

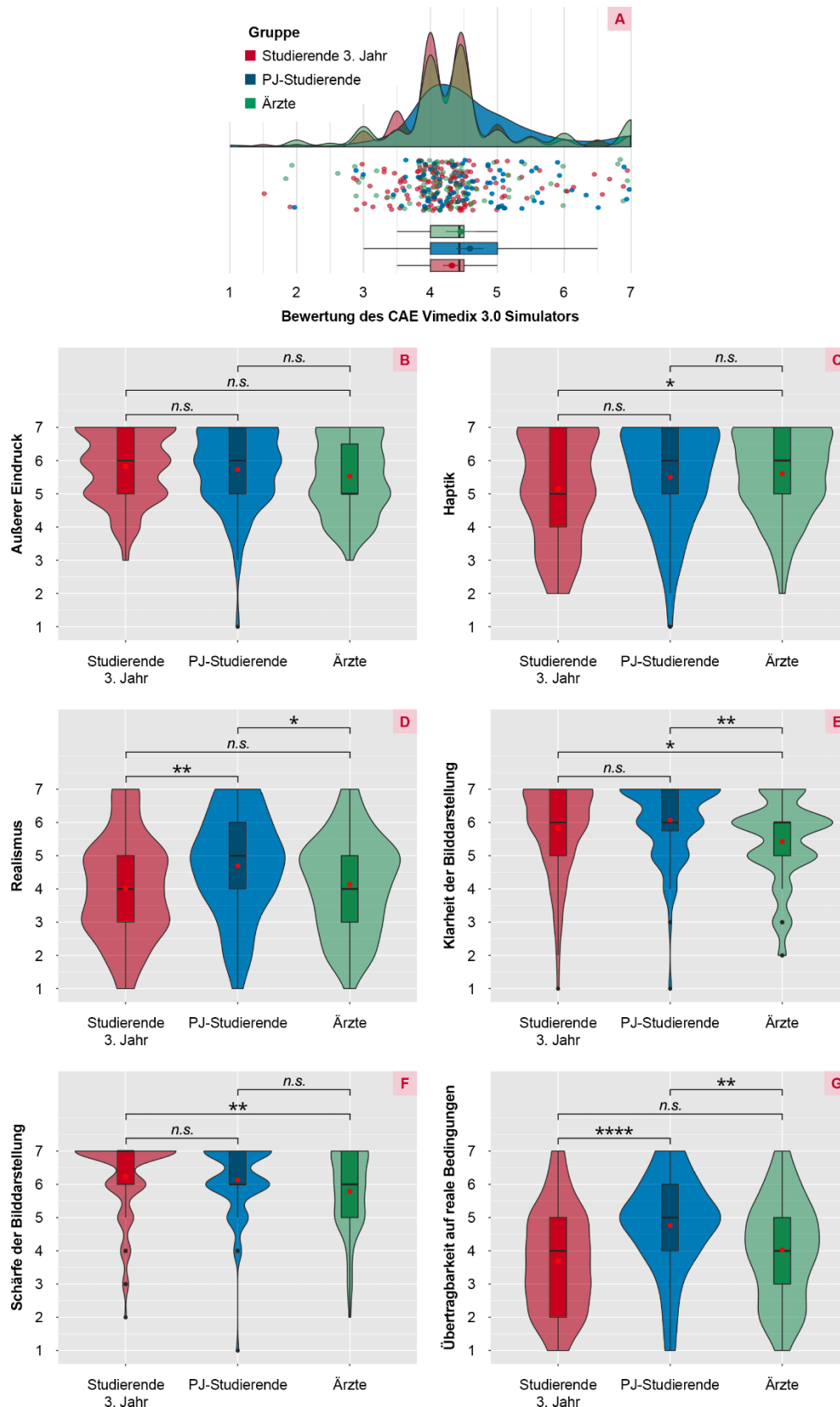


Abbildung 28: (A) Rain-Plot der mittleren Unterskalenbewertungen für das Hauptmerkmal „Bewertung des CAE Vimedix 3.0 Simulators“ auf einer Likert-Skala (1–7). Die Verteilungen für Studierende im dritten Jahr (rot), PJ-Studierende (blau) und Ärzte (grün) sind durch Dichtekurven dargestellt, wobei die einzelnen Bewertungspunkte als Streuung unterhalb dieser Kurven angezeigt werden. Vertikale Linien innerhalb jeder Farbgruppe zeigen den Median und die Quartile an. (B–G) Violin-Plots, welche die Verteilung der Unterskalenbewertungen auf einer Likert-Skala für Studierende im dritten Jahr (rot), PJ-Studierende (blau) und Ärzte (grün) darstellen. Die p-Werte als Ergebnisse der Post-hoc-Tests nach Vergleich der einzelnen Gruppen sind oberhalb der Klammern mit den entsprechenden Sternchen angegeben (* $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, **** $p < 0,0001$, n.s. = nicht signifikant).

Die Übertragbarkeit des Simulator-Trainings auf die allgemeine klinische Praxis im Sinne einer besseren Vorbereitung oder der klinischen Routine wurde von den PJ-Studierenden mit einem Durchschnittswert von 5,23 am höchsten bewertet, gefolgt von den Studierenden im dritten Jahr (4,97) und den Ärzten (4,61) (Abbildung 29B).

Auch die Bewertung einer sichereren Untersuchungsdurchführung durch das Simulator-Training wurde hervorgehoben. Hier zeigten die Ärzte im Vergleich zu den beiden anderen Gruppen mit einem Durchschnittswert von 4,44 eine geringere Zustimmung (Abbildung 29C).

Auch der Aspekt eines besseren Verständnisses von Pathologien durch simulationsbasiertes Ultraschalltraining erhielt in allen Gruppen hohe Durchschnittswerte. Die Zustimmung in der Gruppe der Ärzte war mit einem Wert von 5,03 jedoch niedriger als in den beiden anderen Gruppen (Abbildung 29D).

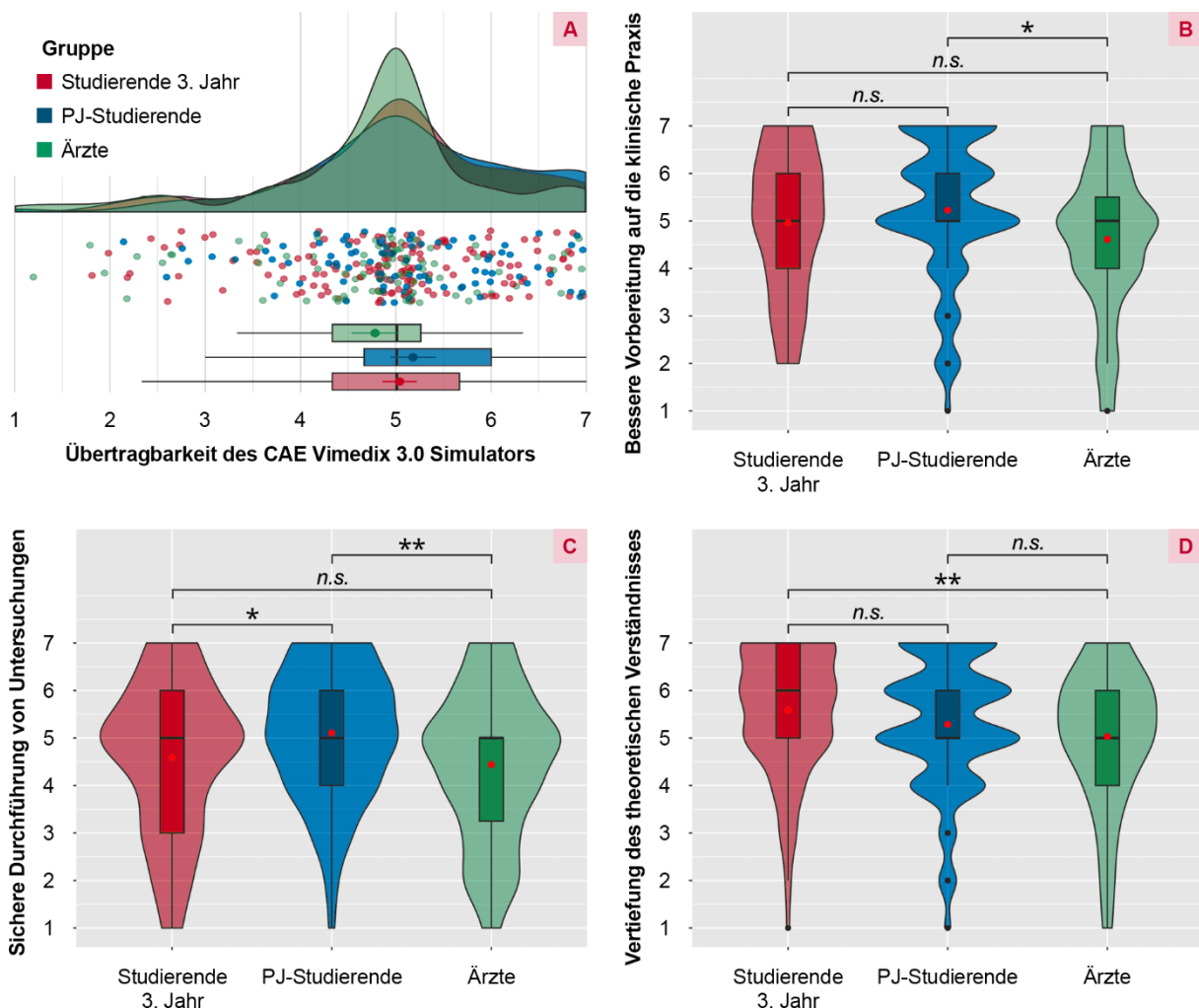


Abbildung 29: (A) Rain-Plot der mittleren Unterskalenbewertungen für das Hauptmerkmal „Übertragbarkeit des CAE Vimedix 3.0 Simulators“ auf einer Likert-Skala (1–7). Die Verteilungen für Studierende im dritten Jahr (rot), PJ-Studierende (blau) und Ärzte (grün) sind durch Dichtekurven dargestellt, wobei die einzelnen Bewertungspunkte als Streuung unterhalb dieser Kurven angezeigt werden. Vertikale Linien innerhalb jeder Farbgruppe zeigen den Median und die Quartile an. (B-D) Violin-Plots, welche die Verteilung der Unterskalenbewertungen auf einer Likert-Skala für Studierende im dritten Jahr (rot), PJ-Studierende (blau) und Ärzte (grün) darstellen. Die p-Werte als Ergebnisse der Post-hoc-Tests nach Vergleich der einzelnen Gruppen sind oberhalb der Klammern mit den entsprechenden Sternchen angegeben (* $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, n.s. = nicht signifikant).

Zusammenfassend zeigen die Ergebnisse, dass simulationsbasiertes Training insbesondere von PJ-Studierenden durchweg positiver bewertet wurde als von Studierenden im dritten Jahr und Ärzten. Besonders die Übertragbarkeit auf die klinische Praxis und die Verbesserung praktischer Fähigkeiten wurden von PJ-Studierenden als wesentlicher Vorteil hervorgehoben. Die geringere Zustimmung unter den Ärzten deutet darauf hin, dass die Integration von simulationsbasiertem Training in die klinische Ausbildung noch optimiert werden könnte.

4.2 Zweite Stufe des Stufenmodells: Entwicklung eines Kurskonzeptes zur Einführung der simulationsbasierten Ultraschalllehre und Ausbildung der Ultraschalldozenten

4.2.1 Beschreibung der Daten

Zur Darstellung der Ergebnisse kamen verschiedene statistische Auswertungsverfahren zum Einsatz. Binäre und kategoriale Daten wurden in absoluten und relativen Häufigkeiten (Prozent) dargestellt. Kontinuierliche Variablen wurden als Mittelwert (MW) mit zugehöriger Standardabweichung (SD) angegeben.

Zur Analyse von Veränderungen zwischen den Erhebungszeitpunkten T1 und T2 wurden für kontinuierliche Daten gepaarte t-Tests durchgeführt. Ergänzend wurden Effektstärken (Cohen's d) berechnet, um die Relevanz der beobachteten Unterschiede einzuordnen. Die grafische Darstellung der Ergebnisse erfolgte in Form von Balken- und Boxplot-Diagrammen.

Zur Untersuchung potenzieller Einflussfaktoren (z. B. praktische Vorerfahrung, zeitlicher Aufwand) auf den Kompetenzzuwachs kamen ungepaarte t-Tests zum Einsatz. Darüber hinaus wurden Zusammenhänge zwischen subjektiven Einschätzungen, objektiven Testergebnissen sowie der Bewertung des Lehrmaterials durch paarweise Pearson-Korrelationen analysiert. Die Ergebnisse wurden durch Korrelationskoeffizienten (r) und zugehörige Signifikanzniveaus (p -Werte) beschrieben und grafisch als Streudiagramm oder Korrelationsmatrix visualisiert.

Zur Teilnahme an der vorliegenden Studie wurden insgesamt 30 Dozenten eingeladen. In die statistische Auswertung flossen 15 vollständige Datensätze ein. Ausschlussgründe betrafen die Nichtteilnahme am strukturierten Selbstlernprogramm am Ultraschallsimulator, das vorzeitige Ausscheiden aus dem Dozentenkreis aufgrund eines Studienabschlusses oder eines im Erhebungszeitraum liegenden Auslandssemesters sowie unvollständig ausgefüllte Fragebögen zu den Erhebungszeitpunkten T1 und T2.

4.2.2 Ergebnisse der Evaluation

4.2.2.1 *Persönliche Daten und Vorerfahrung*

Das Durchschnittsalter der Teilnehmenden betrug $24,5 \pm 2,6$ Jahre, 73 % waren weiblich. Die Ausgangsmerkmale hinsichtlich sonographischer Vorerfahrungen und Ausbildungsbiografien sind in Tabelle 11 dargestellt. Die Mehrheit der Teilnehmenden verfügte bereits über einschlägige theoretische und praktische Erfahrung im Umgang mit Ultraschall.

Eine Ultraschall-Famulatur hatten 73 % der Teilnehmenden absolviert, und 87 % hatten zuvor an internen Ultraschallkursen des sonoforklinik-students-Projekts teilgenommen. Die Mehrheit der Dozenten gab an, bereits an mehreren Kursformaten dieses Programms teilgenommen zu haben (33 %), gefolgt von klassischen Wochenkursen (40 %) sowie einer verkürzten Wochenend-Kursvariante während der COVID-Pandemie (13 %). Lediglich zwei Personen (13 %) hatten bislang an keinem Kursangebot teilgenommen. Ein radiologischer Vorkurs wurde nur von 7 % der Befragten besucht.

Bezogen auf die Lehrtätigkeit als Dozent waren 53 % zum Zeitpunkt der Erhebung noch ohne eigene Lehrerfahrung. 20 % hatten mehrere studentische Kursformate betreut, insbesondere Wochenendkurse während der COVID-19-Pandemie. Die Mehrheit trat innerhalb der letzten drei Jahre in das Tutorenteam ein (60 % zwischen WS2019/20 und SS2020; weitere 33 % seit WS2020/21).

Die Teilnahme an externen Kursformaten (z. B. DEGUM-Kurse) wurde von 47 % der Dozenten berichtet, wobei sich die Angaben auf Notfall-, HNO- und Abdomenkurse verteilten. Eine Mitwirkung als Lehrende in externen Kursen wurde nicht angegeben.

Zum Zeitpunkt der ersten Erhebung hatten 53 % der Dozenten bereits praktische Erfahrung mit einem Ultraschallsimulator. Der durchschnittlich angegebene zeitliche Umfang der bisherigen Nutzung des Simulators betrug $2,3 \pm 2,6$ Stunden.

Zusätzlich wurde die praktische Vorerfahrung der Dozenten hinsichtlich beobachteter und eigenständig durchgeführter Ultraschalluntersuchungen zum Zeitpunkt der Erhebungen T1 und T2 erfasst (vgl. Tabelle 12). Bereits zu T1 hatten 40 % der Teilnehmenden mehr als 20 Untersuchungen beobachtet, weitere 20 % sogar mehr als 100. Dieser Anteil erhöhte sich im Verlauf der Lernphase deutlich: Zum Zeitpunkt T2 gaben insgesamt 76 % an, mehr als 20 Untersuchungen beobachtet zu haben, und erneut 20 % berichteten von über 100 Beobachtungen. Der Unterschied zwischen T1 und T2 war statistisch signifikant ($p = 0,01$).

Auch bei den eigenständig durchgeführten Untersuchungen zeigte sich eine Zunahme über die Zeit. Während zu T1 lediglich 46 % der Dozenten mehr als 60 praktische Untersuchungen selbst durchgeführt hatten, stieg dieser Anteil bis T2 auf 54 % an. Gleichzeitig sank der Anteil

derjenigen mit weniger als 20 durchgeführten Untersuchungen von 20 % auf 7 %. Dieser Unterschied erreichte allerdings keine statistische Signifikanz ($p = 0,38$).

Tabelle 11: Persönliche Daten und Dozentenausbildung

Parameter	T1 (MW $\pm$ SD)
Alter in Jahren	24.5 $\pm$ 2.6
	T1 n (%)
Geschlecht	Männlich = 4 (27%) Weiblich = 11 (73%)
Vorheriger Radiologiekurs	Ja = 1 (7%) Nein = 14 (93%)
Ultraschallkurse von sonoforklinik-students	Ja = 13 (87%) Nein = 2 (13%)
Ultraschall Famulatur	Ja = 11 (73%) Nein = 4 (27%)
Beginn als „Neututor“ 1=<SS2017; 2=WS2017/18 + SS2018; 3=WS2018/19 + SS2019; 4=WS2019/20 + SS2020; 5=WS2020/21 + SS2021	Wintersemester (WS) 2018/19 + Sommersemester (SS) 2019 = 1 (7%) WS 2019/20 + SS 2020 = 9 (60%) WS 2020/21 + SS 2021 = 5 (33%)
sonoforklinik-students Kurs als Teilnehmer 1=Wochenkurs Abdomen/Notfallsono/Hals/TVT vor COVID; 2=Wochenendkurs Abdomen während COVID; 3=Innere e-FAST Kurs; 4=Echokurs; 5=Augenkurs; 6=weitere, 7=keine, 8= mehrere	Keine = 2 (13%) Mehrere = 5 (33%) Wochenkurs = 6 (40%) Wochenendkurs Covid = 2 (13%)
andere Ultraschallkurse als Teilnehmer 1=DEGUM Notfallsono; 2=DEGUM HNO; 3=DEGUM Abdomen; 4=weitere; 5=nein, 6=mehrere	Notfallsono = 1 (7%) HNO = 1 (7%) Abdomen = 2 (13%) Weitere = 1 (7%) Nein = 6 (40%) Mehrere = 4 (27%)
sonoforklinik-students als Dozent 1=Wochenkurs Abdomen/Notfallsono/Hals/TVT vor COVID; 2=Wochenendkurs Abdomen während COVID; 3=Innere e-FAST Kurs; 4=Echokurs; 5=Augenkurs, 6=nein, 7= mehrere	Wochenkurs = 1 (7%) Wochenendkurs Covid = 3 (20%) Mehrere = 3 (20%) Nein = 8 (53%)
andere Ultraschallkurse als Dozent	Nein = 15 (100%)
bisheriger Kontakt mit Ultraschallsimulator	Ja = 8 (53%) Nein = 3 (20%) Keine Angabe = 4 (27%)
zeitl. Umfang (h)	2.32 (2.61)

Tabelle 12: Anzahl beobachteter und eigenständig durchgeführter Ultraschalluntersuchungen zu den Erhebungszeitpunkten T1 und T2.

Parameter	T1 n (%)	T2 n (%)	p-Wert
Anzahl beobachteter Ultraschalluntersuchungen	<10 = 2 (13%) 10-20 = 4 (27%) 21-100 = 6 (40%) >100 = 3 (20%)	10-20 = 2 (13%) 21-100 = 10 (76%) >100 = 3 (20%)	0,01
Anzahl eigenständiger durchgeführter Ultraschalluntersuchungen	0 = 1 (7%) <20 = 2 (13%) 20-40 = 4 (27%) 40-60 = 1 (7%) 60-80 = 0 80-100 = 5 (33%) >100 = 2 (13%)	<20 = 1 (7%) 20-40 = 2 (13%) 60-80 = 4 (27%) 80-100 = 4 (27%) >100 = 4 (27%)	0,38

4.2.2.2 Subjektiver Kompetenzzuwachs

Die subjektive Einschätzung der eigenen sonographischen Kompetenzen wurde zu den Zeitpunkten T1 und T2 anhand verschiedener Teilaspekte erhoben (vgl. Anhang I, Tabelle I.1). Insgesamt zeigten sich über die meisten Parameter hinweg leichte, überwiegend nicht signifikante Veränderungen.

Der Gesamtwert zur räumlichen Vorstellung blieb nahezu konstant (T1: $5,8 \pm 0,8$ vs. T2: $5,6 \pm 1,1$; $p = 0,65$). Auch die globale Selbsteinschätzung veränderte sich nur geringfügig (T1: $3,8 \pm 1,0$ vs. T2: $3,6 \pm 1,0$; $p = 0,72$).

Auf Ebene der einzelnen Kompetenzdimensionen fanden sich ebenfalls keine statistisch signifikanten Unterschiede. So zeigten sich beispielsweise im Bereich Fachwissen ($p = 0,40$), Gerätebedienung ($p = 0,57$) oder Schallkopfhandling ($p = 0,43$) lediglich leichte, klinisch nicht relevante Veränderungen. Auch die Werte zur räumlichen Orientierung ($p = 0,73$), zur sono-anatomischen Zuordnung ($p = 0,49$) sowie zur Organdarstellung ($p = 0,24$) blieben weitgehend stabil.

Die größte Veränderung zeigte sich bei der Pathologieerkennung, die im Mittel von $5,0 \pm 1,4$ auf $4,6 \pm 1,4$ sank ($p = 0,29$). Trotz dieses Rückgangs erreichte auch dieser Parameter keine statistische Signifikanz. Der Wert zur Pathologievielfalt blieb unverändert (T1: $5,1 \pm 1,7$ vs. T2: $5,1 \pm 1,6$; $p = 0,89$).

Insgesamt blieben die subjektiven Kompetenzwerte der Dozierenden zwischen T1 und T2 nahezu konstant, ohne Hinweise auf signifikante Verbesserungen oder Verschlechterungen. Zwar lassen sich in einzelnen Bereichen – etwa Schallkopfhandling, Organdarstellung oder Gerätebedienung – tendenzielle leichte Verbesserungen erkennen, diese zeigten jedoch keine statistische Evidenz.

4.2.2.3 Nutzungsverhalten Simulator

Zum Zeitpunkt T1 verfügten 20 % der Dozenten über Vorerfahrungen mit simulationsbasiertem Ultraschalltraining im Rahmen ihres Medizinstudiums, während 53 % angaben, keine entsprechende Nutzungserfahrung gemacht zu haben. Die verbleibenden Angaben waren entweder unklar oder nicht beantwortet.

Bezüglich des geschätzten zeitlichen Umfangs der bisherigen Simulatornutzung zeigte sich eine deutliche Heterogenität: 13 % der Teilnehmenden gaben eine Nutzungsdauer von 0–1 Stunden an, 27 % lagen im Bereich zwischen 2–5 Stunden. Jeweils 13 % der Teilnehmenden berichteten von einem Umfang von mehr als 10 bzw. mehr als 20 Stunden. Der Mittelwert des zeitlichen Umfangs betrug 2,32 Stunden ($\pm 2,61$).

In der Einschätzung zu ausbildungsbezogenen Aspekten des simulationsbasierten Trainings (Skala 1 = voll und ganz, 7 = überhaupt nicht) ergaben sich insgesamt positive Bewertungen. Der Gesamtwert lag bei $2,0 \pm 0,5$, wobei insbesondere die Parameter „Vertiefung des theoretischen Verständnisses“ ($1,7 \pm 0,8$), „Transfer der Theorie in die Praxis“ ($1,7 \pm 0,8$) und „praktische Fertigkeiten“ ($1,8 \pm 0,6$) besonders positiv beurteilt wurden. Geringere Zustimmung zeigte sich in den Bereichen „Patientensicherheit“ ($2,4 \pm 1,0$) und „Realitätsnähe“ ($3,0 \pm 1,1$), was auf differenzierte Wahrnehmungen in der praktischen Relevanz hindeuten könnte (vgl. Anhang I, Tabelle I.2).

4.2.2.4 Nutzung des Lernprogramms am Simulator

Die Evaluation der tatsächlichen Nutzung des Lernprogramms zum Zeitpunkt T2 zeigt eine hohe Beteiligung: 87 % der Dozenten gaben an, mit dem bereitgestellten Arbeitsheft gearbeitet zu haben, ebenso viele nutzten den Ultraschallsimulator aktiv zur Bearbeitung der Aufgaben (vgl. Anhang I, Tabelle I.3). Drei Teilnehmende (20 %) berichteten, keine der vier vorgesehenen Lerneinheiten vollständig absolviert zu haben.

Die Teilnahmequoten an den einzelnen Lerneinheiten (LE) variierten: LE 1 wurde nur von 20 % der Dozenten abgeschlossen, LE 2 und LE 3 hingegen jeweils von 60 %. LE 4 wurde von 40 % der Teilnehmenden vollständig bearbeitet. Der durchschnittliche zeitliche Gesamtaufwand für das Lernprogramm betrug $6,7 \pm 7,2$ Stunden, wobei große individuelle Unterschiede zu beobachten waren.

4.2.2.5 Haltung gegenüber simulationsbasiertem Training und Perspektiven

Zum Zeitpunkt T1 äußerten die Dozierenden eine insgesamt sehr positive Haltung gegenüber dem Einsatz simulationsbasierter Trainingsformate in der medizinischen Ausbildung. Der Mittelwert für die Zustimmung zur Integration simulationsbasierten Trainings (SBT) in Medizinstudium und Facharztausbildung lag bei $1,7 \pm 0,8$ (Skala: 1 = voll und ganz, 7 = überhaupt nicht). Auch die Zustimmung zur Forderung, das Angebot simulationsbasierter Trainings zu erweitern, zeigte mit $1,7 \pm 0,9$ eine vergleichbar hohe Befürwortung.

Der aggregierte Gesamtwert zur Einschätzung der Kriterien eines guten SBT lag bei $1,5 \pm 0,4$ und verdeutlicht eine ausgeprägt positive Bewertung der didaktischen Qualität simulationsbasierter Lehrangebote.

Zum Zeitpunkt T2 wurde zusätzlich die Bewertung des eigenständigen Lernens am Simulator erhoben. Diese fiel mit $2,3 \pm 0,8$ weiterhin positiv aus. Die Einschätzung der eigenen Kompetenz im Umgang mit dem Simulator lag bei $3,7 \pm 1,7$, während die subjektive Eignung als Dozent*in am Simulator mit $3,6 \pm 1,5$ etwas zurückhaltender bewertet wurde (vgl. Anhang I, Tabelle I.4).

4.2.2.6 Motivation Lernziele und erwarteter Kompetenzgewinn

Zur Erfassung motivationaler Aspekte sowie individueller Lernziele wurden zu den Erhebungszeitpunkten T1 und T2 verschiedene Skalenwerte erhoben (vgl. Tabelle 17).

Die Ergebnisse zeigen, dass die anfängliche Motivation der Dozierenden zur Teilnahme am Ultraschall-Simulatorkurs im Verlauf signifikant abnahm. Während zu T1 ein niedriger Mittelwert von $2,0 \pm 0,8$ (Skala: 1 = voll und ganz motiviert, 7 = nicht motiviert) berichtet wurde, lag der Wert zu T2 bei $5,3 \pm 2,0$. Diese Veränderung war statistisch signifikant ($p < 0,01$).

Unabhängig von der motivationalen Entwicklung zeigte sich bei der Einschätzung der Kompetenzen, dass die zu T1 formulierten Lernziele zu T2 in hohem Maße als erreicht eingeschätzt wurden. Besonders ausgeprägt war dies in den Bereichen der technischen Fertigkeiten sowie der praktischen Ultraschallfertigkeiten. Auch die Fähigkeit zur standardisierten Durchführung einer Ultraschalluntersuchung, die Kenntnisse der Ultraschallanatomie, die Einschätzung pathologischer Befunde sowie die subjektive Sicherheit in deren Interpretation wurden überwiegend mit hohen Skalenwerten angegeben. Sämtliche Veränderungen zwischen T1 (angestrebter Kompetenzgewinn) und T2 (wahrgenommene Zielerreichung) waren statistisch signifikant ($p = 0,04$ bis $< 0,001$; vgl. Tabelle 13).

Tabelle 13: Motivation, Erwartung und Lernziele

Parameter	T1 (MW $\pm$ SD)	T2 (MW $\pm$ SD)	Delta	p-Wert
Motivation zum Ultraschall Simulatorkurs <i>1=voll und ganz, 7=nicht motiviert</i>	$2,0 \pm 0,8$	$5,3 \pm 2,0$	$2,1 \pm 1,7$	$< 0,01$
Gesamtwert: Lernziel <i>1=voll und ganz, 7=überhaupt nicht</i>	$1,6 \pm 0,6$	$3,5 \pm 1,4$	$1,8 \pm 1,7$	$< 0,01$
Zugewinn Technik Ultraschall	$1,7 \pm 0,7$	$4,3 \pm 2,1$	$2,6 \pm 2,6$	$< 0,01$
Ultraschallanatomie	$1,7 \pm 0,8$	$2,9 \pm 1,9$	$1,2 \pm 1,8$	0,04
praktische Ultraschallfertigkeiten	$1,8 \pm 0,9$	$4,4 \pm 1,9$	$2,6 \pm 2,3$	$< 0,01$
Standardisierte Durchführung US-Untersuchung	$1,67 \pm 0,8$	$3,3 \pm 1,7$	$1,7 \pm 2,0$	$< 0,01$
pathologische Ultraschallbefunde	$1,3 \pm 0,6$	$2,5 \pm 1,2$	$1,1 \pm 1,4$	$< 0,01$
Sicherheit in der Interpretation	$1,7 \pm 1,1$	$3,4 \pm 1,7$	$1,7 \pm 2,2$	$< 0,01$

4.2.3 Ergebnisse der theoretischen Prüfungen

4.2.3.1 Objektiver Kompetenzzuwachs

Die Ergebnisse des standardisierten Theorie-Tests zeigen über alle Teilbereiche hinweg einen signifikanten objektiven Kompetenzzuwachs zwischen den Zeitpunkten T1 und T2 (vgl. Anhang I, Tabelle I.5). Der Gesamtwert stieg von $146,6 \pm 20,2$ auf $169,5 \pm 5,2$ Punkte. Die Differenz von $+21,8 \pm 17,1$ Punkten war hochsignifikant ($p < 0,001$) und wies eine große Effektstärke auf (Cohen's $d = 1,35$; $r = 0,56$).

Auch in den drei inhaltlich getrennten Teilbereichen des Tests konnte jeweils ein signifikanter Anstieg festgestellt werden. Die Punktzahl im Bereich „Grundlagen“ erhöhte sich von $27,7 \pm 3,5$ auf $31,0 \pm 1,4$ Punkte ($p = 0,003$; $d = 1,57$), im Bereich „Normalbefunde“ von $94,9 \pm 9,1$ auf $104,9 \pm 9,1$ Punkte ($p < 0,001$; $d = 1,10$) und im Bereich „Pathologien“ von $24,1 \pm 11,6$ auf $31,1 \pm 4,5$ Punkte ($p = 0,04$; $d = 0,80$). Damit zeigen alle Teilbereiche Effektstärken im mittleren bis hohen Bereich.

4.2.3.2 *Korrelation zwischen subjektiven und objektiven Kompetenzwerten*

Zur Analyse möglicher Zusammenhänge zwischen subjektiv wahrgenommenen Kompetenzwerten und objektiv gemessenen Testergebnissen wurden bivariate Korrelationen berechnet. Dabei zeigten sich mehrere statistisch signifikante Beziehungen zwischen den Selbsteinschätzungen und den objektiven Leistungsparametern.

Ein signifikanter negativer Zusammenhang bestand zwischen der Selbsteinschätzung der räumlichen Vorstellung zu T1 und der objektiv gemessenen Gesamtleistung zu T2 ($r = -0,69$, $p = 0,004$). Zudem zeigte sich ein signifikanter positiver Zusammenhang zwischen der räumlichen Selbsteinschätzung zu T1 und der räumlichen Selbsteinschätzung zu T2 ($r = 0,66$, $p = 0,008$). Die globale Selbsteinschätzung zu T1 korrelierte signifikant negativ mit dem objektiven Gesamtwert zu T1 ($r = -0,62$, $p = 0,01$) sowie mit dem Pathologie-Teilwert zu T1 ($r = -0,66$, $p = 0,008$).

Nach Abschluss des Lernprogramms zeigte sich, dass die globale Selbsteinschätzung zu T2 signifikant negativ mit der räumlichen Selbsteinschätzung zu T2 korrelierte ($r = -0,52$, $p = 0,05$) und gleichzeitig signifikant positiv mit der objektiv gemessenen Gesamtleistung zu T2 assoziiert war ($r = 0,68$, $p = 0,01$). Darüber hinaus korrelierte die Einschätzung ausbildungsbezogener Aspekte simulationsbasierten Trainings (SBT) zu T1 signifikant positiv mit der Bewertung der Kriterien eines guten SBT ($r = 0,63$, $p = 0,04$) sowie mit der Einschätzung der Lernzielerreichung zu T2 ($r = 0,81$, $p = 0,002$).

4.2.4 **Einflussfaktoren auf die Kompetenzentwicklung**

Zur Identifikation möglicher Einflussgrößen auf die subjektive und objektive Kompetenzentwicklung wurden verschiedene Gruppenmerkmale mittels bivariater T-Tests überprüft. Dabei zeigten sich sowohl hinsichtlich der Ausgangswerte (T1) als auch im Hinblick auf die Kompetenzzuwächse (Delta) mehrere signifikante Unterschiede.

Teilnehmende mit mehr als 60 eigenständig durchgeführten Ultraschalluntersuchungen wiesen zu T1 eine signifikant niedrigere Selbsteinschätzung auf ($2,6 \pm 0,4$) als weniger erfahrene Teilnehmende ($4,0 \pm 1,0$; $p = 0,01$). Für die weiteren untersuchten Einflussvariablen – darunter bisheriger Simulator Kontakt, absolvierte Famulatur, Geschlecht, Teilnahme an

simulationsbasiertem Training sowie der zeitliche Umfang des Lernprogramms – ließ sich zu T1 kein signifikanter Zusammenhang mit der subjektiven Selbsteinschätzung nachweisen. Auch zu T2 zeigten sich für keines der Merkmale signifikante Unterschiede.

Hinsichtlich des subjektiv wahrgenommenen Kompetenzzuwachses zeigten sich signifikante Unterschiede in Abhängigkeit vom zeitlichen Umfang der Bearbeitung des Lernprogramms sowie vom Ausmaß praktischer Erfahrung. Teilnehmende mit höherem zeitlichem Aufwand wiesen einen signifikant größeren subjektiven Kompetenzzuwachs auf ($p = 0,05$). Ebenso zeigte sich für Teilnehmende mit mehr als 60 eigenständig durchgeführten Ultraschalluntersuchungen zu T2 ein signifikant höherer subjektiver Kompetenzzuwachs ($p = 0,02$).

Bei der objektiven Leistung zeigten sich bereits zu T1 signifikante Unterschiede. Teilnehmende mit absolvierter Famulatur erzielten höhere Ausgangswerte im theoretisch-praktischen Gesamttest ($154,3 \pm 15,0$ vs. $125,3 \pm 17,9$; $p = 0,03$). Ebenso erreichten Teilnehmende mit höherem zeitlichem Bearbeitungsumfang zu T1 höhere objektive Ausgangswerte ($172,3 \pm 6,7$ vs. $140,2 \pm 16,9$; $p = 0,004$). Für die übrigen untersuchten Merkmale ergaben sich keine signifikanten Unterschiede der Ausgangsleistungen.

Zum Zeitpunkt T2 zeigten sich für keines der untersuchten Gruppenmerkmale signifikante Unterschiede in der objektiven Leistung.

Hinsichtlich des objektiven Kompetenzzuwachses zeigte sich ein signifikanter Zusammenhang mit dem zeitlichen Umfang der Bearbeitung des Lernprogramms ($p = 0,04$). Für andere Merkmale wie absolvierte Famulatur, Geschlecht oder Anzahl beobachteter bzw. eigenständig durchgeführter Untersuchungen ergaben sich keine signifikanten Effekte (vgl. Abbildung 30).

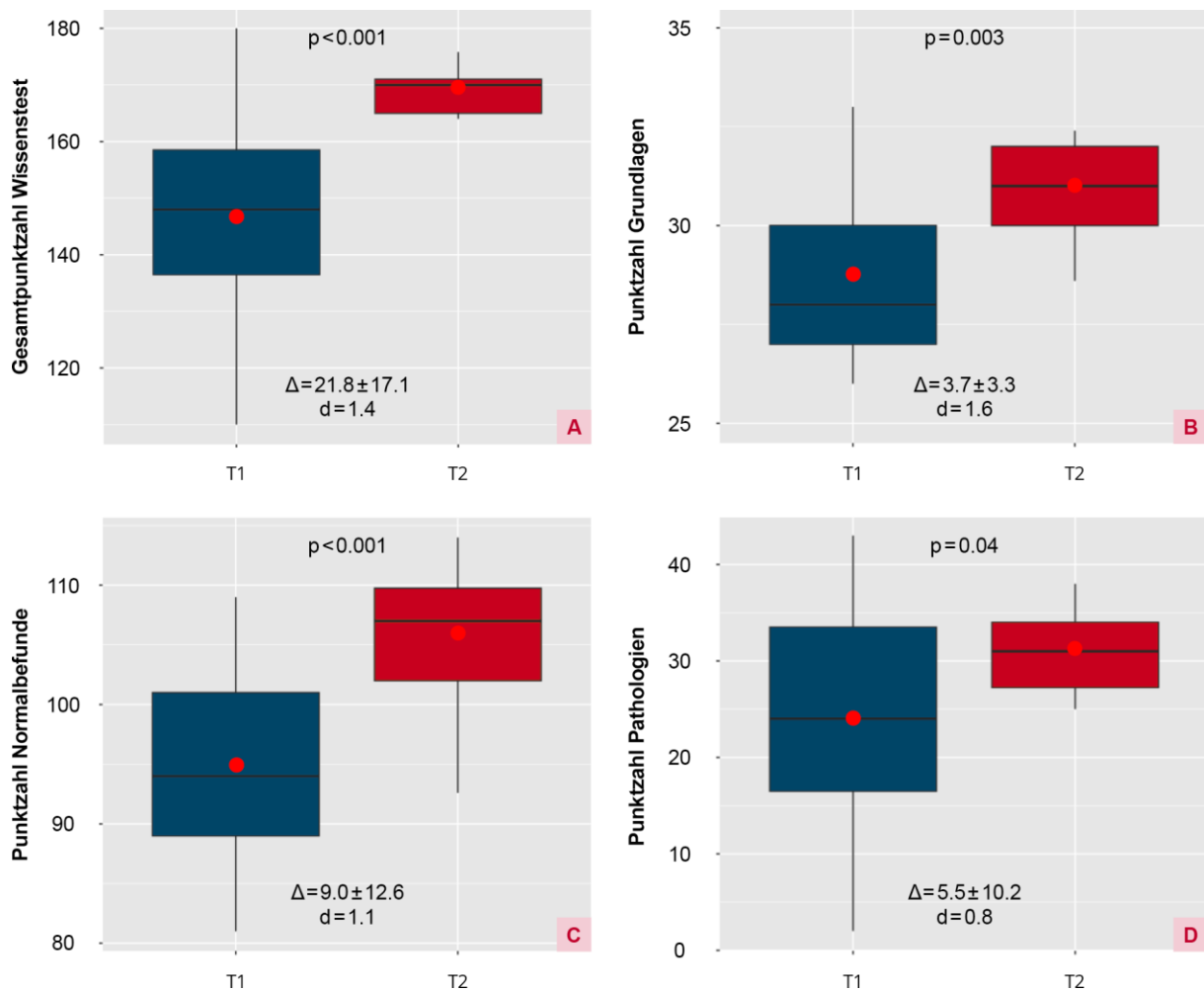


Abbildung 30: Vergleich der Ergebnisse des Wissenstests zwischen den Messzeitpunkten T1 und T2. Dargestellt sind Boxplots für (A) die Gesamtpunktzahl des Theorietests, (B) die Punktzahl im Bereich Grundlagen, (C) die Punktzahl im Bereich Normalbefunde sowie (D) die Punktzahl im Bereich Pathologien. Die Boxplots zeigen Median, Interquartilsabstand sowie Minimal- und Maximalwerte; rote Punkte kennzeichnen die Mittelwerte. Die angegebenen p-Werte geben die Ergebnisse der statistischen Tests zum Vergleich zwischen T1 und T2 an. Δ beschreibt die mittlere Differenz $\pm$ Standardabweichung, d die Effektstärke nach Cohen.

4.2.5 Evaluation des Benutzerhandbuchs

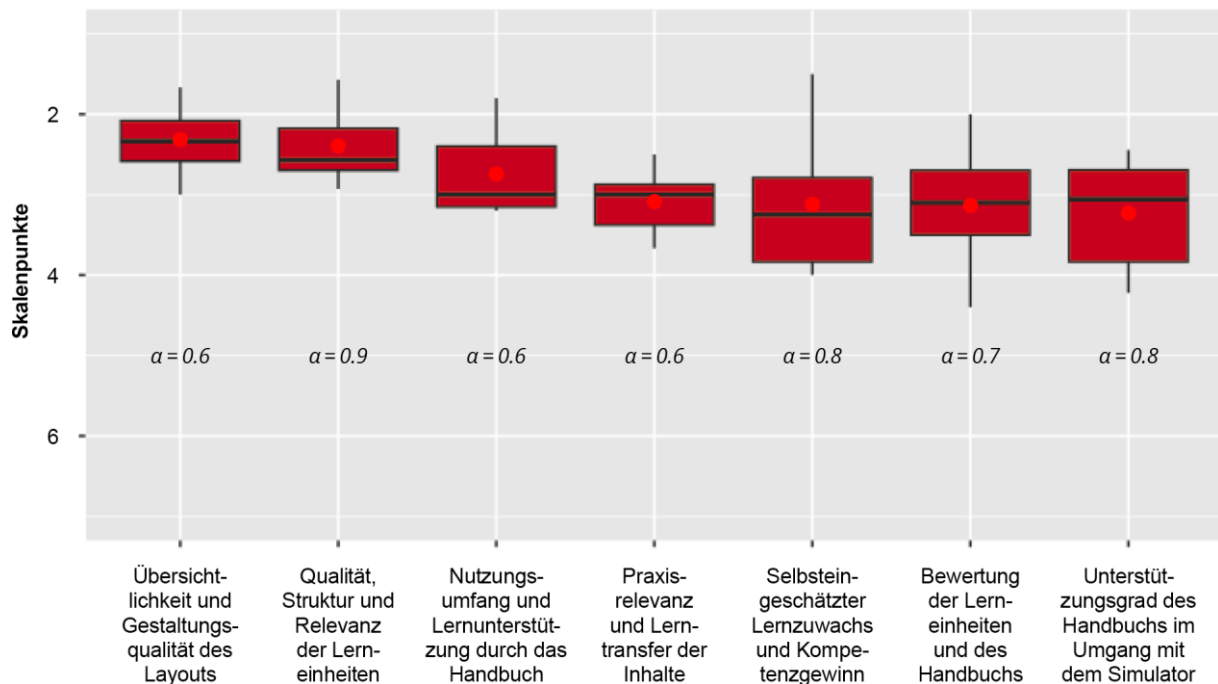


Abbildung 31: Bewertungen des Simulatorskripts und der Lerneinheiten in aggregierten Kategorien. Gezeigt werden Boxplots mit Mittelwerten (rote Punkte). Niedrigere Werte spiegeln eine höhere Zustimmung wider (Skala: 1 = voll und ganz, 7 = überhaupt nicht).

Die Bewertung des Simulatorskripts fiel insgesamt positiv aus (vgl. Abbildung 31; vgl. Anhang I, Tabelle I.6). Die Einschätzungen erfolgten auf einer siebenstufigen Skala (1 = voll und ganz, 7 = überhaupt nicht). Der Gesamtwert für das Layout lag bei $2,3 \pm 0,5$. Auch die Einzeldimensionen des Layouts wurden günstig bewertet: Die Aspekte „ansprechend“ ($2,5 \pm 0,8$), „übersichtlich“ ($2,2 \pm 0,8$) und „angemessen“ ($2,3 \pm 0,8$) zeigten durchweg niedrige Mittelwerte im positiven Bereich der Skala.

Die Lerneinheiten selbst wurden ebenfalls positiv eingeschätzt. Der Gesamtwert lag bei $2,4 \pm 0,5$, und auch die Einzelbewertungen wie „ausreichend“ ($2,5 \pm 1,4$), „hilfreich“ ($2,3 \pm 1,0$), „strukturiert“ ($2,7 \pm 1,0$), „deutlich“ ($2,0 \pm 0,9$) oder „sinnvoll“ ($2,2 \pm 0,8$) zeigen, dass Aufbau und Verständlichkeit der Lerneinheiten überwiegend gut beurteilt wurden. Die wiederholten Bewertungen derselben Kategorien (z. B. „hilfreich 1“, „strukturiert 1“) bestätigen dieses Muster. Auch weiterführende Aspekte wie „relevant“ ($2,8 \pm 1,2$) oder zusätzliche Angemessenheitsbewertungen lagen im positiven Bereich der Skala. Die Feedbackfunktion, ein zentraler Bestandteil des Lernmaterials, erhielt mit $1,8 \pm 0,8$ einen besonders günstigen Wert.

Die Nutzung der unterschiedlichen Inhalte des Simulatorskripts wurde differenzierter bewertet. Der Gesamtwert der Nutzung lag bei $2,7 \pm 0,6$, wobei die Unterkategorien eine größere Spannbreite aufwiesen: Die Nutzung von Standardschnitten ($2,8 \pm 1,2$) und pathologischen Beispielen ($2,5 \pm 1,0$) wurde positiv wahrgenommen, während die Einschätzung der

inhaltlichen Aufbereitung mit $3,2 \pm 1,3$ moderater ausfiel. Das Verständnis der Inhalte wurde dagegen als gut einschätzbar bewertet ($2,3 \pm 1,0$). Das zugehörige Handbuch erhielt eine Bewertung von $2,8 \pm 0,8$.

Auch der Anwendungsbezug wurde heterogen beurteilt. Während die Möglichkeit des Einbringens eigener Vorerfahrungen ($2,8 \pm 0,8$) und der Unterstützungsgrad beim Lernen ($2,5 \pm 1,0$) als positiv bewertet wurden, zeigte sich bezüglich Motivation ($3,7 \pm 2,3$) und thematischer Schwerpunktsetzung ($3,6 \pm 1,8$) eine etwas zurückhaltendere Tendenz. Die Bewertungen zur Selbsteinschätzung in Bezug auf Interpretation, Fähigkeiten, Kompetenz und Lernzuwachs lagen im mittleren Bereich (zwischen 2,8 und 3,3).

Das Feedback zu den Lerneinheiten wurde mit einem Gesamtwert von $3,1 \pm 0,4$ ebenfalls moderat positiv eingeschätzt. Die ergänzenden Einzelbewertungen („allgemein“, „allgemein 2–5“) lagen zwischen 3,0 und 3,5, während das Handbuch als Unterstützung des Lernprozesses mit $3,2 \pm 0,7$ bewertet wurde. Die Bedienungskomponenten des Simulators zeigten ein stark heterogenes Bild: Während die Mausbedienung sehr positiv bewertet wurde ($1,7 \pm 1,2$), wurde die Tastatur ($5,3 \pm 1,0$) deutlich kritischer eingeschätzt. Andere technische Elemente wie Simulatorbedienung ($2,8 \pm 1,8$), Bildlayout ($2,3 \pm 1,4$), Beam ($3,7 \pm 1,8$), Modi ($3,7 \pm 1,4$) oder Training ($3,0 \pm 1,3$) zeigten mittlere Bewertungen.

4.3 Dritte Stufe des Stufenmodells: FATE-Sim-Studie: Integration des simulationsbasierten Ultraschalltrainings in die Ultraschalllehre

Im Folgenden werden die Ergebnisse der dritten Stufe des Stufenmodells, der FATE-Sim-Studie, dargestellt. Abbildung 32 zeigt zunächst den Studienablauf mit Einschreibung, Randomisierung, Zuteilung und Analyse der Teilnehmenden.

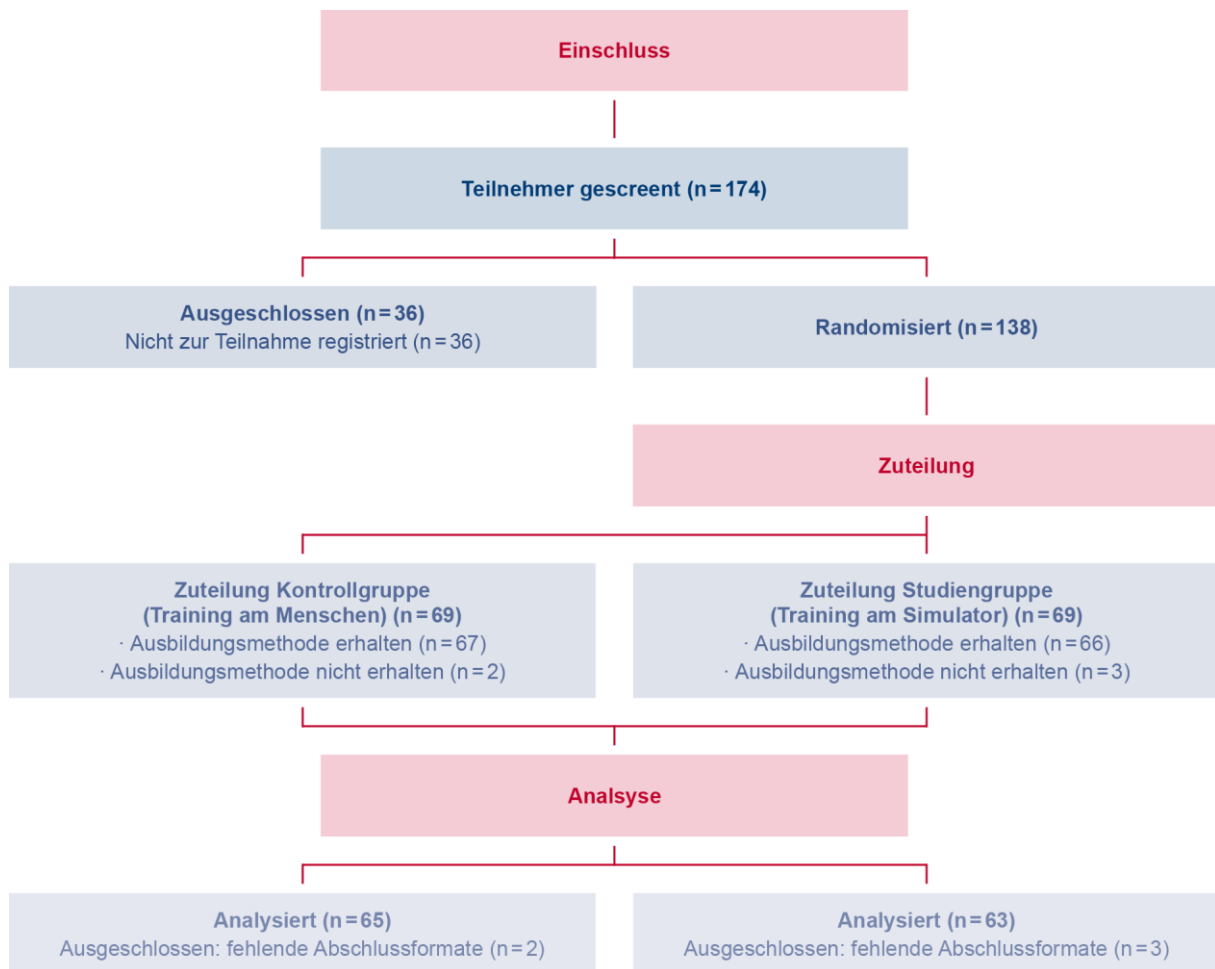


Abbildung 32: Flussdiagramm nach CONSORT zur Darstellung des Studienablaufs. Die Grafik zeigt die Einschreibung, Zuteilung und Analyse der Teilnehmenden. Von den 174 auf Eignung überprüften Teilnehmern wurden 138 randomisiert und entweder der Kontrollgruppe (Training am Menschen, n = 69) oder der Studiengruppe (Training am Simulator, n = 69) zugewiesen. In der Kontrollgruppe nahmen 67 Teilnehmer an der zugewiesenen Lehrmethode teil, während 2 Teilnehmer den Kurs nicht besuchten. In der Studiengruppe erhielten 66 Teilnehmer die zugewiesene Lehrmethode, während 3 Teilnehmer nicht am Kurs teilnahmen. Schließlich wurden 65 Teilnehmer der Kontrollgruppe und 63 Teilnehmer der Studiengruppe in die Analyse einbezogen.

4.3.1 Ergebnisse der Evaluationen

4.3.1.1 Persönliche Daten und Vorerfahrungen

Insgesamt wurden 128 Studierende in die Studie eingeschlossen, davon 63 in der Studiengruppe und 65 in der Kontrollgruppe (vgl. Abbildung 32, oben). Die Ausgangsmerkmale beider Gruppen waren ähnlich (vgl. Tabelle 14) und zeigten nahezu gleichwertige demografische Merkmale und vergleichbare Ausbildungsprofile.

Beide Gruppen wiesen ein vergleichbares Durchschnittsalter auf (Studie: 24 ± 4 Jahre vs. Kontrolle: 25 ± 4 Jahre), waren überwiegend weiblich (Studie: 67 % vs. Kontrolle: 62 %) und

verfügten mehrheitlich über keine Vorerfahrung mit Ultraschallsimulatoren (Studie: 97 % vs. Kontrolle: 91 %). Ein Großteil hatte bereits einen Kurs in abdomineller Sonographie absolviert (Studie: 57 % vs. Kontrolle: 57 %), jedoch bislang noch keine eigenständige Echokardiographie durchgeführt (Studie: 95 % vs. Kontrolle: 85 %; $p = 0,02$), wobei hier ein signifikanter Gruppenunterschied bestand.

Tabelle 14: Gruppenstatistik der persönlichen Daten und Vorerfahrung

Item	Parameter	Kontroll- gruppe (KG)	Studien- gruppe (SG)	p- Wert
Alter	Jahre (MW $\pm$ SD)	25 $\pm$ 4	24 $\pm$ 4	0,19
Geschlecht	Männlich (n)	25	21	0,67
	Weiblich (n)	40	42	
Vorausbildung	Ja (n)	36	24	0,07
	Nein (n)	29	39	
Universitäre Kurse der Radiologie	n	1	3	0,59
Kurse für abdominelle Sonographie	n	37	36	1,0
Anzahl der beobachteten sonographischen Untersuchungen	Keine	6	5	0,37
	≤ 5	1	0	
	< 20	41	49	
	20-40	9	5	
	≥ 40	8	4	
Anzahl der selbstständig durchgeführten sonographischen Untersuchungen	Keine	12	9	0,62
	< 20	51	52	
	20-40	1	2	
	≥ 40	1	0	
Anzahl der selbstständig durchgeführten Echokardiographien	Keine	55	60	0,02
	< 20	9	1	
	20-40	1	0	
Vorheriges Simulatortraining	n	28	33	0,38
Vorherige Nutzung eines Ultraschallsimulators	n	6	2	0,29

4.3.1.2 Motivation, Lernziele, Simulatoren und Kurskonzept

Die Bewertung der persönlichen Motivation, des Erreichens der Lernziele und des Kurskonzepts ist in den Abbildungen 33 und 34 dargestellt; die zugehörigen Tabellen sind im Anhang J (Tabellen J.1 und J.2). Beide Gruppen waren bei T1 und T2 ähnlich positiv motiviert (Skalenpunktbereich 1,4–1,6). Die meisten Teilnehmenden beider Gruppen gaben an, die Lernziele des Kurses insgesamt und pro Unterpunkt erreicht zu haben (Skalenpunktdifferenz T1–T2: 0,2–0,4). Es wurden keine signifikanten Unterschiede bei der „persönlichen Zufriedenheit und dem Nutzen des Kurses“ (Studie: $2,7 \pm 0,7$ vs. Kontrolle: $2,4 \pm 1,0$; $p = 0,97$) oder der „Gesamtbewertung des Kurses“ (Studie: $2,2 \pm 0,9$ vs. Kontrolle: $2,4 \pm 0,9$; $p = 0,09$) festgestellt.

Die Gesamtbewertung der Dozenten fiel in der Studiengruppe signifikant positiver aus, wobei beide Gruppen die Dozenten in einem sehr guten Bewertungsbereich einstufen (Studie: $1,4 \pm 0,7$ vs. Kontrolle: $1,7 \pm 0,7$; $p = 0,03$). Die Studiengruppe bewertete ihre subjektive „persönliche Gesamterfahrung beim Lernen“ jedoch signifikant schlechter als die Kontrollgruppe (Studie: $2,3 \pm 0,9$ vs. Kontrolle: $1,8 \pm 0,7$; $p < 0,0001$), was hauptsächlich auf die signifikant schlechtere

Bewertung der „Realitätsnähe des Trainings“ zurückzuführen ist (Studie: $3,5 \pm 1,6$ vs. Kontrolle: $1,7 \pm 0,9$; $p < 0,01$).

Beide Gruppen befürworteten die Verwendung eines Ultraschallsimulators zu Trainingszwecken als „Ergänzung zum Training am Menschen“ (Studie: $1,6 \pm 1,1$ vs. Kontrolle: $1,7 \pm 1,2$; $p = 0,38$), jedoch nicht als „Ersatz für das Training am Menschen“ (Studie: $5,0 \pm 2,3$ vs. Kontrolle: $5,4 \pm 2,1$; $p = 0,37$).

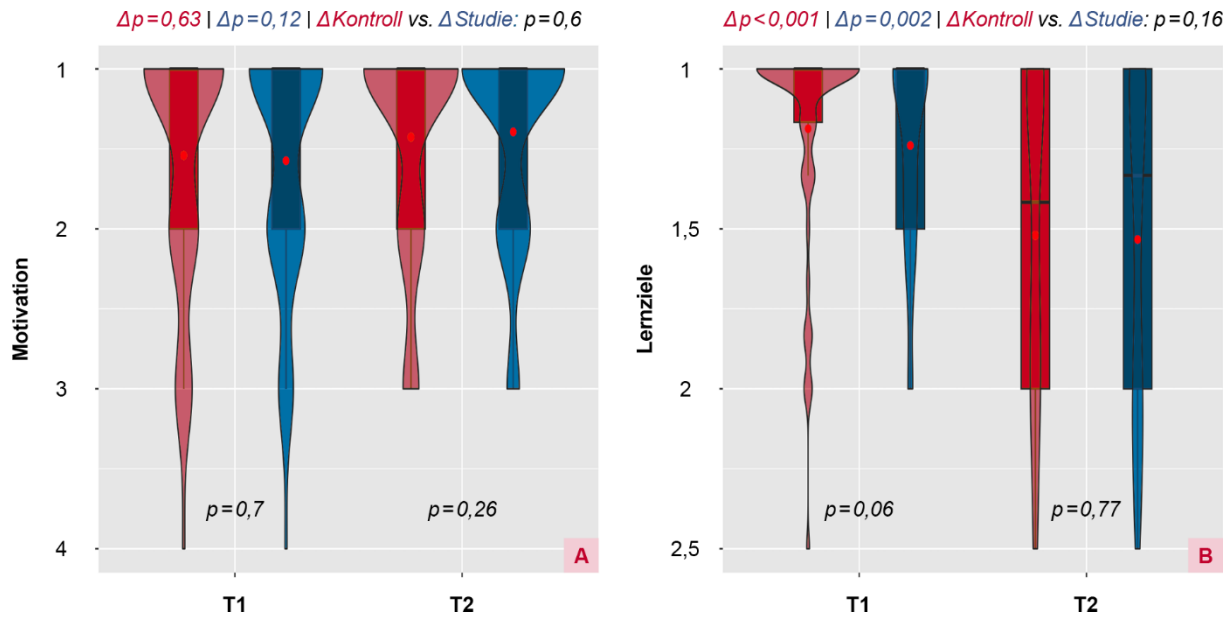


Abbildung 33: Selbstbewertung der (A) Motivation und (B) des Erreichens der Lernziele zu den Zeitpunkten T1 und T2. Die Kontrollgruppe ist in rot und die Studiengruppe in blau dargestellt.

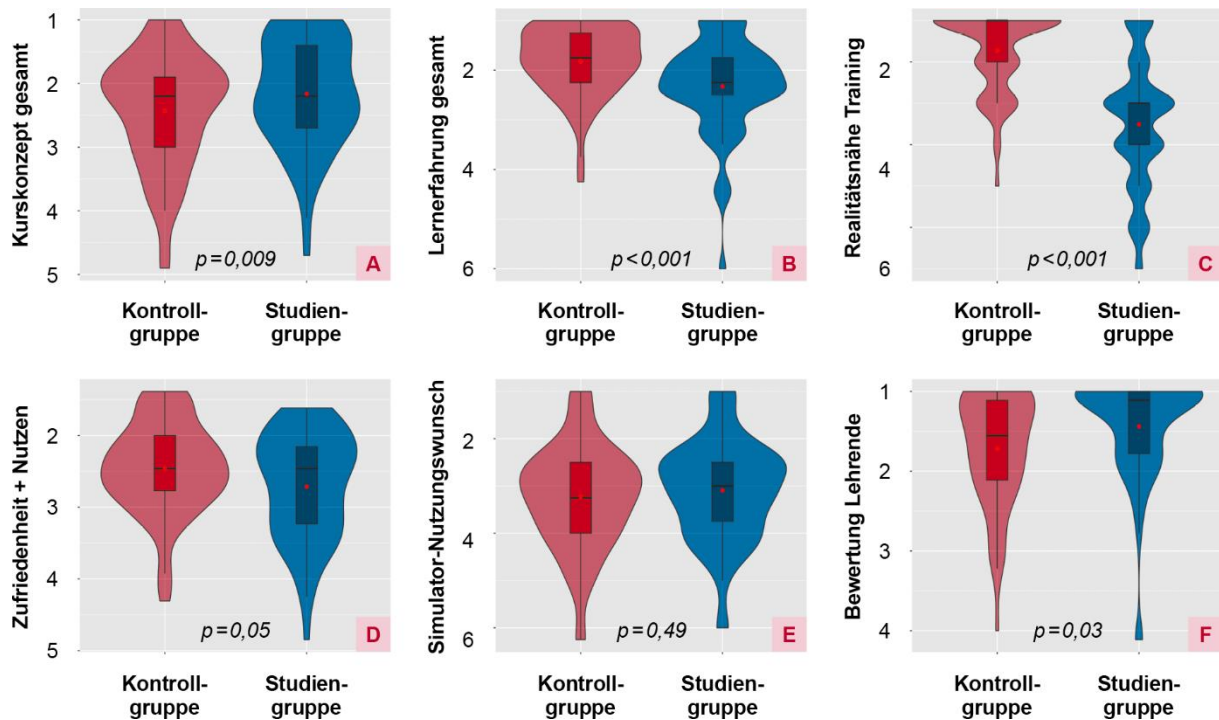


Abbildung 34: Bewertungsergebnisse bei T2 mit der Kontrollgruppe in rot und der Studiengruppe in blau dargestellt. (A) Ergebnisse der Bewertung des Kurskonzepts; (B) der Lernerfahrung; (C) der Realitätsnähe des Trainings; (D) der Zufriedenheit und des Nutzens; (E) der Bereitschaft zur Nutzung des Ultraschallsimulators; (F) der Bewertung der Dozenten.

4.3.1.3 Subjektiver Kompetenzzuwachs

Die Ergebnisse der Bewertung bei T1 und T2 sind in Abbildung 35 sowie in Tabelle J.3 (Anhang J) dargestellt. Es wurden keine signifikanten Unterschiede in der Gesamtbewertung bei T1 festgestellt (Studie: $5,3 \pm 1,1$ vs. Kontrolle: $5,3 \pm 1,2$; $p = 0,87$). Beide Gruppen berichteten über einen signifikanten Kompetenzzuwachs bis T2 (Delta $p < 0,001$) und erreichten eine ähnlich hohe selbst eingeschätzte Kompetenz (Studie: $2,6 \pm 0,7$ vs. Kontrolle: $2,7 \pm 0,7$; $p = 0,23$).

Dieser Trend galt für fast alle Unterkategorien, mit Ausnahme der „Erkennung von Pathologien“. Hier berichtete die Studiengruppe über einen signifikant höheren Kompetenzzuwachs als die Kontrollgruppe (Studie: $\Delta 3,7 \pm 1,2$ vs. Kontrolle: $\Delta 2,8 \pm 1,8$; $p < 0,01$).

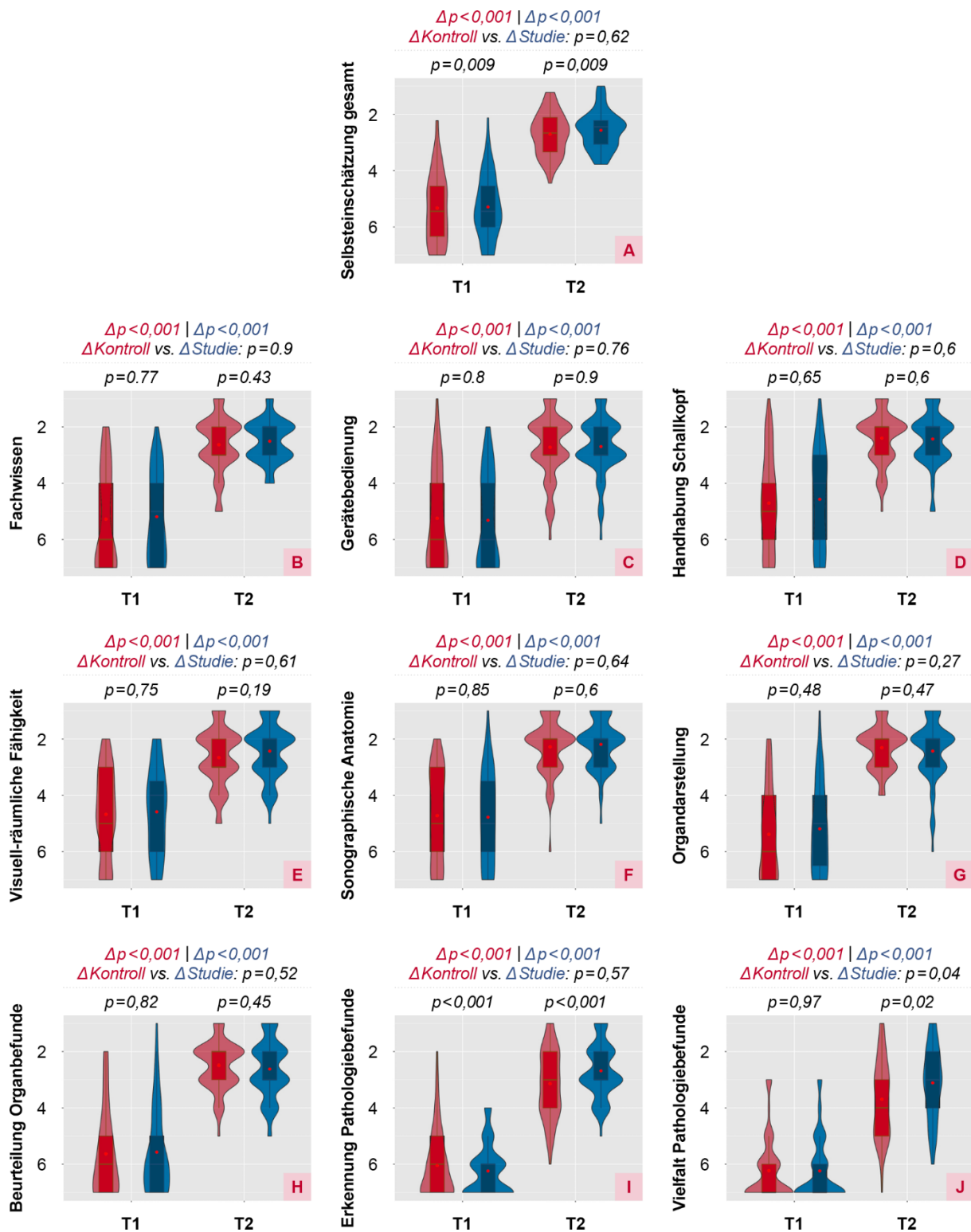


Abbildung 35: Ergebnisse der subjektiven Kompetenzentwicklung zu den Zeitpunkten T1 und T2, mit der Kontrollgruppe in rot und der Studiengruppe in blau dargestellt. (A) Gesamtbewertung; (B-J) Unterpunkte.

4.3.2 Objektiver Kompetenzzuwachs

4.3.2.1 Theorietest

Die Ergebnisse der Theorietests bei T1 und T2 sind in Abbildung 36 sowie in Tabelle J.4 (Anhang J) dargestellt. In der Gesamtbewertung schnitt die Kontrollgruppe bei T1 besser als die Studiengruppe ab (Studie: 19 ± 10 vs. Kontrolle: 24 ± 16 ; $p = 0,01$).

Während des Tests erzielten beide Gruppen einen signifikanten ($p < 0,01$) objektiven Kompetenzzuwachs und zeigten ein ähnliches Kompetenzniveau bei T2 (Studie: 56 ± 7 vs. Kontrolle: 57 ± 8 ; $p = 0,41$), wobei die Studiengruppe einen signifikant höheren Zuwachs erreichte (Studie: $\Delta 38 \pm 9$ vs. Kontrolle: $\Delta 33 \pm 14$; $p = 0,02$).

Bei den ausschließlich zu T2 geprüften Pathologien wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen festgestellt (Studie: 5 ± 2 vs. Kontrolle: 4 ± 2 ; $p = 0,16$).

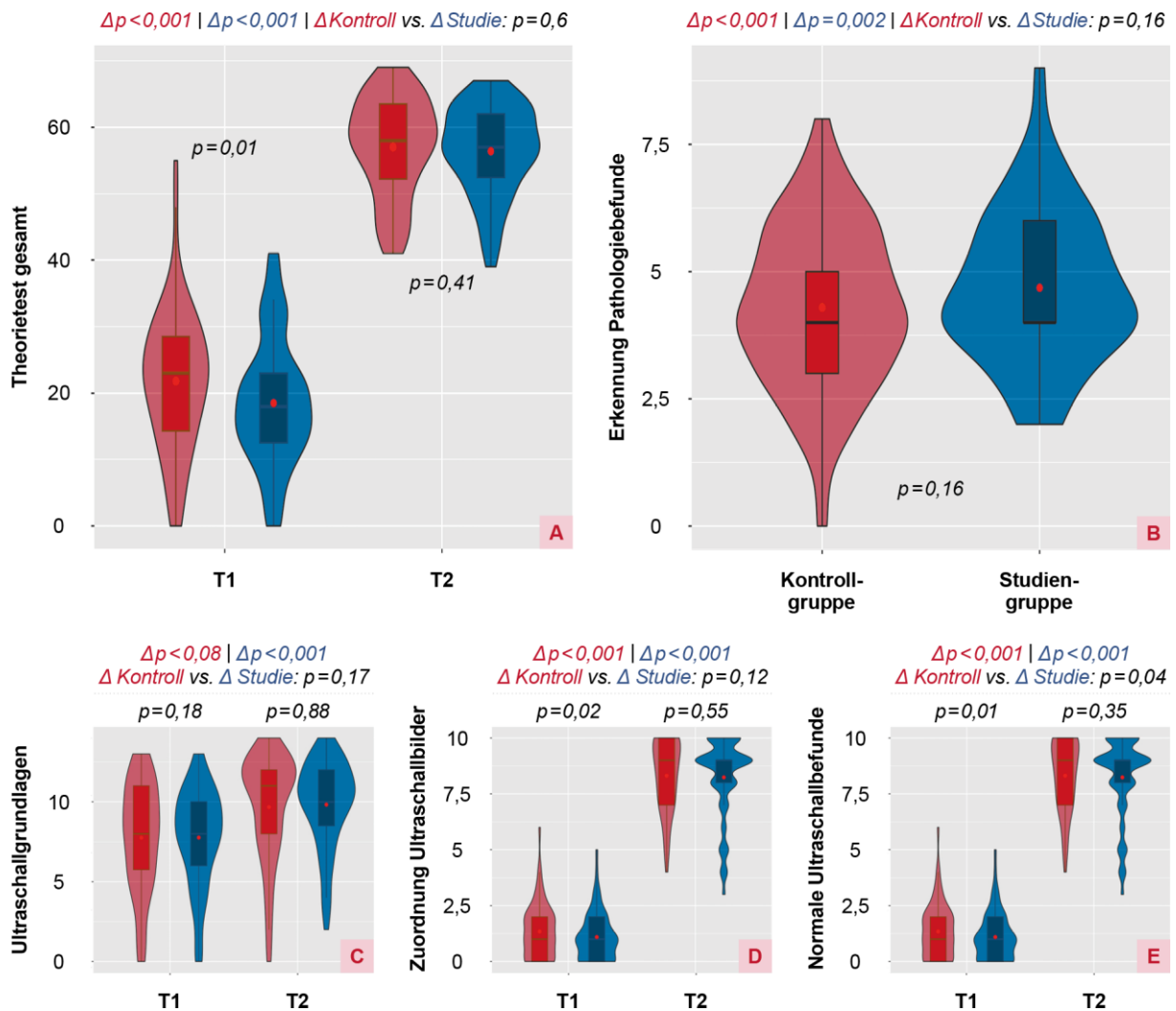


Abbildung 36: Ergebnisse des Theorietests bei T1 und T2, mit der Kontrollgruppe in rot und der Studiengruppe in blau dargestellt. (A) Die Gesamtbewertung; (B) die Unterkategorien Ultraschall-Pathologien; (C) Grundlagen; (D) Bildzuordnung; (E) Ultraschall-Normalbefunde.

4.3.2.2 Praktischer Test

Die Ergebnisse der praktischen Tests DOPS^{Sim} und $\text{DOPS}^{\text{Human}}$ zum Zeitpunkt T2 sind in Abbildung 37 sowie in den Tabellen J.5 und J.6 (Anhang J) dargestellt. Insgesamt erzielten beide Gruppen vergleichbar gute Ergebnisse der DOPS^{Sim} (Studie: 64 ± 7 vs. Kontrolle: 64 ± 8 ; $p = 0,89$) und der $\text{DOPS}^{\text{SimPatho}}$ (Studie: 37 ± 5 vs. Kontrolle: 36 ± 5 ; $p = 0,23$).

Die Kontrollgruppe erzielte jedoch signifikant bessere Ergebnisse bei der $DOPS^{Human}$ (Studie: 59 ± 10 vs. Kontrolle: 64 ± 9 ; $p < 0,01$). Dieses Muster zeigte sich auch in den Unterkategorien der jeweiligen DOPS, insbesondere im Hinblick auf die „Gerätebedienung“.

Beim Vergleich der Ergebnisse der $DOPS^{Sim}$ mit $DOPS^{Human}$ erzielte die Kontrollgruppe gleichwertige Ergebnisse in beiden DOPS ($p = 0,97$), während die Studiengruppe bei der $DOPS^{Human}$ signifikant schlechter abschnitt ($p < 0,01$).

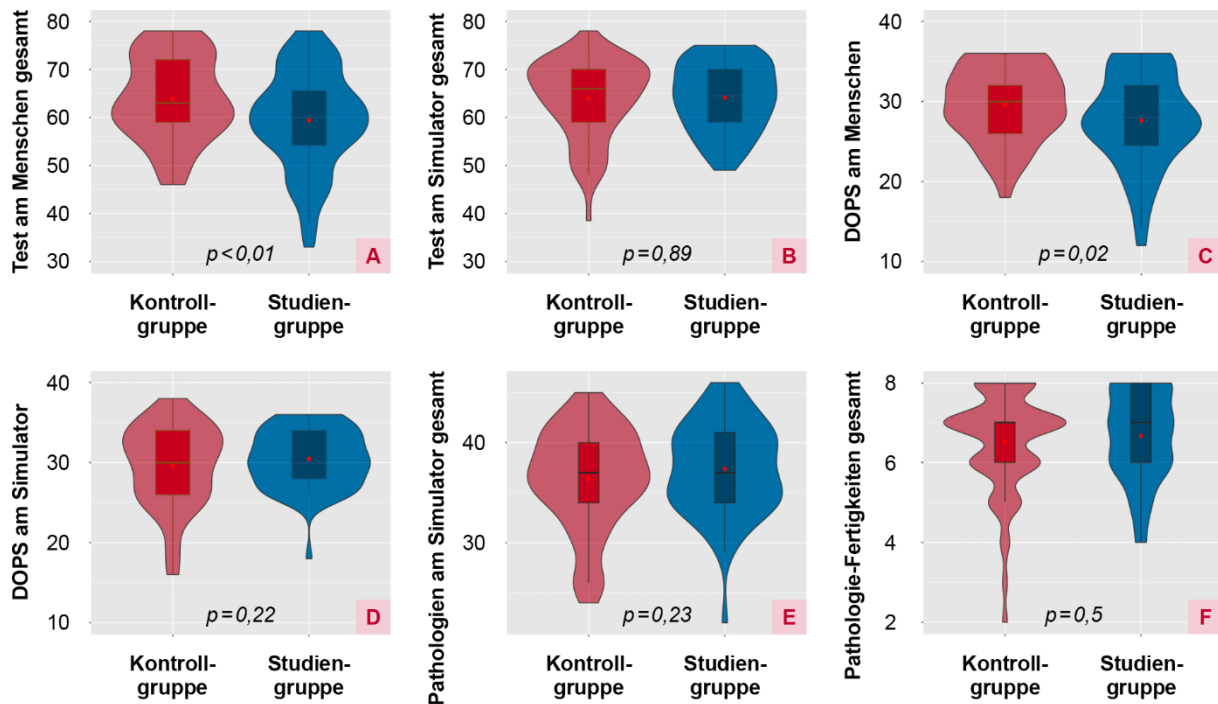


Abbildung 37: Ergebnisse des praktischen Tests zum Zeitpunkt T2 der Kontrollgruppe (rot) und der Studiengruppe (blau). Die Violin-Plots zeigen die Ergebnisse von: (A, D) $DOPS^{Human}$; (B, C) $DOPS^{Sim}$; (E, F) $DOPS^{SimPatho}$.

4.3.2.3 Einflussfaktoren und Korrelationen

Die multivariable lineare Regressionsanalyse der Theorietests und praktischen Prüfungen ergab mehrere Einflussfaktoren. Im T1-Theorietest waren die signifikanten Einflussfaktoren die Teilnahme an einem abdominellen Ultraschallkurs ($\beta = 6,51$; $p < 0,01$), bereits vorhandener Kontakt mit simulationsbasiertem Training ($\beta = 5,13$; $p = 0,02$), bereits vorhandener Kontakt mit Ultraschallsimulatoren ($\beta = 13,51$; $p < 0,01$) sowie die Zugehörigkeit zur Kontrollgruppe ($\beta = 4,24$; $p = 0,05$). Im T2-Theorietest hatte der Faktor „vorheriger Kontakt mit Ultraschallsimulatoren gehabt“ ($\beta = 3,52$; $p < 0,01$) einen signifikanten Einfluss.

In der linearen Regressionsanalyse der $DOPS^{Sim}$, $DOPS^{SimPatho}$ und $DOPS^{Human}$ wurde nur die $DOPS^{Human}$ signifikant durch die Zugehörigkeit zur Kontrollgruppe beeinflusst ($\beta = 4,76$; $p = 0,01$), während keine weiteren Einflussfaktoren festgestellt wurden. Die Korrelationen zwischen den objektiven Testergebnissen der $DOPS^{Human}$ und $DOPS^{Sim}$, $DOPS^{Human}$ und T2 sowie $DOPS^{Human}$ und $DOPS^{SimPatho}$ waren in der Kontrollgruppe signifikant höher als in der Studiengruppe ($p < 0,03$).

4.3.2.4 Zusammenfassung

Es wurden die Daten von 128 Teilnehmern analysiert (n=63 Studiengruppe; n=65 Kontrollgruppe). Beide Gruppen zeigten zwischen T1 und T2 sowohl in der Selbsteinschätzung als auch in den Theorieprüfungen einen signifikanten Kompetenzzuwachs ($p < 0,01$). In der DOPS^{Human}-Bewertung schnitt die Kontrollgruppe signifikant besser ab ($p < 0,01$) als die Studiengruppe. Während die Motivation in beiden Gruppen durchgehend hoch blieb, bewertete die Studiengruppe ihre „persönliche Gesamterfahrung beim Lernen“ und die „Realitätsnähe des Trainings“ signifikant schlechter als die Kontrollgruppe ($p < 0,01$). Beide Gruppen befürworteten den Einsatz von Ultraschallsimulatoren als „Ergänzung zum Training am Menschen“ (Studie: $1,6 \pm 1,1$ vs. Kontrolle: $1,7 \pm 1,2$; $p = 0,38$), jedoch nicht als „Ersatz für menschliches Training“ (Studie: $5,0 \pm 2,3$ vs. Kontrolle: $5,4 \pm 2,1$; $p = 0,37$).

5 Diskussion

5.1 Diskussion der ersten Stufe des Stufenmodells

Die erste Stufe des Stufenmodells umfasst eine Online-Umfrage, in der die Perspektiven und Erfahrungen von Studierenden und Ärzten im Hinblick auf simulationsbasiertes Ultraschalltraining untersucht wurden.

Diese Studie zielte darauf ab, die Perspektiven und Erfahrungen von Studierenden und Ärzten hinsichtlich der Akzeptanz und Umsetzung von simulationsbasiertem Training in der medizinischen Ausbildung umfassend zu untersuchen. Insbesondere wurden die wahrgenommenen Vorteile und Herausforderungen von Simulationstraining mit Schwerpunkt auf Ultraschallsimulatoren sowie deren Integration in die medizinischen Ausbildungscurricula analysiert.

Die Ergebnisse zeigen, dass simulationsbasiertes Training in der medizinischen Ausbildung zwar weitgehend anerkannt und genutzt wird, jedoch erhebliche Unterschiede zwischen den verschiedenen medizinischen Fachbereichen, Ausbildungsstufen und Nutzergruppen bestehen. Diese Unterschiede verdeutlichen die Notwendigkeit gezielter Strategien zur besseren Integration von simulationsbasiertem Training in die Curricula der medizinischen Aus- und Weiterbildung.

Zusätzlich weisen die Ergebnisse auf Herausforderungen bei der effektiven Umsetzung von Ultraschallsimulator-Training hin, darunter der Bedarf an standardisierten Lehrmethoden und die Bedeutung qualifizierter Lehrkräfte, um optimale Trainingsergebnisse sicherzustellen. Die Berücksichtigung dieser Aspekte ist entscheidend, um eine fundierte und hochwertige Ausbildung für zukünftige Ärztengenerationen zu ermöglichen und letztlich zu einer verbesserten Patientenversorgung beizutragen.

5.1.1 Allgemeine Einstellung gegenüber simulationsbasiertem Training

Die Umfrage zeigte signifikante Unterschiede in der Nutzung und Akzeptanz von simulationsbasiertem Training zwischen Studierenden im dritten Jahr, PJ-Studierenden und Ärzten. Wie in Abschnitt 4.1.3.1 gezeigt, berichteten die PJ-Studierenden von der höchsten Exposition gegenüber simulationsbasiertem Training, was wahrscheinlich auf ihre Teilnahme an fortgeschrittenen Kursen für klinische Fertigkeiten zurückzuführen ist. Im Gegensatz dazu zeigten Studierende im dritten Jahr und Ärzte ein geringeres Maß an Engagement in simulationsbasiertem Training.

Die am häufigsten genannten Anwendungsgebiete von Simulationen waren das Atemwegsmanagement, die Notfallmedizin und die Ultraschalldiagnostik, während die

Nutzung in der Pädiatrie und Gynäkologie deutlich seltener erfolgte. Diese Ergebnisse stimmen mit früheren Studien überein, welche die erfolgreiche Integration von Simulationen in diesen besonders relevanten Bereichen hervorheben [108-111].

Die beobachteten Unterschiede in der Wahrnehmung und Nutzung spiegeln wahrscheinlich die unterschiedlichen Bedürfnisse und Ausbildungsprioritäten der befragten Gruppen wider. Studierende in früheren Ausbildungsphasen, wie im dritten Jahr und im PJ, konzentrieren sich auf den Erwerb grundlegender Fertigkeiten in einer strukturierten und unterstützenden Umgebung. Im Gegensatz dazu legen praktizierende Ärzte möglicherweise größeren Wert auf gezieltes und spezialisiertes Training, das enger mit ihren klinischen Aufgaben und dem Berufsalltag verknüpft ist.

Trotz der anerkannten Vorteile trägt diese unterschiedliche Schwerpunktsetzung vermutlich zu der geringeren wahrgenommenen Relevanz von simulationsbasiertem Training bei praktizierenden Ärzten bei. Darüber hinaus verdeutlichen die Unterschiede in der Nutzung mögliche Lücken bei der Integration von simulationsbasiertem Training in die Curricula der medizinischen Aus- und Weiterbildung. Während Studierende, insbesondere PJ-Studierende, simulationsbasiertes Training häufig als wertvolles Instrument für den Erwerb praktischer Fertigkeiten betrachten, könnte es von Ärzten als weniger relevant angesehen werden, da sie stärker auf direkte Patientenkontakte und bereits vorhandene klinische Erfahrung zurückgreifen.

5.1.2 Herausforderungen bei der Betreuung und Integration von simulationsbasiertem Training in die Pflichtausbildung

Die Umfrageergebnisse zeigten erhebliche Unterschiede bei der Integration von simulationsbasiertem Training in die Pflichtcurricula, insbesondere unter Ärzten. Nur 14 % der Ärzte gaben an, dass simulationsbasiertes Training in ihre verpflichtenden Ausbildungsprogramme integriert wurde – ein Wert, der deutlich unter den Raten der Studierenden, insbesondere der PJ-Studierenden, liegt. Diese Diskrepanz verdeutlicht kritische Lücken bei der Einführung von Simulationstechnologien in verschiedenen Phasen der medizinischen Ausbildung, wie sie auch in der internationalen Literatur beschrieben werden [37, 112].

Die unterschiedliche Integration verdeutlicht die variierenden Schwerpunkte in den medizinischen Curricula [46]. Für Studierende, insbesondere PJ-Studierende, dient simulationsbasiertes Training häufig als grundlegender Bestandteil in Kursen für fortgeschrittene klinische Fertigkeiten und bietet strukturierte Möglichkeiten für praktische Übungen [113]. Im Gegensatz dazu verlassen sich Ärzte häufig auf praktische Erfahrung und

traditionelle Methoden zur Kompetenzentwicklung, was zu einer begrenzten curricularen Integration von simulationsbasiertem Training in der ärztlichen Weiterbildung führt [114]. Trotz der potenziellen Vorteile verdeutlichen diese Lücken die bislang unterschätzte Rolle von simulationsbasiertem Lernen in der klinischen Praxis [115].

Wie in Abschnitt 4.1.3.2 dargestellt, wurde Peer-Assisted Learning (PAL) als eine etablierte Unterrichtsmethode unter Medizinstudierenden identifiziert, insbesondere in fortgeschrittenen Ausbildungsabschnitten wie dem Praktischen Jahr [116]. PAL wird für seine kollaborativen Vorteile und die positive Resonanz unter den Lernenden anerkannt, weist jedoch auch Einschränkungen auf. Nunnink et al. betonen, dass PAL vor allem für die Peer-Dozenten selbst von Vorteil ist, während für die Lernenden die Unterstützung durch professionelle Betreuung entscheidend für die technische Genauigkeit und die Bildungsqualität bleibt [110]. Darüber hinaus zeigen Studien, dass gut ausgebildete Peer-Dozenten die Qualität der Lehrveranstaltungen wesentlich verbessern und den Lernerfolg der Teilnehmenden steigern können [117, 118]. Die Ergebnisse der Umfrage stimmen mit dieser Einschätzung überein und unterstreichen die Notwendigkeit, qualifizierte Instruktoren einzusetzen, um die Effektivität von Trainingseinheiten sicherzustellen. Eine professionelle Aufsicht ist entscheidend, um die Qualität der Simulator-Trainingserfahrungen sicherzustellen, insbesondere in ressourcenbegrenzten Umgebungen.

Neben diesen strukturellen Herausforderungen betonten die Befragten auch die Notwendigkeit einer gezielten Vermittlung von Inhalten, welche auf die Bedürfnisse unterschiedlicher Lerngruppen zugeschnitten sind. Wie in Abschnitt 4.1.3.3 hervorgehoben, äußerten Studierende den Wunsch nach grundlegender Ausbildung in Notfallmedizin und Atemwegsmanagement, während Ärzte spezialisierte Szenarien bevorzugten, die mit ihrer klinischen Expertise übereinstimmen. Diese unterschiedliche Erwartungshaltung unterstreicht die Bedeutung curricularer Reformen, die simulationsbasiertes Training in Pflichtprogramme integrieren und die unterschiedlichen inhaltlichen Anforderungen der Lernenden berücksichtigen.

Vorschläge zur Integration von simulationsbasiertem Training, wie im AMEE-Leitfaden Nr. 82 dargelegt, betonen die Bedeutung der Anpassung von Simulationscurricula an die spezifischen Bedürfnisse der Lernenden [109]. Motola et al. heben hervor, dass eine effektive Integration von Simulationen in die medizinische Ausbildung eine sorgfältige Planung, zielgruppenorientierte Lernziele sowie die Unterstützung durch professionelles Feedback und Reflexion erfordert. Darüber hinaus sollte der effiziente Einsatz von Ressourcen sichergestellt werden, um den Lernerfolg zu maximieren [109]. Ebenso betonen McGaghie et al., dass „Mastery Learning“ auf einer systematischen Bewertung der Leistung der Teilnehmenden

basiert, um Ergebnisse zu überprüfen und das Training entsprechend anzupassen [46]. Mit klaren Leitlinien können Institutionen kohärente Trainingsprogramme entwickeln, die mit den Bildungszielen und den klinischen Anforderungen übereinstimmen.

Die Ergebnisse der Umfrage verdeutlichen die Notwendigkeit einer erweiterten Integration von simulationsbasiertem Training in die Pflichtcurricula für Ärzte, um die Lücke zwischen theoretischem Wissen und praktischer Anwendung zu schließen. Die Entwicklung zielgruppenspezifischer Lerninhalte bzw. Lehrkonzepte ist dabei ebenso zentral wie die konsistente Betreuung simulationsbasierten Trainings durch qualifizierte Instruktoren. Zudem ist die Etablierung institutioneller Leitlinien erforderlich, um eine standardisierte Umsetzung und Bewertung zu unterstützen. Durch die Fokussierung auf diese Bereiche kann die medizinische Ausbildung das Potenzial von Simulationstechnologien besser nutzen, um Lernergebnisse zu verbessern und Ausbildungslücken über alle Ausbildungsstufen hinweg zu schließen.

5.1.3 Vorteile und die Notwendigkeit adaptiver Lehrmethoden

Die Ergebnisse aus den Abschnitten 4.1.3.3 und 4.1.3.4 verdeutlichen die vielfältigen Anforderungen und Herausforderungen im Zusammenhang mit simulationsbasiertem Training. Während die wahrgenommenen Vorteile von Simulatoren – wie die Verbesserung klinischer Fähigkeiten, der erleichterte Transfer theoretischen Wissens in praktische Anwendungen sowie die Förderung der Eigenverantwortung der Lernenden – weiterhin anerkannt sind [109, 113], bestehen weiterhin erhebliche Einschränkungen. Dazu zählen hohe Kosten, technische Begrenzungen und ein begrenzter Realismus, welche alle die subjektiv empfundene Anwendbarkeit von Simulatoren in der klinischen Praxis beeinträchtigen [46, 119].

Die Bewältigung dieser Herausforderungen erfordert eine Anpassung der Lehrmethoden an die unterschiedlichen Bedürfnisse der Lernenden. Wie in Abschnitt 4.1.3.4 dargelegt, bevorzugten Studierende standardisierte Grundlagenkurse, insbesondere in den Bereichen Notfallmedizin und Atemwegsmanagement. Im Gegensatz dazu betonten Ärzte die Bedeutung spezialisierter Szenarien, die mit ihrer klinischen Expertise und ihren täglichen Anforderungen übereinstimmen. Diese unterschiedlichen Erwartungen verdeutlichen die Notwendigkeit, Curricula zu entwickeln, die sowohl Anfängern als auch Fortgeschrittenen gerecht werden und sicherstellen, dass die Trainingsinhalte praxisrelevant und anwendbar sind.

Khamis et al. schlagen hierfür einen strukturierten sechsstufigen Ansatz zur Etablierung von simulationsbasiertem Training vor. Dieser Ansatz umfasst die Durchführung einer Bedarfsanalyse, die Festlegung messbarer Lernziele, die Auswahl geeigneter Lehrstrategien

sowie die Implementierung und Evaluation des Curriculums [120]. Diese Prinzipien stimmen mit den Ergebnissen dieser Studie überein und unterstreichen die Bedeutung einer bedarfsorientierten und anpassungsfähigen Gestaltung von Trainingsprogrammen.

Ein weiterer zentraler Aspekt ist die Verbesserung des Realismus von Simulationstraining. Wie in Abschnitt 4.1.3.5 dargestellt, wurde der Mangel an Realismus von den Befragten häufig als Hindernis für effektives Lernen genannt. Die Erhöhung der Simulationsgenauigkeit und die Anpassung der Trainingsszenarien an reale klinische Anforderungen sind daher essenziell, um diese Lücke zu schließen [121]. Dies umfasst die Integration von High-Fidelity-Simulatoren und die Entwicklung von Szenarien, welche die klinischen Rahmenbedingungen und Abläufe möglichst realitätsnah abbilden [113].

Trotz der vorhandenen Einschränkungen bietet simulationsbasiertes Training erhebliche langfristige Vorteile. Fletcher et al. heben hervor, dass die hohen Anschaffungskosten von Simulatoren durch deren Potenzial zur Verbesserung von Sicherheit, Effizienz und Lernresultaten gerechtfertigt werden [122]. Auch die Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass viele Befragte Budgetbeschränkungen als nachrangig im Vergleich zu den umfassenderen Vorteilen von Simulationstraining betrachteten. Dies verdeutlicht die Notwendigkeit einer strategischen Ressourcenallokation, um eine kosteneffiziente Umsetzung simulationsbasierter Trainingsprogramme sicherzustellen.

Der Erfolg von simulationsbasiertem Training hängt jedoch nicht nur von der Technologie, sondern auch von der Verfügbarkeit gut ausgebildeter Instruktoren und ausreichend strukturierter Lehrmaterialien ab. Motola et al. betonen, dass eine effektive Integration von Simulation in die medizinische Ausbildung professionelles Feedback, die effiziente Nutzung von Ressourcen und eine kontinuierliche Programmbewertung erfordert [109]. Durch die Umsetzung dieser Strategien kann die medizinische Ausbildung das volle Potenzial von Simulationstechnologien nutzen, um die Lernergebnisse zu optimieren und die unterschiedlichen Bedürfnisse der Lernenden effektiv berücksichtigen.

5.1.4 Training am Ultraschallsimulator

In der Studie berichtete die Mehrheit der Befragten aus allen Gruppen über frühere Erfahrungen mit Ultraschallsimulatoren, wie in Abschnitt 4.1.3.6 dargestellt. Diese Erfahrungen bezogen sich überwiegend auf kurze Einweisungen, Demonstrationen oder einzelne Probiersequenzen im Rahmen von Kursen oder Hospitationen; ein strukturiertes oder wiederholt durchgeführtes Simulationstraining wurde hingegen nur selten berichtet. Die tatsächliche Nutzung des spezifischen Ultraschallsystems, des in dieser Stufe eingesetzten CAE Vimedix-Simulators, war jedoch gering, mit Nutzungsraten im einstelligen Prozentbereich

in allen Gruppen. Diese Diskrepanz könnte auf die große Vielfalt der verfügbaren Ultraschallsimulatoren zurückzuführen sein, wie auch in früheren Studien festgestellt wurde [64]. Diese Vielfalt unterstreicht die Notwendigkeit einer Standardisierung und Vergleichbarkeit, um reproduzierbare Trainingsergebnisse sicherzustellen.

Die Standardisierung sollte sowohl die technischen Spezifikationen der Herstellergeräte als auch das didaktische Design der Kurse beinhalten, um eine gleichbleibende Qualität in verschiedenen Trainingsprogrammen zu gewährleisten. Simulationsbasiertes Training hat sich bereits als eine effektive Methode zur Vermittlung von Ultraschallfähigkeiten erwiesen und die klinischen Fähigkeiten von Assistenzärzten signifikant verbessert [1, 63]. Weitreichende Bedarfsanalysen haben die Bedeutung der Entwicklung standardisierter simulationsbasierter Trainingsprogramme für verschiedene ultraschallbasierte Techniken hervorgehoben [123]. Bereits heute sind verschiedene simulationsbasierte Trainingsmodule, darunter grundlegende Ultraschalltechniken, ultraschallgestützte Interventionen, Interpretationsfähigkeiten, Professionalität und Teamtraining, in die medizinischen Curricula der Aus- und Weiterbildung integriert [86, 124].

Die Ergebnisse der durchgeführten Befragung zeigen außerdem, dass praktische Übungen mit Ultraschallsimulatoren entscheidend für den Kompetenzerwerb sind, insbesondere bevor diese Verfahren am Patienten angewendet werden. Wie in Abschnitt 4.1.3.7 gezeigt, bewerteten die Befragten den Realismus und die klinische Anwendbarkeit des Ultraschallsimulators und identifizierten dabei sowohl Stärken als auch Verbesserungspotenziale. Dies steht im Einklang mit früheren Forschungsergebnissen, welche die Bedeutung von Übungen am Simulator vor der Anwendung am Patienten hervorheben [125]. Die Entwicklung strukturierter Trainingsprogramme und praktischer Übungen ist daher von zentraler Bedeutung.

Darüber hinaus sind Instrumente zur Messung des Lernerfolgs erforderlich. Der Ansatz der „Direct Observation of Procedural Skills“ (DOPS) hat sich in diesem Zusammenhang als effektiv erwiesen. DOPS bieten eine wertvolle Möglichkeit, den Erfolg beim Erwerb praktischer Fähigkeiten im Zusammenhang mit Ultraschallsimulatoren zu überwachen und zu bewerten [107].

Um die Nutzung von Ultraschallsimulatoren in der medizinischen Ausbildung zu optimieren, ist es entscheidend, sowohl die Trainingsinhalte als auch die Simulatoren selbst regelmäßig zu evaluieren und an die sich verändernden Bedürfnisse verschiedener Lerngruppen anzupassen. Dies beinhaltet die Verbesserung des Realismus und der Benutzerfreundlichkeit von Simulatoren sowie die Sicherstellung, dass die Trainingsszenarien den klinischen Kontext widerspiegeln, in dem die Lernenden später tätig sein werden. Durch diese Maßnahmen lässt

sich die Lücke zwischen Simulation und realer klinischer Praxis schließen, was letztlich zu einer höheren Trainingsqualität und besseren Patientenergebnissen führt.

5.1.5 Ansprüche an die Nutzung und Weiterentwicklung von Ultraschallsimulatoren

Die Ergebnisse aus den Abschnitten 4.1.3.6 und 4.1.3.7 verdeutlichen die unterschiedlichen Anforderungen und Erwartungen an Ultraschallsimulatoren in verschiedenen Lerngruppen. Während die Simulatoren insgesamt positiv bewertet wurden, zeigten die Bewertungen einzelner Merkmale wie Realismus und Benutzerfreundlichkeit eine erhebliche Variabilität. Dies unterstreicht die Notwendigkeit, Simulatoren gezielt auf die Bedürfnisse der jeweiligen Zielgruppe auszurichten, um sicherzustellen, dass sowohl Studierende als auch Ärzte von einem praxisnahen und relevanten Training profitieren. Aspekte wie Realismus und die direkte Anwendbarkeit auf reale klinische Bedingungen erhielten durchweg niedrigere Bewertungen. Dies steht im Einklang mit der Einschätzung, dass die Auswahl von Simulationsequipment die spezifischen Ziele des Trainingsprogramms, die Zielgruppe und den Bildungskontext stärker berücksichtigen sollte als den reinen Realismus [98].

Ein zentraler Aspekt ist die Abstimmung des Simulationsequipments auf die Ziele des Trainingsprogramms. Frühere Studien, darunter die von Ostergaard et al., haben gezeigt, dass kein einzelner Simulator alle Anforderungen gleichermaßen erfüllen kann. In ihrer Bewertung von Virtual-Reality-Simulatoren für die Abdomensonographie stellten sie fest, dass alle Systeme zwar erhebliche Lernvorteile bieten, die Präferenzen jedoch stark von den Anforderungen der Nutzer abhängen – beispielsweise von der Bildqualität, der Benutzerfreundlichkeit und der allgemeinen Zufriedenheit [64]. Diese Variabilität verdeutlicht die Bedeutung eines flexiblen und zielgerichteten Trainingsdesigns, das die spezifischen Bedürfnisse jeder Lerngruppe berücksichtigt.

Studierende, insbesondere diejenigen in einer frühen Phase der medizinischen Ausbildung, konzentrieren sich häufig auf den Erwerb grundlegender Fähigkeiten wie die Bildaufnahme und -interpretation. Im Gegensatz dazu legen Ärzte größeren Wert auf die Bewältigung komplexer diagnostischer Herausforderungen und spezialisierter Anwendungen. Diese unterschiedlichen Schwerpunkte unterstreichen die Notwendigkeit, Trainingsprogramme so zu gestalten, dass die Inhalte und Methoden an das Erfahrungsniveau und die Lernziele der Teilnehmenden angepasst sind.

Darüber hinaus sind regelmäßige Überprüfungen und Anpassungen der Trainingscurricula unerlässlich, um den sich wandelnden Bedürfnissen und Erwartungen der medizinischen Lernenden gerecht zu werden. Wie in Abschnitt 4.1.3.7 hervorgehoben, äußerten die Befragten eine starke Nachfrage nach verbessertem Realismus und einer besseren

Anwendbarkeit von Simulatoren auf reale klinische Szenarien. Die Erfüllung dieser Erwartungen erfordert eine enge Zusammenarbeit zwischen Ausbildern und Herstellern, um die technischen Spezifikationen der Simulatoren und die Lehrstrategien kontinuierlich zu optimieren.

Die medizinische Ausbildung kann die Effektivität von Ultraschallsimulatoren bei der Verbesserung klinischer Kompetenzen und der Erfüllung der vielfältigen Anforderungen der Lernenden sicherstellen, indem adaptive Schulungsmaterialien entwickelt und regelmäßig Feedback aus unterschiedlichen Lerngruppen einbezogen werden. Dieser Ansatz maximiert die Wirkung von Simulationstechnologien und sorgt dafür, dass Trainingsprogramme mit dem übergeordneten Ziel einer verbesserten Patientenversorgung durch eine qualitativ hochwertige Ausbildung in Einklang stehen.

5.1.6 Limitationen

Ein potenzieller Selektionsbias der durchgeführten Befragung, der sich aus ihrer Einbettung in spezifische Ultraschallkurse für unterschiedliche Zielgruppen ergibt, ist zu berücksichtigen. Die Unterschiede im Kursinhalt und in den Lehrmethoden zwischen der Abdomensonographie für Ärzte, dem Ultraschalltraining für Studierende im dritten Jahr und den klinischen Fertigkeiten für PJ-Studierende könnten die Wahrnehmung und Bewertung des simulationsbasierten Trainings durch die Teilnehmenden beeinflusst haben. Darüber hinaus könnte der spezifische Fokus der Kurse das Vorwissen der Teilnehmenden und ihre Erwartungen an das Simulationstraining geprägt haben.

Eine weitere Einschränkung betrifft die Heterogenität innerhalb der Gruppe der Ärzte in Bezug auf ihre medizinischen Fachrichtungen. Während die Innere Medizin und die Chirurgie gut vertreten waren, waren andere Fachrichtungen weniger stark repräsentiert, was die Generalisierbarkeit der Ergebnisse möglicherweise eingeschränkt hat. Künftige Studien sollten daher eine ausgewogenere Repräsentation der Fachrichtungen anstreben, um die unterschiedlichen Bedürfnisse und Wahrnehmungen von simulationsbasiertem Training im medizinischen Bereich besser abzubilden.

Die unterschiedlichen Erfahrungsniveaus im Umgang mit Simulationstraining, insbesondere unter älteren Ärzten, könnten zu einem selektiven Expositions- oder Bestätigungsbias unter den Studienteilnehmenden geführt haben. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit eines Erinnerungsbias, da die früheren Erfahrungen der Ärzte mit simulationsbasiertem Training häufig zu einem früheren Zeitpunkt ihrer Karriere oder während der Weiterbildung stattfanden. Dies könnte die Genauigkeit und Objektivität der Antworten beeinflusst haben.

5.1.7 Fazit

Die Studie zeigt deutliche Unterschiede in der Wahrnehmung und Erfahrung von simulationsbasiertem Training zwischen Medizinstudierenden und Ärzten. Trotz unterschiedlicher Berührungspunkte mit diesen Lehrmethoden in den verschiedenen Phasen der medizinischen Ausbildung erkannten alle Gruppen die Vorteile der Simulation und betonten deren Bedeutung für die praktische Anwendung und die Patientensicherheit. Dieses Ergebnis unterstreicht die Notwendigkeit, simulationsbasiertes Training unabhängig vom Ausbildungsstand oder der Fachrichtung systematisch in die medizinischen Curricula zu integrieren.

Besonderes Augenmerk sollte darauf gelegt werden, die Lehrmethoden an die unterschiedlichen Bedürfnisse der jeweiligen Lerngruppen anzupassen, um eine fundierte und praxisorientierte Ausbildung zu gewährleisten. Die Ergebnisse deuten zudem darauf hin, dass das Ultraschallsimulator-Training – insbesondere im Rahmen zertifizierter Kurse – eine wertvolle Ergänzung darstellt, um fundiertes, nachhaltiges und standardisiertes Wissen und Fähigkeiten im Bereich Ultraschall zu vermitteln.

Weitere Forschung auf diesem Gebiet ist erforderlich, um die Lehrkonzepte gezielt an die Bedürfnisse unterschiedlicher Zielgruppen anzupassen. Dies würde die Lehrmethoden optimieren und zu einer sicheren und effizienten Patientenversorgung beitragen. Dieser Ansatz ist entscheidend, um den Herausforderungen der modernen medizinischen Ausbildung gerecht zu werden und die Qualität der medizinischen Versorgung kontinuierlich zu verbessern.

5.2 Diskussion der zweiten Stufe des Stufenmodells: Entwicklung eines Kurskonzeptes zur Einführung der simulationsbasierten Ultraschalllehre und Ausbildung der Ultraschalldozenten

5.2.1 Einleitung und Überblick

Die zweite Stufe des Stufenmodells widmet sich der Evaluation eines strukturierten, selbstgesteuerten Lernprogramms zur Ultraschallausbildung unter Nutzung eines Simulators. Ziel war es, subjektive und objektive Kompetenzentwicklungen, das Nutzungsverhalten sowie die Bewertung des didaktischen Materials durch die Teilnehmenden zu analysieren. Die Ergebnisse zeigen, dass das entwickelte Lernprogramm sowohl zu signifikanten objektiven Kompetenzzuwächsen als auch zu differenzierten Veränderungen in der subjektiven Selbsteinschätzung führte und damit wertvolle Einblicke in Lernprozesse im Kontext des selbstgesteuerten Lernens (self-directed learning, SDL) ermöglicht.

5.2.2 Einfluss der Vorerfahrung auf den Kompetenzzuwachs

Die Analyse der Einflussfaktoren verdeutlicht, dass Teilnehmende mit umfangreicher praktischer Vorerfahrung zu Studienbeginn signifikant niedrigere subjektive Selbsteinschätzungen bei gleichzeitig höheren objektiven Ausgangsleistungen aufwiesen. Dieses Muster spricht für eine differenziertere und kritischere Selbsteinschätzung bei fortgeschrittener Erfahrung und steht im Einklang mit dem in der Literatur beschriebenen Zusammenhang zwischen Expertisegrad und realistischer Selbstbewertung [126].

Gleichzeitig zeigte sich, dass Unterschiede in den objektiven Ausgangsleistungen zum Zeitpunkt T2 nicht mehr nachweisbar waren, was auf einen Angleichungseffekt im Verlauf des Lernprogramms hindeutet. Damit konnte auch bei weniger erfahrenen Dozierenden ein vergleichbares Kompetenzniveau erreicht werden. Dieser nivellierende Effekt unterstreicht das Potenzial selbstgesteuerter, simulationsgestützter Lernformate zur Reduktion heterogener Ausgangsvoraussetzungen und zur Standardisierung von Ausbildungsniveaus [113].

Die beobachtete Verringerung der Streuung in den Testergebnissen zu T2 stützt diese Annahme zusätzlich.

5.2.3 Subjektive Einschätzung und realistische Selbsteinschätzung

Die subjektiven Kompetenzeinschätzungen blieben über den Studienverlauf hinweg weitgehend stabil. Diese Stabilität ist vor dem Hintergrund der gleichzeitig nachgewiesenen objektiven Kompetenzzuwächse bemerkenswert und weist darauf hin, dass subjektive Selbsteinschätzungen nicht linear mit objektiven Leistungsparametern verknüpft sind. Die fehlende Korrelation zwischen subjektiver Einschätzung und objektivem Kompetenzzuwachs spricht gegen eine direkte Leistungsrückmeldung über die Selbsteinschätzung, deutet jedoch auf eine zunehmende kritische Auseinandersetzung mit den eigenen Fähigkeiten hin.

Dieses Muster lässt sich im Sinne theoretischer Modelle der Kompetenzentwicklung interpretieren, wonach mit wachsender Erfahrung auch das Bewusstsein für die Komplexität eines Aufgabenfeldes zunimmt und Selbsteinschätzungen entsprechend differenzierter ausfallen („conscious incompetence“) [29]. Ein zunehmendes Bewusstsein für die Komplexität sonographischer Diagnostik und ein wachsendes Anspruchsniveau könnten erklären, warum die Teilnehmenden trotz Verbesserung ihrer Leistung auf eine kritische Selbsteinschätzung beharrten.

5.2.4 Nutzungsverhalten und Individualisierung im Lernprozess

Das Nutzungsverhalten am Simulator wie auch die Nutzung des Lernprogramms über das Handbuch waren individuell unterschiedlich ausgeprägt. Die selektive Bearbeitung einzelner Lerneinheiten und die große Streuung hinsichtlich des zeitlichen Aufwands sprechen für eine

hohe Individualisierung des Lernprozesses. Dieses Ergebnis entspricht zentralen Charakteristika selbstgesteuerten Lernens, bei dem Lernende Inhalte adaptiv, bedarfsorientiert und in unterschiedlicher Intensität bearbeiten [23, 26]. Bemerkenswert ist, dass trotz stark variierender Bearbeitungsdauer signifikante Kompetenzzuwächse erzielt wurden. Dies deutet darauf hin, dass das Lernprogramm auch bei individueller Nutzung eine ausreichende strukturelle Tiefe aufweist, um effektive Lernprozesse zu ermöglichen.

5.2.5 Haltung gegenüber simulationsbasiertem Training

Die im Rahmen der Studie dokumentierte positive Grundhaltung gegenüber simulationsbasiertem Training steht im Einklang mit früheren Arbeiten, die SBT als wirksames Instrument zur Integration praktischer Kompetenzen in die medizinische Ausbildung hervorheben [33]. Die hohe Zustimmung zur curricularen Verankerung simulationsbasierter Formate verdeutlicht zudem die wahrgenommene Relevanz dieser Lehrmethoden aus Sicht angehender und aktiver Lehrender. Die differenzierte Einschätzung der eigenen Rolle als Dozent am Simulator legt nahe, dass simulationsbasierte Lehre neben technischen Fertigkeiten auch pädagogische und didaktische Kompetenzen erfordert. Diese Erkenntnis stützt die Forderung nach gezielter methodischer Begleitung, wie sie auch in der Literatur mehrfach betont wurde – etwa von Mackay et al. [33] und Ricotta et al. [23, 24].

5.2.6 Objektiver Kompetenzgewinn

Die objektiven Kompetenzzuwächse waren in allen Testbereichen signifikant und mit mittleren bis hohen Effektstärken verbunden. Besonders ausgeprägt waren die Zuwächse in den Bereichen Grundlagen und Normalbefunde, während der Bereich Pathologien geringere, jedoch ebenfalls signifikante Effekte zeigte. Diese Unterschiede lassen sich plausibel durch die höheren kognitiven Anforderungen und die größere diagnostische Komplexität pathologischer Befunde erklären, die mit einer erhöhten intrinsischen kognitiven Belastung einhergehen [127].

Die Ergebnisse stimmen mit Studien überein, die simulatorgestützte, selbstgesteuerte Lernformate als effektive Strategie zur Wissensvermittlung in der Ultraschallausbildung beschreiben [30, 31]. Die Ergebnisse legen nahe, dass strukturierte Selbstlernangebote auch bei komplexen Inhalten zu Kompetenzzuwächsen beitragen können, was insbesondere für die Weiterentwicklung modularer Ultraschallcurricula relevant ist.

5.2.7 Bewertung des Benutzerhandbuchs

Die positiven Bewertungen des Benutzerhandbuchs und der Lerneinheiten sowie deren Zusammenhang mit subjektiven Einschätzungen sprechen für die zentrale Rolle strukturierter Lernmaterialien im selbstgesteuerten Lernprozess. Die Ergebnisse unterstützen die Annahme, dass klar strukturierte und didaktisch aufbereitete Materialien die Selbststeuerung erleichtern

und Lernprozesse stabilisieren. Diese Beobachtung deckt sich mit den Befunden von Morales Castro et al. [36], die strukturierten Lernmaterialien eine unterstützende Funktion für nachhaltige Kompetenzentwicklung zuschreiben. Auch der Zusammenhang zwischen Materialqualität, wahrgenommenem Nutzen und Lernmotivation wird durch die vorliegenden Ergebnisse gestützt [25, 36].

5.2.8 Motivation und Aufrechterhaltung des Lernverhaltens

Die im Studienverlauf beobachtete Abnahme der anfänglich hohen Lernmotivation ist im Kontext selbstgesteuerter Lernprozesse nicht ungewöhnlich. Sie kann als Ausdruck zunehmender Reflexion, realistischer Selbsteinschätzung und veränderter Erwartungshaltungen interpretiert werden [27, 33]. Entscheidend ist, dass trotz sinkender Motivation ein signifikanter objektiver Kompetenzzuwachs erreicht wurde, was für die Robustheit selbstgesteuerter Lernformate spricht. Zusätzliche didaktische Elemente wie Feedback, tutorielle Begleitung oder adaptive Lernpfade könnten künftig dazu beitragen, Motivation langfristig zu stabilisieren und Drop-out-Effekte zu reduzieren [28].

Darüber hinaus legen die Ergebnisse nahe, dass motivationsfördernde didaktische Elemente, wie beispielsweise Etappenziele oder ein transparenter Lernfortschritt, potenziell zur Stabilisierung der Motivation beitragen könnten. Besonders bei längeren oder selbststrukturierten Lernphasen erscheint die gezielte Integration solcher Elemente sinnvoll, um den subjektiven Lernprozess als kontrollierbar und zielführend zu unterstützen.

Vor diesem Hintergrund ist zu berücksichtigen, dass die zu Studienbeginn formulierten Lernziele von den Teilnehmenden zu T2 überwiegend als erreicht eingeschätzt wurden, obwohl sich parallel eine signifikante Abnahme der Lernmotivation zeigte. Besonders hohe subjektive Zielerreichungen wurden in den Bereichen der technischen und praktischen Ultraschallfertigkeiten sowie der standardisierten Untersuchungsdurchführung berichtet. Gleichzeitig weisen die objektiven Testergebnisse darauf hin, dass die Kompetenzzuwächse in komplexeren Bereichen, insbesondere bei der Beurteilung pathologischer Befunde, geringer ausfielen als in grundlegenden Inhaltsbereichen.

Diese Diskrepanz zwischen subjektiver Zielerreichung und differenzierten objektiven Kompetenzzuwächsen unterstreicht die Bedeutung einer klaren Operationalisierung von Lernzielen sowie deren expliziter Verknüpfung mit überprüfbaren Leistungsindikatoren. Insbesondere in selbstgesteuerten Lernsettings erscheint es sinnvoll, Lernziele nicht nur transparent zu kommunizieren, sondern sie durch formative Rückmeldungen und strukturierte Lernpfade kontinuierlich zu begleiten, um auch bei komplexen Inhalten eine realistische Selbsteinschätzung und eine gezielte Vertiefung zu fördern.

5.2.9 Limitationen der zweiten Stufe des Stufenmodells

Die zweite Stufe des Stufenmodells untersuchte die Wirksamkeit eines strukturierten, selbstgesteuerten Lernprogramms zur Ultraschallausbildung. Trotz der vielversprechenden Ergebnisse ergeben sich aus dem Studiendesign und der Umsetzung mehrere Limitationen:

Zum einen handelt es sich um eine Pilotstudie mit einer relativ kleinen Stichprobe, was die Generalisierbarkeit der Ergebnisse einschränkt. Die Teilnehmenden wurden gezielt aus einer Kohorte (Ultraschalldozenten des sonoforklinik-students-Projekts) rekrutiert, die bereits eine gewisse Affinität zur sonographischen Lehre aufwies. Dies könnte zu einer Selektionsverzerrung (selection bias) geführt haben.

Zudem basiert ein Großteil der Erhebung auf subjektiven Einschätzungen der Teilnehmenden. Zwar wurden diese durch objektive Tests ergänzt, jedoch bleiben Selbstangaben anfällig für soziale Erwünschtheit oder individuelle Verzerrungen. Eine Kombination mit extern validierten Leistungserhebungen oder Langzeitfolgen (z. B. Anwendung in der klinischen Praxis) wäre wünschenswert.

Ein weiterer potenzieller Verzerrungsfaktor betrifft die nicht kontrollierte Bearbeitungsdauer des Lernprogramms. Da das selbstgesteuerte Format eine hohe Flexibilität erlaubte, variierten die individuellen Bearbeitungszeiten stark. Dies erschwert eine einheitliche Vergleichbarkeit und verhindert Rückschlüsse auf eine dosisabhängige Wirkung des Trainings.

Schließlich bleibt offen, inwiefern die erzielten Kompetenzzuwächse langfristig erhalten bleiben. Die Studie erfasst vor allem kurzfristige Effekte, ohne eine Follow-up-Messung zur Lernstandsstabilität vorzunehmen. Auch die Wirkung auf patientenbezogene Ergebnisse wurde nicht untersucht, was die externe Validität einschränkt.

5.2.10 Gesamtbewertung und curriculare Relevanz

Zusammenfassend zeigen die Ergebnisse der zweiten Stufe des Stufenmodells, dass selbstgesteuertes, simulationsgestütztes Lernen einen wirksamen Beitrag zur Ultraschallausbildung leisten kann – sowohl im Hinblick auf objektive Kompetenzgewinne als auch auf die Förderung realistischer Selbsteinschätzung.

Die Befunde bestätigen zentrale Annahmen der SDL-Literatur und unterstreichen die Bedeutung strukturierter, flexibler und praxisnaher Lernmaterialien.

Für die curriculare Weiterentwicklung erscheint es sinnvoll, selbstgesteuerte Simulationsmodule als komplementären Bestandteil bestehender Lehrformate zu etablieren und durch diagnostische Lernstandserhebungen sowie Feedbackmechanismen zu ergänzen.

5.3 Diskussion der dritten Stufe des Stufenmodells: Die FATE-Sim-Studie

5.3.1 Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse und Relevanz der Forschung

In der dritten Stufe des Stufenmodells wurde eine randomisierte Studie durchgeführt, welche die Effektivität simulationsbasierten Ultraschalltrainings im Vergleich zum traditionellen Ultraschalltraining am Patienten im Rahmen der fokussierten transthorakalen Echokardiographie (FATE) untersucht. Sie ist die erste Studie, die sich auf simulationsbasiertes Echokardiographie-Training konzentriert und ein gesamtes Semester von Studierenden während der klinischen Phase des Medizinstudiums untersucht.

Die Ergebnisse zeigen, dass beide Trainingsansätze zu einem signifikanten Kompetenzzuwachs führen können. Allerdings erreichten die ausschließlich auf Simulatoren geschulten Teilnehmenden bei der Durchführung von Untersuchungen an realen Patienten nicht vergleichbar gute Ergebnisse. Zudem berichteten die Teilnehmenden, dass Ultraschallsimulatoren im Training als „Ergänzung“ zum Training am Patienten angesehen werden können, jedoch nicht als gleichwertiger „Ersatz“ akzeptiert werden.

Die Ergebnisse liefern wichtige Erkenntnisse über die potenziellen Vorteile, Nachteile und Herausforderungen der Nutzung von Ultraschallsimulatoren in der medizinischen Ausbildung und bieten eine Grundlage für die Entwicklung zukünftiger Trainingsstrategien.

5.3.2 Kompetenzerwerb

Die Effektivität von simulationsbasiertem Training wird weiterhin erforscht, insbesondere im Hinblick auf die Übertragung von Fertigkeiten aus dem Simulationstraining auf die reale Patientenversorgung in der kardialen Ultraschalldiagnostik [31, 90, 128-135]. Erste Studien haben gezeigt, dass Ultraschallsimulatoren sowohl den Erwerb theoretischer [31, 53, 84, 90, 131, 136-138] als auch praktischer [31, 52, 53, 58, 84, 131, 136-139] Fähigkeiten fördern. Diese Studien deuteten außerdem darauf hin, dass Simulationstraining hinsichtlich der Effektivität mindestens gleichwertig zu vorlesungsbasierter Lehre [52], Lernen mit Lehrbüchern [140], videobasiertem Training [141] oder E-Learning [58, 84, 131] ist.

Simulationsbasierte Trainings bieten eine sichere Lernumgebung, die es insbesondere Lernenden in frühen Ausbildungsphasen ermöglicht, Fehler zu machen und daraus zu lernen, ohne dabei ein Risiko für die Patientensicherheit einzugehen. Dies schafft eine sichere und effektive Trainingssituation. Auch die Teilnehmer der Studie konnten durch das Simulator-Training theoretische und praktische Fähigkeiten im Bereich der fokussierten transthorakalen Echokardiographie (FATE) aufbauen und berichteten über eine subjektive Verbesserung ihrer Kompetenzen. Die subjektiven und objektiven theoretischen Kompetenzniveaus beider

Studiengruppen waren am Ende des Trainings vergleichbar und insgesamt hoch [31, 53, 137, 138].

Interessanterweise zeigte die Studiengruppe (Training am Simulator) im Vergleich zur Kontrollgruppe (Training am Patienten) einen signifikant höheren objektiven Zuwachs an theoretischem Wissen (T1 bis T2). Dies weist darauf hin, dass simulationsbasiertes Training den Transfer von theoretischem Wissen effektiv unterstützen kann.

Während die Gruppen in den praktischen Tests am Simulator nahezu identische Ergebnisse erzielten, schnitt die Studiengruppe im praktischen Test am Menschen signifikant schlechter ab als die Kontrollgruppe. Dies legt nahe, dass das Training am Menschen derzeit unersetzbar ist und eine realistische Umgebung bietet, die von den aktuellen Simulatoren noch nicht vollständig nachgebildet werden kann [142]. Dieses Ergebnis stimmt mit einigen früheren Studien überein [136, 139], steht jedoch im Widerspruch zu anderen vorläufigen Studien [31, 53, 58, 90, 137].

Während frühere Studien die praktischen Kompetenzen entweder auf einem Simulator [58] oder am Patienten [31, 53, 90, 136, 137, 139, 140] bewerteten, ermöglichten die in dieser Studie eingesetzten mehrfachen Tests spezifische Aussagen zur Gesamtentwicklung und relativen Kompetenzsteigerung in beiden Gruppen. Besonders wichtig ist dabei die Beurteilung des Transfers von Fertigkeiten aus dem simulationsbasierten Training auf reale Patientensituationen. Die vergleichenden Ergebnisse der praktischen Tests am Menschen wichen von früheren Befunden [31, 53, 58, 137] ab.

Diese Unterschiede könnten durch die längere Dauer des Trainingskonzepts im Vergleich zu früheren Studien erklärt werden, wodurch feinere Unterschiede zwischen den trainierten Gruppen erkennbar wurden. Darüber hinaus könnte die Einbeziehung einer wesentlich größeren Anzahl von Teilnehmern und der Einsatz mehrerer gezielter Testinstrumente [143] die Unterschiede in unseren Ergebnissen erklären und die Robustheit der erhobenen Daten unterstreichen.

5.3.3 Einstellung gegenüber Simulation, Motivation und Kursbewertung

Unterschiedliche Nutzergruppen haben eine grundsätzlich positive Einstellung gegenüber Simulatoren gezeigt [31, 58, 133, 140]. Die Studie unterstützt den Einsatz eines Ultraschallsimulators zu Trainingszwecken als Ergänzung zum Training am Patienten. Die Teilnehmer zeigten sowohl vor als auch nach dem Kurs ein hohes Maß an Motivation für das Training, ohne dass die Trainingsmethode zu einem Rückgang der Motivation führte [144].

Allerdings betrachteten die Teilnehmer aller Gruppen das Ultraschallsimulator-Training nicht als Ersatz für das Training am Patienten. Dies stimmt mit den Empfehlungen professioneller Fachgesellschaften und früherer Studien überein [129, 133]. Die Studiengruppe bewertete die Gesamterfahrung beim Lernen und den Realismus des Trainings signifikant schlechter, was die Notwendigkeit von Trainingseinheiten am Patienten zusätzlich unterstreicht [142].

Die allgemeine Akzeptanz dieses erweiterten Trainingskonzepts [99, 145] spricht für die zukünftige Nutzung einer Kombination aus unterschiedlichen Lehrmethoden. Dies könnte dazu beitragen, die beobachtete Lücke beim Transfer von Fertigkeiten aus dem Simulatortraining auf die klinische Praxis am Patienten zu schließen oder das Training realistischer zu gestalten, wodurch eine optimale Lernumgebung geschaffen werden könnte [12, 98].

Eine praktische Strategie zur Erreichung dieses Ziels wäre die Implementierung eines longitudinalen Blended-Learning-Konzepts [146], welches selbstgesteuerte Lernprogramme am Simulator in Partnerteams [147] und praktisches Training am Patienten einschließt. Darüber hinaus könnten weitere innovative Lehrstrategien wie künstliche Intelligenz, virtuelle Realität und Telemedizin in das Ultraschalltraining integriert werden, um ein multimodales Training zu ermöglichen [148].

5.3.4 Stärken und Einschränkungen

Die Stärken dieser Studie liegen in ihrem randomisierten Design, den klar definierten Lehrmethoden und den konsistenten, mehrfach angewendeten Bewertungskriterien. Diese Aspekte liefern eine objektive Grundlage für die Interpretation der Ergebnisse.

Dennoch gibt es auch Einschränkungen. Dazu gehört die freiwillige Teilnahme, das Fehlen einer Kontrollgruppe ohne Training und die ausschließliche Verwendung von Ultraschallsimulatormodellen eines einzigen Herstellers. Darüber hinaus wurde der Einfluss der Trainingsmethoden auf die Patientensicherheit oder die Versorgungsqualität nicht explizit bewertet, obwohl frühere Studien darauf hindeuten, dass Simulationstraining die Effizienz der Versorgung verbessert, das Patientenunwohlsein reduziert und die Notwendigkeit für wiederholte Untersuchungen sowie die Supervision durch Ausbilder verringert [12].

Eine spezifische wirtschaftliche Kosten-Nutzen-Analyse wurde ebenfalls nicht durchgeführt [149]. Während dies als Einschränkung betrachtet werden kann, lassen sich bestimmte Vorteile des simulationsbasierten Ultraschalltrainings – wie die Vorbereitung der Studierenden auf die klinische Praxis, die Verbesserung der Patientenversorgung und -sicherheit sowie die höhere Zufriedenheit mit der Lernerfahrung – nur schwer in monetären Werten ausdrücken.

Darüber hinaus konzentrierte sich die Studie hauptsächlich auf quantitative Bewertungen von Wissen und praktischen Fähigkeiten und ließ dabei möglicherweise qualitative Aspekte wie Lernstilpräferenzen unberücksichtigt.

Trotz der Berücksichtigung mehrerer Einflussfaktoren durch eine multivariate Regressionsanalyse könnten weitere persönliche Faktoren der Teilnehmenden, die nicht durch die Bewertungen erfasst wurden, die Ergebnisse beeinflusst haben. Zu den berücksichtigten Einflussfaktoren gehörten unter anderem Geschlecht, Semesterzahl, Vorerfahrung im Ultraschall sowie die Teilnahme an vorherigen Kursen; dennoch ist es möglich, dass zusätzliche individuelle Merkmale wie Motivation, Lernstrategien oder unterschiedliche Vorkenntnisse einen Einfluss auf die Ergebnisse ausübten. Zusätzlich könnte die unterschiedliche Reihenfolge der Tests (die Studiengruppe absolvierte zuerst den praktischen Test am Simulator und dann am Menschen, während es bei der Kontrollgruppe umgekehrt war) die Ergebnisse auf eine Weise beeinflusst haben, die nicht gemessen werden konnte.

Die externe Validität ist eingeschränkt, da die Studie in einem spezifischen universitären Umfeld mit einer klar definierten Zielgruppe (Studierende im klinischen Abschnitt) durchgeführt wurde. Die Ergebnisse lassen sich daher nur bedingt auf andere Ausbildungsphasen oder Settings übertragen. Hinzu kommt, dass die Studie ausschließlich auf kurzfristige Lerneffekte fokussierte. Eine Follow-up-Erhebung zur langfristigen Beibehaltung der erlernten Kompetenzen wurde nicht durchgeführt, sodass keine Aussagen zur Stabilität oder zum Transfer des Wissens und der praktischen Fertigkeiten über einen längeren Zeitraum getroffen werden können.

Zukünftige Studien sollten untersuchen, wie gut die im Rahmen von Simulationstrainings erworbenen Kompetenzen erhalten bleiben, um Aussagen zur Langzeitwirksamkeit der Trainingsmethoden treffen zu können [31, 53, 58, 141].

5.3.5 Fazit

Die in der dritten Stufe des Stufenmodells durchgeführte Studie erweitert unser Verständnis über die Effektivität verschiedener Ansätze zur Ultraschallausbildung. Ultraschallsimulatoren bieten vielversprechende Möglichkeiten, insbesondere bei der Übertragung theoretischen Wissens auf die fokussierte Anwendung grundlegender Fähigkeiten. Dennoch bleibt das praktische Training am Patienten für die effektive Kompetenzentwicklung unverzichtbar, was die Notwendigkeit zukünftiger multimodaler Trainingsstrategien unterstreicht.

Die frühzeitige Implementierung solcher innovativen Ultraschall-Trainingsprogramme in die medizinischen Curricula und die Facharztausbildung würde die Qualität der medizinischen Ausbildung verbessern und letztlich zu einer besseren Patientenversorgung beitragen.

5.4 Diskussion unter dem Aspekt der COVID-19-Pandemie

Die COVID-19-Pandemie hat die medizinische Ausbildung weltweit vor erhebliche Herausforderungen gestellt und gleichzeitig neue Impulse für didaktische Innovationen gegeben [150, 151]. Vor allem in der praktischen Lehre wurden durch Kontaktbeschränkungen und eingeschränkten Patientenkontakt klassische Unterrichtsformate erschwert oder unmöglich gemacht [150]. In diesem Kontext rückten digitale, simulationsgestützte und selbstgesteuerte Lernformate in den Fokus, die es ermöglichten, Ausbildungsinhalte trotz pandemiebedingter Einschränkungen zu vermitteln [151, 152].

Die Ergebnisse aller drei Untersuchungsstufen des Stufenmodells verdeutlichen, wie vielfältig diese alternativen Lernformen während der Pandemie zur Anwendung kamen und angenommen wurden. In der ersten Stufe zeigte sich, dass Simulation als Lehrmethode von allen befragten Gruppen grundsätzlich akzeptiert wurde, die Integration in die Pflichtausbildung jedoch stark variierte. Gleichzeitig wurde deutlich, dass Studierende simulationserweiterte Formate gezielt nachfragten, während bei Ärzten eine eher zurückhaltende Einbindung vorlag. Diese Unterschiede wurden durch pandemiebedingte Notwendigkeiten teilweise nivelliert, da digitale Formate über alle Ausbildungsstufen hinweg verstärkt eingesetzt wurden.

In der zweiten Stufe konnte das selbstgesteuerte Lernprogramm am Simulator einen messbaren Kompetenzzuwachs erzielen – trotz unterschiedlicher Vorerfahrungen und individueller Nutzungsintensität. Die positiven Bewertungen des Programms und der didaktischen Materialien bestätigen die pandemiebedingte Relevanz gut strukturierter, adaptiver Lernformate, wie sie auch von Xu et al. [27] beschrieben wurden. Die hohe Flexibilität und Zugänglichkeit trugen offenbar wesentlich zur Aufrechterhaltung der Ausbildungsqualität bei.

Die Ergebnisse der dritten Stufe (FATE-Sim-Studie) unterstreichen die Stärken und Grenzen simulationsbasierter Lehre unter COVID-19-Bedingungen. Zwar zeigte sich ein hoher theoretischer Kompetenzgewinn in der Studiengruppe am Simulator, der Transfer auf den Patienten blieb jedoch limitiert. Diese Beobachtung bestätigt, dass Simulationstraining insbesondere in pandemischen Situationen eine stabile Grundlage zur Wissensvermittlung darstellt, die praktische Anwendbarkeit jedoch weiterhin durch reale Patientenkontakte ergänzt werden muss.

In der Zusammenschau aller drei Studien ergibt sich ein differenziertes Bild: Selbstgesteuertes Lernen (self-directed learning, SDL) und simulationsbasierte Lehrformate erwiesen sich während der COVID-19-Pandemie als resiliente und wirksame Methoden zur Aufrechterhaltung medizinischer Ausbildung unter erschwerten Bedingungen. Auch jenseits pandemischer Kontexte bieten sie ein erhebliches didaktisches Potenzial, das im Rahmen hybrider Curricula gezielt genutzt werden sollte.

Die Kombination aus selbstgesteuertem Lernen, Simulation und strukturierter praxisorientierter Anwendung stellt dabei nicht lediglich ein Notfallkonzept dar, sondern eine zukunftsfähige Ergänzung medizinischer Lehre. Gleichzeitig wird deutlich, dass SDL und Simulation nicht als alleinige Lehrmethoden zu verstehen sind, sondern als Bestandteil multimodaler Ausbildungskonzepte, die schrittweise durch praktische Ausbildung am Probanden und am Patienten ergänzt werden müssen. Daraus ergibt sich eine zentrale Empfehlung für postpandemische Curricula: Die integrative Verbindung von selbstgesteuertem Lernen, digitaler Simulation und strukturierter klinischer Anwendung kann sowohl in Krisenzeiten als auch im regulären Lehrbetrieb zur nachhaltigen Sicherung der Ausbildungsqualität beitragen.

5.5 Methodische Limitationen des gesamten Stufenmodells

Trotz der breiten Datenbasis und des mehrstufigen Studiendesigns ergeben sich für das gesamte Stufenmodell methodische Einschränkungen, die bei der Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt werden sollten.

Zum einen ist die Generalisierbarkeit der Befunde begrenzt, da alle drei Stufen innerhalb eines spezifischen institutionellen sowie überwiegend extracurricularen Ausbildungskontexts durchgeführt wurden. Die Probandengruppen setzten sich vornehmlich aus Medizinstudierenden und ärztlich tätigen Personen mit einem besonderen Interesse an Ultraschall oder Lehre zusammen. Dadurch besteht das Risiko einer Verzerrung durch freiwillige Teilnahme (Volunteer Bias).

Zudem wurden in allen Studienabschnitten überwiegend kurzfristige Effekte gemessen. Eine systematische Erhebung langfristiger Kompetenzentwicklung oder Transferleistungen in die klinische Praxis steht noch aus. Dies betrifft sowohl die Beibehaltung theoretischer Inhalte als auch die praktische Anwendung nach längerer Zeit.

Die verwendeten Testinstrumente variierten hinsichtlich ihrer methodischen Tiefe und Validierung. Während objektive Wissens- und Fertigkeitstests zum Einsatz kamen, basierten

viele Bewertungen auch auf subjektiven Einschätzungen der Teilnehmenden, was anfällig für Verzerrungen durch soziale Erwünschtheit oder Selbsteinschätzungstendenzen ist.

Technisch gesehen beschränkten sich die Simulationselemente auf bestimmte Modelltypen, was die Übertragbarkeit auf andere Geräte oder Systeme einschränken könnte. Auch methodische Unterschiede, wie etwa die Reihenfolge der Testungen oder die individuelle Bearbeitungszeit im Selbstlernprogramm, führten zu potenziellen Vergleichsverzerrungen.

Nicht zuletzt fehlte in allen drei Stufen eine umfassende qualitative Komponente, um subjektive Lernprozesse, motivationale Dynamiken oder wahrgenommene Barrieren tiefer zu verstehen. Eine Kombination aus quantitativen und qualitativen Methoden wäre sinnvoll, um die Erkenntnisse zu vertiefen und praxisnahe Handlungsempfehlungen für Curriculumentwicklungen ableiten zu können.

5.6 Zukunftsaussichten: Die vierte Stufe des Stufenmodells

Basierend auf den Erkenntnissen der bisherigen drei Stufen eröffnet sich die Möglichkeit, das Stufenmodell um eine vierte Phase zu erweitern, die sich der gezielten curricularen Implementierung und Differenzierung von simulationsbasierten Lernformaten in der Ultraschallausbildung widmet. Ziel wäre es, bestehende Selbstlern- und Trainingskonzepte weiterzuentwickeln und systematisch in ein gestuftes, standardisiertes Ausbildungskonzept zu überführen, das unterschiedliche Kompetenzniveaus adressiert und langfristig in bestehende Ausbildungskontexte integriert wird [5, 46, 153].

Grundsätzlich erscheint eine Ultraschallausbildung sinnvoll, die digitale Lernanteile mit simulationsbasierten Trainingsformaten kombiniert, um Lernende schrittweise und patientensicher auf die praktische Untersuchung an Probanden und schließlich an Patienten vorzubereiten [46, 84]. Ein solches gestuftes Vorgehen ließe sich prinzipiell auf verschiedene sonographische Anwendungsbereiche übertragen, beispielsweise auf die Echokardiographie, die Abdomensonographie oder die Notfallsonographie.

Parallel dazu erscheint eine Anpassung und Erweiterung der Arbeitshefte sinnvoll, insbesondere zur Integration von strukturierten Übungsanleitungen, Beurteilungskriterien und Feedbackstrukturen. Eine stärkere didaktische Schulung der Dozenten sowie ein gezieltes Training zur Abnahme von DOPS (Direct Observation of Procedural Skills) könnten die Qualität der Lehrveranstaltungen zusätzlich stärken [154].

Die Integration zusätzlicher digitaler Elemente, etwa gerätespezifischer Lernsoftware, fallbasierter Anwendungen oder adaptiver Lernmodule, könnte die Individualisierung der Lernprozesse weiter fördern. Auch motivationale Ansätze wie Gamification werden in der

medizinischen Ausbildung zunehmend diskutiert und könnten perspektivisch ergänzend eingesetzt werden [155].

Langfristig ließe sich durch die schrittweise Umsetzung dieser Maßnahmen ein standardisiertes, curricular verankertes Schulungsprogramm etablieren, das von der Einführung in die sonographischen Grundlagen bis hin zur vertieften klinischen Anwendung reicht.

5.7 Schlussbetrachtung

Die dreistufige Untersuchung des Selbstlernprogramms zeigt eindrücklich, dass simulationsgestützte, selbstgesteuerte Lernformate ein wertvolles Instrument in der medizinischen Ausbildung darstellen. Die Kombination aus didaktisch aufbereiteten Materialien, Simulatortraining und variabel einsetzbaren Lernstrukturen führte in verschiedenen Settings – von der allgemeinen Wahrnehmung über die praktische Anwendung bis hin zum direkten Vergleich mit patientenbasiertem Training – zu signifikanten Kompetenzzuwächsen.

Zugleich wurde deutlich, dass ein langfristiger Lernerfolg nur dann sichergestellt werden kann, wenn Angebote des selbstgesteuerten Lernens strukturell eingebettet, didaktisch begleitet und methodisch weiterentwickelt werden. Die Limitationen der einzelnen Stufen liefern hierfür wertvolle Hinweise und zeigen auf, in welchen Bereichen zukünftige Studien vertiefende Erhebungen – insbesondere zu Langzeiteffekten, zur Transferleistung in die klinische Praxis und zur curricularen Implementierung – erforderlich sind.

Die Ergebnisse bekräftigen, dass selbstgesteuertes und simulationsbasiertes Lernen zentrale Bausteine einer modernen, resilienten medizinischen Lehre darstellen und durch eine mögliche vierte Stufe in der Weiterentwicklung des Stufenmodells sinnvoll ergänzt werden könnten.

6 Zusammenfassung

Die vorliegende Dissertation untersucht in einem dreistufigen Studiendesign die Akzeptanz, Wirksamkeit und Weiterentwicklung selbstgesteuerter und simulationsbasierter Lernkonzepte in der medizinischen Ultraschallausbildung.

In der ersten Stufe wurde durch eine groß angelegte Befragung von Studierenden und Ärzten die generelle Akzeptanz und Integration simulationsbasierter Trainingsformate in bestehende Curricula analysiert. Die Ergebnisse zeigten eine grundsätzliche Offenheit gegenüber Simulationstrainings, jedoch große Unterschiede in Nutzung und curricularer Verankerung. Während Studierende, insbesondere im Praktischen Jahr, von intensiverem Kontakt zu Simulatoren berichteten, war die curriculare Integration bei Ärzten noch lückenhaft.

Die zweite Stufe evaluierte ein strukturiertes, selbstgesteuertes Lernprogramm am Ultraschallsimulator. Die Teilnehmer – zukünftige Peer-Dozenten – erzielten sowohl subjektive als auch objektive Kompetenzzuwächse, besonders in den Bereichen Grundlagenwissen und Normalbefundinterpretation. Das Programm wurde trotz individueller Unterschiede im Bearbeitungsumfang als praktikabel und effektiv bewertet. Der nachhaltige Kompetenzerwerb hing eng mit der strukturierten Aufbereitung der Lernmaterialien und der Integration praktischer Simulationseinheiten zusammen.

In der dritten Stufe wurde im Rahmen einer randomisierten kontrollierten Studie die Effektivität simulationsbasierten Trainings im Vergleich zu herkömmlichem Patiententraining bei der transthorakalen Echokardiographie (FATE) untersucht. Zwar konnte die Simulationsgruppe ein hohes theoretisches Wissensniveau erreichen, zeigte jedoch Einschränkungen beim Transfer praktischer Fertigkeiten auf reale Patienten. Dies verdeutlicht, dass simulationsbasiertes Training eine sinnvolle und effektive Vorbereitung darstellt, das praktische Training am Probanden jedoch eine unverzichtbare Voraussetzung vor dem Einsatz am Patienten bleibt.

Über alle Stufen hinweg konnte gezeigt werden, dass Formate des selbstgesteuerten Lernens und simulationsbasierte Trainingsansätze essenzielle Beiträge zur modernen medizinischen Ausbildung leisten können, insbesondere unter den erschwerten Bedingungen der COVID-19-Pandemie. Sie bieten resiliente, flexible und skalierbare Lehrmethoden, deren Integration in hybride Curricula künftig weiter vorangetrieben werden sollte.

Methodisch bestehen Limitationen, insbesondere hinsichtlich der Generalisierbarkeit, der Fokussierung auf kurzfristige Effekte sowie der fehlenden Erhebung langfristiger Transferleistungen. Aufbauend auf den Ergebnissen wird eine mögliche vierte Stufe des

Stufenmodells vorgeschlagen, die eine standardisierte curriculare Integration modular aufgebauter, simulationsbasierter Trainingsformate mit didaktischer Tutorenschulung und digital unterstützten Lernpfaden vorsieht.

Insgesamt bestätigt diese Arbeit die Relevanz und das Potenzial simulationsgestützter, selbstgesteuerter Ausbildungskonzepte für die nachhaltige Kompetenzentwicklung in der Ultraschalldiagnostik.

7 Literaturverzeichnis

1. Pedersen MRV, Ostergaard ML, Nayahangan LJ, Nielsen KR, Lucius C, Dietrich CF, et al. Simulation-based education in ultrasound - diagnostic and interventional abdominal focus. *Ultraschall Med.* 2024;45(4):348-66.
2. DEGUM DGfUdM. Was ist eine Ultraschall-Untersuchung? [Internet] 2025 [23.01.2025]. Available from: <https://www.degum.de/service/patienten/was-ist-eine-ultraschall-untersuchung.html#:~:text=Ultraschall%20wird%20in%20der%20Medizin%20als%20bildgebendes%20Verfahren,Computertomografie%2C%20Szintigrafie%20oder%20Thermografie%20bilder%20zur%20diagnostischen%20Auswertung.>
3. Dietrich CF, Bolondi L, Duck F, Evans DH, Ewertsen C, Fraser AG, et al. History of Ultrasound in Medicine from its birth to date (2022), on occasion of the 50 Years Anniversary of EFSUMB. A publication of the European Federation of Societies for Ultrasound In Medicine and Biology (EFSUMB), designed to record the historical development of medical ultrasound. *Med Ultrason.* 2022;24(4):434-50.
4. Lewiss RE, Hoffmann B, Beaulieu Y, Phelan MB. Point-of-care ultrasound education: the increasing role of simulation and multimedia resources. *J Ultrasound Med.* 2014;33(1):27-32.
5. Sidhu H, Olubaniyi O, Bhatnagar G, Shuen V, Dubbins P. Role of Simulation-Based Education in Ultrasound Practice Training. 2012.
6. Lambert TW, Smith F, Goldacre MJ. The impact of the European Working Time Directive 10 years on: views of the UK medical graduates of 2002 surveyed in 2013-2014. *JRSM Open.* 2016;7(3):2054270416632703.
7. Radiologists RCo. How the next Government can improve diagnosis and outcomes for patients. 2015.
8. Garg M, Drolet BC, Tammaro D, Fischer SA. Resident duty hours: a survey of internal medicine program directors. *J Gen Intern Med.* 2014;29(10):1349-54.
9. Welle R, Seufferlein T, Kratzer W. Die Aus- und Weiterbildungssituation der Abdomensonografie an den deutschen Universitätskliniken. Eine Längsschnittstudie über 20 Jahre. *Zeitschrift für Gastroenterologie.* 2020.
10. Wolf R, Geuthel N, Rotzoll D. Undergraduate ultrasound education at German-speaking medical faculties: a survey. 2019.
11. Weimer J. Die Etablierung und der Vergleich verschiedener Ultraschallkursformate an der Universitätsmedizin Mainz. 2020.
12. Dietrich CF, Lucius C, Nielsen MB, Burmester E, Westerway SC, Chu CY, et al. The ultrasound use of simulators, current view, and perspectives: Requirements and technical aspects (WFUMB state of the art paper). *Endosc Ultrasound.* 2023;12(1):38-49.
13. Owen H. Early use of simulation in medical education. *Simul Healthc.* 2012;7(2):102-16.
14. Gelbart R. The king's midwife: A history and mystery of Madame du Coudray. 1998.
15. Hays RT, Jacobs JW, Prince C, Salas E. Flight Simulator Training Effectiveness: A Meta-Analysis. *Military Psychology.* 2009;4(2):63-74.
16. Owen H. Simulation in Healthcare Education. 2016.
17. Grenvik A, Schaefer J. From Resusci-Anne to Sim-Man: The evolution of simulators in medicine. 2004.
18. Michael St. Pierre GB. Simulation in der Medizin. 2018.
19. Gordon N, Ewy A, Felner J, Forker A, Gessner I. Teaching bedside cardiologic examination skills using "Harvey", the cardiology patient simulator 1980.
20. Good M, Gravenstein J. Anesthesia simulators and training devices. 1989.
21. (DGU) DGfU. SPLS®-Safety in Prehospital Life Support, Trainingsformat zur Patientensicherheit der DGU: Teilnehmer-Unterlagen. 2006.
22. Murin S, Stollenwerk N. Simulation in Procedural Training: At the Tipping Point. 2010.
23. Anshu, Gupta P, Singh T. The Concept of Self-Directed Learning: Implications for Practice in the Undergraduate Curriculum. 2022.

24. Ricotta D, Richards J, Atkins M. Self-Directed Learning in Medical Education: Training for a Lifetime of Discovery. 2021.
25. Taylor TAH, Kemp K, Mi M, Lerchenfeldt S. Self-directed learning assessment practices in undergraduate health professions education: a systematic review. *Med Educ Online*. 2023;28(1):2189553.
26. van Woezik TET, Koksma JJ, Reuzel RPB, Jaarsma DC, van der Wilt GJ. There is more than 'I' in self-directed learning: An exploration of self-directed learning in teams of undergraduate students. *Med Teach*. 2021;43(5):590-8.
27. Xu X, Li Z, Mackay L, Li N, Zhang Y, Wu Y, et al. The state of health professions students' self-directed learning ability during online study and the factors that influence it. *BMC Med Educ*. 2024;24(1):25.
28. Röcker N, Lottspiech C, Braun L, Lenzer B, Frey J, Fischer M, et al. Implementation of self-directed learning within clinical clerkships.
29. Aulakh J, Wahab H, Richards C, Bidaisee S, Ramdass P. Self-directed learning versus traditional didactic learning in undergraduate medical education: a systemic review and meta-analysis. *BMC Med Educ*. 2025;25(1):70.
30. Signor E, Gerstenberger J, Cotton J, Colbert-Getz J, Lappe K. Integrating a self-directed ultrasound curriculum for the internal medicine clerkship. *Ultrasound J*. 2024;16(1):19.
31. Canty D, Barth J, Yang Y, Peters N, Palmer A, Royse A, et al. Comparison of learning outcomes for teaching focused cardiac ultrasound to physicians: A supervised human model course versus an eLearning guided self- directed simulator course. *J Crit Care*. 2019;49:38-44.
32. Brown CC, Arrington SD, Olson JF, Finch CA, Jr., Nydam RL. Musculoskeletal ultrasound training encourages self-directed learning and increases confidence for clinical and anatomical appreciation of first-year medical students. *Anat Sci Educ*. 2022;15(3):508-21.
33. Mackay FD, Zhou F, Lewis D, Fraser J, Atkinson PR. Can You Teach Yourself Point-of-care Ultrasound to a Level of Clinical Competency? Evaluation of a Self-directed Simulation-based Training Program. *Cureus*. 2018;10(9):e3320.
34. Khoo C, Sharma S, Jefree RA, Chee D, Koh ZN, Lee EXY, et al. Self-Directed Virtual Reality-Based Training versus Traditional Physician-Led Teaching for Point-of-Care Cardiac Ultrasound: A Randomized Controlled Study. *J Cardiothorac Vasc Anesth*. 2025;39(1):95-103.
35. Suzuki R, Riley WJ, Bushman MS, Dong Y, Sekiguchi H. Tele-education in point-of-care ultrasound training. *Ultrasound J*. 2024;16(1):47.
36. Morales Castro D, Wong I, Panisko D, Najeeb U, Doufle G. Self-Learning Videos in Focused Transthoracic Echocardiography Training. *Clin Teach*. 2025;22(1):e70014.
37. Cook D, Hatala R, Brydges R, Zendejas B, Szostek J, Wang A, et al. Technology-Enhanced Simulation for Health Professions Education. 2011.
38. Cook DA, Brydges R, Hamstra SJ, Zendejas B, Szostek JH, Wang AT, et al. Comparative effectiveness of technology-enhanced simulation versus other instructional methods: a systematic review and meta-analysis. *Simul Healthc*. 2012;7(5):308-20.
39. Aschler MD, Robert-Bosch-Stiftung. Ausbildung für die Gesundheitsversorgung von morgen, Schattauer Verlag Stuttgart. 2011.
40. Dalgarno B, Lee MJW. What are the learning affordances of 3-D virtual environments? *British Journal of Educational Technology*. 2010;41(1):10-32.
41. McGrath JL, Taekman JM, Dev P, Danforth DR, Mohan D, Kman N, et al. Using Virtual Reality Simulation Environments to Assess Competence for Emergency Medicine Learners. *Acad Emerg Med*. 2018;25(2):186-95.
42. Seam N, Lee AJ, Vennero M, Emlet L. Simulation Training in the ICU. *Chest*. 2019;156(6):1223-33.
43. Kohn L, Corrigan J, Donaldson M, Medicine Io. To Err Is Human: Building a Safer Health System. In: Kohn LT, Corrigan JM, Donaldson MS, editors. *To Err is Human: Building a Safer Health System*. Washington (DC)2000.

44. McGaghie WC, Barsuk JH, Wayne DB. The promise and challenge of mastery learning. *Adv Med Educ Pract.* 2017;8:393-4.
45. Sawyer T, Eppich W, Brett-Fleegler M, Grant V, Cheng A. More Than One Way to Debrief: A Critical Review of Healthcare Simulation Debriefing Methods. *Simul Healthc.* 2016;11(3):209-17.
46. McGaghie WC, Issenberg SB, Petrusa ER, Scalese RJ. A critical review of simulation-based medical education research: 2003-2009. *Med Educ.* 2010;44(1):50-63.
47. Back AL, Arnold RM, Baile WF, al e. Efficacy of Communication Skills Training for Giving Bad News and Discussing Transitions to Palliative Care. 2007.
48. Gaba DM. The future vision of simulation in health care. *Quality and Safety in Health Care.* 2004;13(suppl_1):i2-i10.
49. Barsuk JH, McGaghie WC, Cohen ER, O'Leary KJ, Wayne DB. Simulation-based mastery learning reduces complications during central venous catheter insertion in a medical intensive care unit*. *Critical Care Medicine.* 2009;37(10):2697-701.
50. Mundell WC, Kennedy CC, Szostek JH, Cook DA. Simulation technology for resuscitation training: a systematic review and meta-analysis. *Resuscitation.* 2013;84(9):1174-83.
51. Barsuk JH, Cohen ER, Williams MV, Scher J, Jones SF, Feinglass J, et al. Simulation-Based Mastery Learning for Thoracentesis Skills Improves Patient Outcomes: A Randomized Trial. *Acad Med.* 2018;93(5):729-35.
52. Neelankavil J, Howard-Quijano K, Hsieh TC, Ramsingh D, Scovotti JC, Chua JH, et al. Transthoracic echocardiography simulation is an efficient method to train anesthesiologists in basic transthoracic echocardiography skills. *Anesth Analg.* 2012;115(5):1042-51.
53. Edrich T, Seethala RR, Olenchock BA, Mizuguchi AK, Rivero JM, Beutler SS, et al. Providing initial transthoracic echocardiography training for anesthesiologists: simulator training is not inferior to live training. *J Cardiothorac Vasc Anesth.* 2014;28(1):49-53.
54. Damp J, Anthony R, Davidson MA, Mendes L. Effects of transesophageal echocardiography simulator training on learning and performance in cardiovascular medicine fellows. *J Am Soc Echocardiogr.* 2013;26(12):1450-6 e2.
55. Ferrero NA, Bortsov A, Harendra A, al. e. Simulator Training Enhances Resident Performance in Transesophageal Echocardiography. 2014.
56. Ogilvie E, Vlachou A, Edsell M, Fletcher SN, Valencia O, Meineri M, et al. Simulation-based teaching versus point-of-care teaching for identification of basic transoesophageal echocardiography views: a prospective randomised study. *Anaesthesia.* 2015;70(3):330-5.
57. Bloch A, von Arx R, Etter R, Berger D, Kaiser H, Lenz A, et al. Impact of Simulator-Based Training in Focused Transesophageal Echocardiography: A Randomized Controlled Trial. *Anesth Analg.* 2017;125(4):1140-8.
58. Weber U, Zapletal B, Base E, Hambrusch M, Ristl R, Mora B. Resident performance in basic perioperative transesophageal echocardiography: Comparing 3 teaching methods in a randomized controlled trial. *Medicine (Baltimore).* 2019;98(36):e17072.
59. Bagai A, O'Brien S, Al Lawati H, Goyal P, Ball W, Grantcharov T, et al. Mentored simulation training improves procedural skills in cardiac catheterization: a randomized, controlled pilot study. *Circ Cardiovasc Interv.* 2012;5(5):672-9.
60. Voelker W, Petri N, Tonissen C, Stork S, Birkemeyer R, Kaiser E, et al. Does Simulation-Based Training Improve Procedural Skills of Beginners in Interventional Cardiology?--A Stratified Randomized Study. *J Interv Cardiol.* 2016;29(1):75-82.
61. Fischer Q, Sbissa Y, Nhan P, Adjedj J, Picard F, Mignon A, et al. Use of Simulator-Based Teaching to Improve Medical Students' Knowledge and Competencies: Randomized Controlled Trial. *J Med Internet Res.* 2018;20(9):e261.
62. De Ponti R, Marazzi R, Ghiringhelli S, Salerno-Uriarte JA, Calkins H, Cheng A. Superiority of simulator-based training compared with conventional training methodologies in the performance of transseptal catheterization. *J Am Coll Cardiol.* 2011;58(4):359-63.

63. Ostergaard ML, Rue Nielsen K, Albrecht-Beste E, Kjaer Ersboll A, Konge L, Bachmann Nielsen M. Simulator training improves ultrasound scanning performance on patients: a randomized controlled trial. *Eur Radiol.* 2019;29(6):3210-8.
64. Ostergaard ML, Konge L, Kahr N, Albrecht-Beste E, Nielsen MB, Nielsen KR. Four Virtual-Reality Simulators for Diagnostic Abdominal Ultrasound Training in Radiology. *Diagnostics (Basel).* 2019;9(2).
65. Konge L, Albrecht-Beste E, Nielsen MB. Virtual-reality simulation-based training in ultrasound. *Ultraschall Med.* 2014;35(2):95-7.
66. Damewood SC, Lewiss RE, Huang JV. Ultrasound simulation utilization among point of care ultrasound users: Results of a survey. *J Clin Ultrasound.* 2018;46(9):571-4.
67. Tolsgaard MG, Ringsted C, Dreisler E, Norgaard LN, Petersen JH, Madsen ME, et al. Sustained effect of simulation-based ultrasound training on clinical performance: a randomized trial. *Ultrasound Obstet Gynecol.* 2015;46(3):312-8.
68. Barsuk JH, Cohen ER, McGaghie WC, Wayne DB. Long-term retention of central venous catheter insertion skills after simulation-based mastery learning. *Acad Med.* 2010;85(10 Suppl):S9-12.
69. Moore CL, Copel JA. Point-of-Care Ultrasonography. 2011.
70. Tolsgaard MG, Rasmussen MB, Tappert C, Sundler M, Sorensen JL, Ottesen B, et al. Which factors are associated with trainees' confidence in performing obstetric and gynecological ultrasound examinations? *Ultrasound Obstet Gynecol.* 2014;43(4):444-51.
71. Taksoe-Vester C, Dyre L, Schroll J, Tabor A, Tolsgaard M. Simulation-Based Ultrasound Training in Obstetrics and Gynecology: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Ultraschall Med.* 2021;42(6):e42-e54.
72. Zhao Y, Zhou P, Zhu W, Xiao J, Liu W, Luo Y, et al. Validity evidence for simulator-based obstetric ultrasound competency assessment tool: a multi-center study. *Ultraschall Med.* 2024;45(2):168-75.
73. Freundt P, Nourkami-Tutdibi N, Tutdibi E, Janzing P, von Ostrowski T, Langer M, et al. Controlled Prospective Study on the Use of Systematic Simulator-Based Training with a Virtual, Moving Fetus for Learning Second-Trimester Scan: FESIM III. *Ultraschall Med.* 2023;44(4):e199-e205.
74. Dickerson J, Paul K, Vila P, Whitarcar R. The role for peer- assisted ultrasound teaching in medical school. 2016.
75. De Visser H, Watson M, Salvado O, Passenger J. Progress in virtual reality simulators for surgical training and certification.
76. Datta R, Upadhyay KK, Jaideep CN. Simulation and its role in medical education. *Medical Journal Armed Forces India.* 2012;68(2):167-72.
77. Knudson M, Sisley A. Training Residents Using Simulation Technology. *The Journal of Trauma.* 2000.
78. Maul H, Scharf A, Baier P, Wustemann M, Gunter HH, Gebauer G, et al. Ultrasound simulators: experience with the SonoTrainer and comparative review of other training systems. *Ultrasound Obstet Gynecol.* 2004;24(5):581-5.
79. Blum T, Rieger A, Navab N, Friess H, Martignoni M. A review of computer-based simulators for ultrasound training. *Simul Healthc.* 2013;8(2):98-108.
80. Nicholls D, Sweet L, Hyett J. Psychomotor skills in medical ultrasound imaging: an analysis of the core skill set. *J Ultrasound Med.* 2014;33(8):1349-52.
81. Mendiratta-Lala M, Williams T, de Quadros N, Bonnett J, Mendiratta V. The use of a simulation center to improve resident proficiency in performing ultrasound-guided procedures 2010.
82. Wang EE, Quinones J, Fitch MT, Dooley-Hash S, Griswold-Theodorson S, Medzon R, et al. Developing technical expertise in emergency medicine--the role of simulation in procedural skill acquisition. *Acad Emerg Med.* 2008;15(11):1046-57.
83. Weimer JM, Sprengart FM, Vieth T, Gobel S, Dionysopoulou A, Kruger R, et al. Simulator training in focus assessed transthoracic echocardiography (FATE) for undergraduate medical students: results from the FateSim randomized controlled trial. *BMC Med Educ.* 2025;25(1):21.

84. Ostergaard ML, Ewertsen C, Konge L, Albrecht-Beste E, Bachmann Nielsen M. Simulation-Based Abdominal Ultrasound Training - A Systematic Review. *Ultraschall Med.* 2016;37(3):253-61.
85. Kahr Rasmussen N, Andersen TT, Carlsen J, Ostergaard ML, Konge L, Albrecht-Beste E, et al. Simulation-Based Training of Ultrasound-Guided Procedures in Radiology - A Systematic Review. *Ultraschall Med.* 2019;40(5):584-602.
86. Prosch H, Radzina M, Dietrich CF, Nielsen MB, Baumann S, Ewertsen C, et al. Ultrasound Curricula of Student Education in Europe: Summary of the Experience. *Ultrasound Int Open.* 2020;6(1):E25-E33.
87. Stather DR, Maceachern P, Rimmer K, Hergott CA, Tremblay A. Assessment and learning curve evaluation of endobronchial ultrasound skills following simulation and clinical training. *Respirology.* 2011;16(4):698-704.
88. Burden C, Preshaw J, White P, Draycott TJ, Grant S, Fox R. Validation of virtual reality simulation for obstetric ultrasonography: a prospective cross-sectional study. *Simul Healthc.* 2012;7(5):269-73.
89. Stather DR, MacEachern P, Chee A, Dumoulin E, Tremblay A. Evaluation of clinical endobronchial ultrasound skills following clinical versus simulation training. *Respirology.* 2012;17(2):291-9.
90. Bentley S, Mudan G, Strother C, Wong N. Are Live Ultrasound Models Replaceable? Traditional versus Simulated Education Module for FAST Exam. *West J Emerg Med.* 2015;16(6):818-22.
91. Noble VE, Nelson BP, Sutingco AN, Marill KA, Cranmer H. Assessment of knowledge retention and the value of proctored ultrasound exams after the introduction of an emergency ultrasound curriculum. *BMC Med Educ.* 2007;7:40.
92. Lucius C, Koch JBH, Jenssen C, Karlas T, Sanger SL, Dietrich CF. State of the art: Simulation in US. *Z Gastroenterol.* 2024;62(5):723-36.
93. Alexander LF, McComb BL, Bowman AW, Bonnett SL, Ghazanfari SM, Caserta MP. Ultrasound Simulation Training for Radiology Residents-Curriculum Design and Implementation. *J Ultrasound Med.* 2023;42(4):777-90.
94. Walsh C, Lydon S, Byrne D, Madden C, Fox S, O'Connor P. The 100 Most Cited Articles on Healthcare Simulation: A Bibliometric Review. *Simul Healthc.* 2018;13(3):211-20.
95. Janzing P. Prospektive Analyse von simulationsbasiertem Ultraschalltraining in der fetalen Echokardiographie. 2024.
96. Duncan DR, Morgenthaler TI, Ryu JH, Daniels CE. Reducing iatrogenic risk in thoracentesis: establishing best practice via experiential training in a zero-risk environment. *Chest.* 2009;135(5):1315-20.
97. Dawoud D, Lyndon W, Mrug S, Bissler JJ, Mrug M. Impact of ultrasound-guided kidney biopsy simulation on trainee confidence and biopsy outcomes. *Am J Nephrol.* 2012;36(6):570-4.
98. Nayahangan LJ, Dietrich CF, Nielsen MB. Simulation-based training in ultrasound - where are we now? *Ultraschall Med.* 2021;42(3):240-4.
99. Weimer J, Rolef P, Muller L, Bellhauser H, Gobel S, Buggenhagen H, et al. FoCUS cardiac ultrasound training for undergraduates based on current national guidelines: a prospective, controlled, single-center study on transferability. *BMC Med Educ.* 2023;23(1):80.
100. Weimer JM, Widmer N, Strelow KU, Hopf P, Buggenhagen H, Dirks K, et al. Long-Term Effectiveness and Sustainability of Integrating Peer-Assisted Ultrasound Courses into Medical School-A Prospective Study. *Tomography.* 2023;9(4):1315-28.
101. Preston CC, Colman AM. Optimal number of response categories in rating scales: reliability, validity, discriminating power, and respondent preferences. 2000.
102. Cox EP. The Optimal Number of Response Alternatives for a Scale: A Review. *Journal of Marketing Research.* 1980.
103. Eysenbach G. Improving the quality of Web surveys: the Checklist for Reporting Results of Internet E-Surveys (CHERRIES). *J Med Internet Res.* 2004;6(3):e34.

104. Regmi PR, Waithaka E, Paudyal A, Simkhada P, van Teijlingen E. Guide to the design and application of online questionnaire surveys. 2016.
105. Horn L. Evaluation und Einsatz analoger und digitaler Lehrmedien in der Ultraschallausbildung. 2024.
106. Holm JH, Frederiksen CA, Juhl-Olsen P, Sloth E. Perioperative use of focus assessed transthoracic echocardiography (FATE). *Anesth Analg*. 2012;115(5):1029-32.
107. Weimer JM, Rink M, Muller L, Dirks K, Ille C, Bozzato A, et al. Development and Integration of DOPS as Formative Tests in Head and Neck Ultrasound Education: Proof of Concept Study for Exploration of Perceptions. *Diagnostics (Basel)*. 2023;13(4).
108. Wang S, Ren X, Ye J, Wang W, Huang H, Qin C. Exploration of simulation-based medical education for undergraduate students. *Medicine (Baltimore)*. 2021;100(20):e25982.
109. Motola I, Devine LA, Chung HS, Sullivan JE, Issenberg SB. Simulation in healthcare education: a best evidence practical guide. AMEE Guide No. 82. *Med Teach*. 2013;35(10):e1511-30.
110. Nunnink L, Thompson A, Alsaba N, Brazil V. Peer-assisted learning in simulation-based medical education: a mixed-methods exploratory study. *BMJ Simul Technol Enhanc Learn*. 2021;7(5):366-71.
111. Yu JH, Chang HJ, Kim SS, Park JE, Chung WY, Lee SK, et al. Effects of high-fidelity simulation education on medical students' anxiety and confidence. *PLoS One*. 2021;16(5):e0251078.
112. Bradley P. The history of simulation in medical education and possible future directions. *Med Educ*. 2006;40(3):254-62.
113. Issenberg SB, McGaghie WC, Petrusa ER, Lee Gordon D, Scalese RJ. Features and uses of high-fidelity medical simulations that lead to effective learning: a BEME systematic review. *Med Teach*. 2005;27(1):10-28.
114. Wayne DB, Butter J, Siddall VJ, Fudala MJ, Wade LD, Feinglass J, et al. Mastery learning of advanced cardiac life support skills by internal medicine residents using simulation technology and deliberate practice. *J Gen Intern Med*. 2006;21(3):251-6.
115. Boet S, Bould MD, Fung L, Qosa H, Perrier L, Tavares W, et al. Transfer of learning and patient outcome in simulated crisis resource management: a systematic review. *Can J Anaesth*. 2014;61(6):571-82.
116. Ten Cate O, Durning S. Peer teaching in medical education: twelve reasons to move from theory to practice. *Med Teach*. 2007;29(6):591-9.
117. Yu TC, Wilson NC, Singh PP, Lemanu DP, Hawken SJ, Hill AG. Medical students-as-teachers: a systematic review of peer-assisted teaching during medical school. *Adv Med Educ Pract*. 2011;2:157-72.
118. Ross MT, Cameron HS. Peer assisted learning: a planning and implementation framework: AMEE Guide no. 30. *Med Teach*. 2007;29(6):527-45.
119. Lateef F. Simulation-based learning: Just like the real thing. *J Emerg Trauma Shock*. 2010;3(4):348-52.
120. Khamis NN, Satava RM, Alnassar SA, Kern DE. A stepwise model for simulation-based curriculum development for clinical skills, a modification of the six-step approach. *Surg Endosc*. 2016;30(1):279-87.
121. Hamstra SJ, Brydges R, Hatala R, Zendejas B, Cook DA. Reconsidering fidelity in simulation-based training. *Acad Med*. 2014;89(3):387-92.
122. Fletcher JD, Wind AP. Cost considerations in using simulations for medical training. *Mil Med*. 2013;178(10 Suppl):37-46.
123. Nayahangan LJ, Albrecht-Beste E, Konge L, Brkljacic B, Catalano C, Ertl-Wagner B, et al. Consensus on technical procedures in radiology to include in simulation-based training for residents: a European-wide needs assessment. *Eur Radiol*. 2021;31(1):171-80.
124. Chetlen AL, Mendiratta-Lala M, Probyn L, Auffermann WF, DeBenedictis CM, Marko J, et al. Conventional Medical Education and the History of Simulation in Radiology. *Acad Radiol*. 2015;22(10):1252-67.

125. Lorentzen T, Nolsoe CP, Ewertsen C, Nielsen MB, Leen E, Havre RF, et al. EFSUMB Guidelines on Interventional Ultrasound (INVUS), Part I. General Aspects (Short Version). *Ultraschall Med.* 2015;36(5):464-72.
126. Kruger J, Dunning D. Unskilled and unaware of it: How difficulties in recognizing one's own incompetence lead to inflated self-assessments. *Journal of Personality and Social Psychology.* 1999;77(6):1121-34.
127. van Merriënboer JJ, Sweller J. Cognitive load theory in health professional education: design principles and strategies. *Med Educ.* 2010;44(1):85-93.
128. Singh K, Chandra A, Lonergan K, Bhatt A. Using Simulation to Assess Cardiology Fellow Performance of Transthoracic Echocardiography: Lessons for Training in the COVID-19 Pandemic. *J Am Soc Echocardiogr.* 2020;33(11):1421-3.
129. Pezel T, Coisne A, Bonnet G, Martins RP, Adjedj J, Biere L, et al. Simulation-based training in cardiology: State-of-the-art review from the French Commission of Simulation Teaching (Commission d'enseignement par simulation-COMSI) of the French Society of Cardiology. *Arch Cardiovasc Dis.* 2021;114(1):73-84.
130. Biswas M, Patel R, German C, Kharod A, Mohamed A, Dod HS, et al. Simulation-based training in echocardiography. *Echocardiography.* 2016;33(10):1581-8.
131. Nazarnia S, Subramaniam K. Role of Simulation in Perioperative Echocardiography Training. *Semin Cardiothorac Vasc Anesth.* 2017;21(1):81-94.
132. Le KDR. Principles of Effective Simulation-Based Teaching Sessions in Medical Education: A Narrative Review. *Cureus.* 2023;15(11):e49159.
133. Gibbs V. The role of ultrasound simulators in education: an investigation into sonography student experiences and clinical mentor perceptions. *Ultrasound.* 2015;23(4):204-11.
134. Singh J, Matern LH, Bittner EA, Chang MG. Characteristics of Simulation-Based Point-of-Care Ultrasound Education: A Systematic Review of MedEdPORTAL Curricula. *Cureus.* 2022;14(2):e22249.
135. Bowman A, Reid D, Bobby Harreveld R, Lawson C. Evaluation of students' clinical performance post-simulation training. *Radiography (Lond).* 2021;27(2):404-13.
136. Cawthorn TR, Nickel C, O'Reilly M, Kafka H, Tam JW, Jackson LC, et al. Development and evaluation of methodologies for teaching focused cardiac ultrasound skills to medical students. *J Am Soc Echocardiogr.* 2014;27(3):302-9.
137. Hempel C, Turton E, Hasheminejad E, Bevilacqua C, Hempel G, Ender J, et al. Impact of simulator-based training on acquisition of transthoracic echocardiography skills in medical students. *Ann Card Anaesth.* 2020;23(3):293-7.
138. Weimer J, Recker F, Hasenburg A, Buggenhagen H, Karbach K, Beer L, et al. Development and evaluation of a "simulator-based" ultrasound training program for university teaching in obstetrics and gynecology-the prospective GynSim study. *Front Med (Lausanne).* 2024;11:1371141.
139. Juo YY, Quach C, Hiatt J, Hines OJ, Tillou A, Burruss S. Comparative Analysis of Simulated versus Live Patient-Based FAST (Focused Assessment With Sonography for Trauma) Training. *J Surg Educ.* 2017;74(6):1012-8.
140. Kusunose K, Yamada H, Suzukawa R, Hirata Y, Yamao M, Ise T, et al. Effects of Transthoracic Echocardiographic Simulator Training on Performance and Satisfaction in Medical Students. *J Am Soc Echocardiogr.* 2016;29(4):375-7.
141. Zhao Y, Yuan ZY, Zhang HY, Yang X, Qian D, Lin JY, et al. Simulation-based training following a theoretical lecture enhances the performance of medical students in the interpretation and short-term retention of 20 cross-sectional transesophageal echocardiographic views: a prospective, randomized, controlled trial. *BMC Med Educ.* 2021;21(1):336.
142. Moak JH, Larese SR, Riordan JP, Sudhir A, Yan G. Training in transvaginal sonography using pelvic ultrasound simulators versus live models: a randomized controlled trial. *Acad Med.* 2014;89(7):1063-8.
143. Hohne E, Recker F, Dietrich CF, Schafer VS. Assessment Methods in Medical Ultrasound Education. *Front Med (Lausanne).* 2022;9:871957.

144. Pless A, Hari R, Harris M. Why are medical students so motivated to learn ultrasound skills? A qualitative study. *BMC Med Educ.* 2024;24(1):458.
145. Ray JJ, Meizoso JP, Hart V, Horkan D, Behrens V, Rao KA, et al. Effectiveness of a Perioperative Transthoracic Ultrasound Training Program for Students and Residents. *J Surg Educ.* 2017;74(5):805-10.
146. Stockwell BR, Stockwell MS, Cennamo M, Jiang E. Blended Learning Improves Science Education. *Cell.* 2015;162(5):933-6.
147. See KC, Chua JW, Verstegen D, Van Merrienboer JJG, Van Mook WN. Focused echocardiography: Dyad versus individual training in an authentic clinical context. *J Crit Care.* 2019;49:50-5.
148. Daum N, Blaivas M, Goudie A, Hoffmann B, Jenssen C, Neubauer R, et al. Student ultrasound education, current view and controversies. Role of Artificial Intelligence, Virtual Reality and telemedicine. *Ultrasound J.* 2024;16(1):44.
149. Zendejas B, Wang AT, Brydges R, Hamstra SJ, Cook DA. Cost: the missing outcome in simulation-based medical education research: a systematic review. *Surgery.* 2013;153(2):160-76.
150. Rose S. Medical Student Education in the Time of COVID-19. *JAMA.* 2020;323(21):2131-2.
151. Chick RC, Clifton GT, Peace KM, Propper BW, Hale DF, Alseidi AA, et al. Using Technology to Maintain the Education of Residents During the COVID-19 Pandemic. *J Surg Educ.* 2020;77(4):729-32.
152. Laurens LM, Baneras J, Biarnes A, Nunez S. Simulation in healthcare during COVID-19: An experience with residents in Anaesthesiology. *Rev Esp Anesthesiol Reanim (Engl Ed).* 2023;70(2):77-82.
153. Cant RP, Cooper SJ. Simulation-based learning in nurse education: systematic review. *J Adv Nurs.* 2010;66(1):3-15.
154. Norcini J, Burch V. Workplace-based assessment as an educational tool: AMEE Guide No. 31. *Med Teach.* 2007;29(9):855-71.
155. Dicheva D, Dichev C, Agre G, Angelova G. Gamification in Education: A Systematic Mapping Study. 2015.

8 Anhang

Anhang A: Beispielfragen des Fragebogens der Online-Umfrage (Stufe 1)

4. Aus welchem Tätigkeitsbereich kommen Sie?	
(Mehrfachauswahl möglich)	
☐	Rettungsdienst
☐	Student*in
☐	Student*in im praktischen Jahr
☐	Ärzt*in in Weiterbildung – Fachrichtung:
☐	Fachärzt*in für:
☐	Sonstiges:

5. Hatten Sie schon einmal Berührungspunkte mit simulationsbasiertem Training als Teilnehmer*in?	
☐	Ja
☐	Nein

6. Hatten Sie schon einmal Berührungspunkte mit simulationsbasiertem Training als Dozent*in?	
☐	Ja
☐	Nein

7. In welchem Bereich hatten Sie schon einmal Berührungspunkte mit simulationsbasiertem Training?	
(Mehrfachauswahl möglich)	
☐	Studium
☐	Fortbildung in der Klinik
☐	Vorausbildung

8. In welchem zeitlichen Umfang hatten Sie schon einmal Berührungspunkte mit simulationsbasiertem Training?	
☐	0 h
☐	0-1 h
☐	2-5 h
☐	>10 h
☐	>20 h

14. Welche Gründe sprechen oder sprachen Ihrer Meinung nach für den Einsatz von Simulatoren in Ihrer Einrichtung?

(Mehrfachauswahl möglich)

- ☐ Ausbildung von Studenten, Ärzten, Pflegepersonal
- ☐ Verbesserung der klinisch-praktischen Fertigkeiten
- ☐ Trend der Didaktik, bzw. Einbringen von Innovationen
- ☐ Kooperation mit externen Partnern (Bspw. Rettungsdienst)
- ☐ Es gibt keine Simulatoren in meiner Einrichtung
- ☐ Sonstiges/Freitext:

15. Welche Gründe sprechen Ihrer Meinung nach gegen den Einsatz von Simulatoren in Ihrer Einrichtung?

(Mehrfachauswahl möglich)

- ☐ Eingeschränkte Budgetmittel
- ☐ Fehlende Räumlichkeiten
- ☐ Mangel an Lehrpersonal
- ☐ Fehlendes Lehrkonzept
- ☐ Fehlende Verantwortlichkeiten
- ☐ Keine Defizite in der klinisch-praktischen Ausbildung
- ☐ Sonstiges/Freitext:

16. Bitte geben Sie an, inwieweit Sie der folgenden Aussage zustimmen:

Ich wünsche mir einen Ausbau des vorhandenen Simulationszentrums, bzw. die Neueinrichtung eines Simulationszentrums

Trifft nicht zu Trifft zu

A horizontal scale for rating agreement. It features a gradient bar that transitions from light gray on the left to dark gray on the right. Below the bar, there are seven small circles, each containing a number from 1 to 7, representing a Likert scale. The scale is flanked by the labels 'Trifft nicht zu' (Does not fit) on the left and 'Trifft zu' (Fits) on the right.

27. Bitte geben Sie an, inwieweit Sie den folgenden Aussagen zustimmen:

			
Das Training von verschiedenen Pathologien erachte ich als sinnvoll für den klinischen Alltag	Ich stimme gar nicht zu	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐	Ich stimme voll zu
Zum Erlernen einer neuen Ultraschalluntersuchungstechnik ist ein reines Simulationstraining ausreichend	Ich stimme gar nicht zu	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐	Ich stimme voll zu

28. Bitte bewerten Sie folgende Aussage:

Zu welchem Anteil (%) kann die Ultraschallsimulation die Lehre am echten Menschen Ihrer Meinung nach ersetzen?



29. In welchen Bereichen wünschen Sie sich ein Ultraschallsimulationstraining?

(Mehrfachauswahl möglich)

- ☐ Gynäkologie
- ☐ Abdomen Ultraschall: Leber, Niere, Milz, Gefäße
- ☐ Notfallmedizin: e-FAST
- ☐ Ultraschallgesteuerte Punktion (ZVK)
- ☐ Darmultraschall
- ☐ Herzultraschall
- ☐ Weitere:

30. Bitte bewerten Sie den CAE Vimedix Ultraschallsimulator in Bezug auf folgende technische Aspekte:

			
äußerlicher Eindruck im Sinne von Qualität, Farbe, Größe	Sehr schlecht	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐	Sehr gut
Haptik des Ultraschallkopfes / Realitätsnähe des Ultraschallkopfes	Sehr schlecht	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐	Sehr gut
Realitätsnahe Ultraschalluntersuchung	Sehr schlecht	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐	Sehr gut
Übersichtlichkeit und Bilddarstellung am Laptop	Sehr schlecht	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐	Sehr gut
Bildqualität im Sinne von Bildschärfe	Sehr schlecht	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐	Sehr gut

Anhang B: Exemplarische Seiten aus dem Vimedix-Arbeitsheft

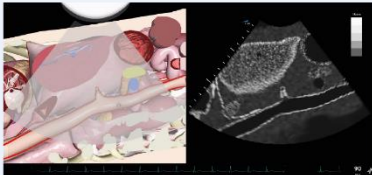
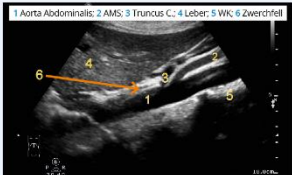
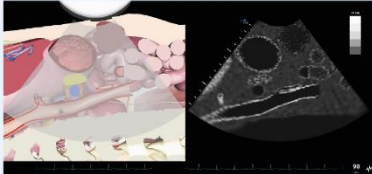
C | Lerneinheiten

C.1 Lerneinheit 1 – Thema: Retroperitoneum und Pankreas

Lerneinheit 1 – Abschnitt 1 (Standardschnitte)

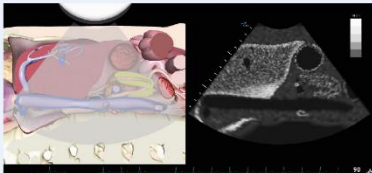
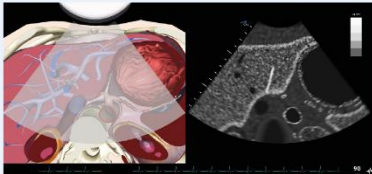
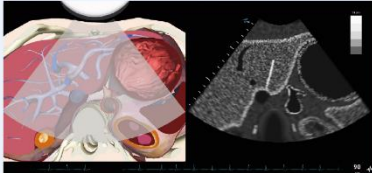
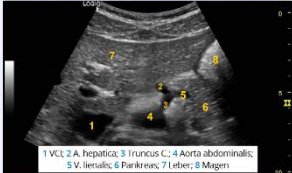
Aufgaben: Stellen Sie die folgenden Standardschnitte am Simulator ein. Beachten Sie die Aspekte der Bildoptimierung, benennen und verdeutlichen Sie sich mögliche Leitstrukturen in den jeweiligen Ebenen und vergleichen Sie diese mit den gezeigten Ultraschallbildern. Erarbeiten Sie sich die Standardschnittebenen (von dorsal nach ventral) auch mithilfe der anatomischen Bilddarstellung und

machen Sie sich den anatomischen Aufbau bewusst. Überlegen Sie sich, wie ein Untersuchungsablauf der einzelnen Standardschnitte aussieht und führen Sie diesen durch. Notieren Sie sich Besonderheiten / Auffälligkeiten des Simulators! **Tipp:** Sie können die Darstellungseinstellungen auch ändern (z. B. Anatomiebild groß, Ultraschallbild klein etc.)

✓ Standardschnitt	Beispiel	Ultraschallbild	Notizen
paramedianer Sagittalschnitt Aorta (inkl. Pankreas)			
paramedianer Sagittalschnitt Aorta infrarenal			

26

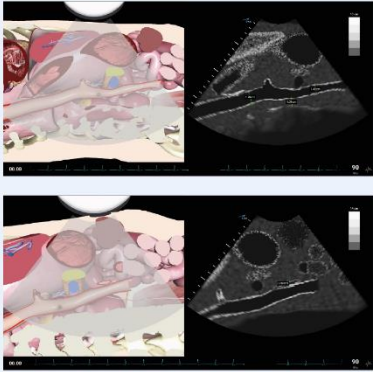
C | Lerneinheiten

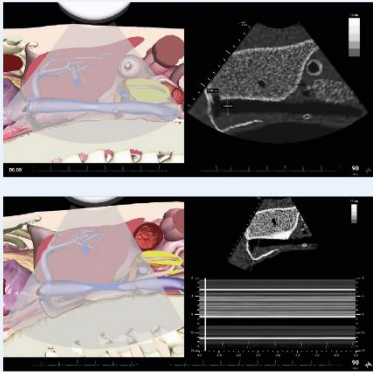
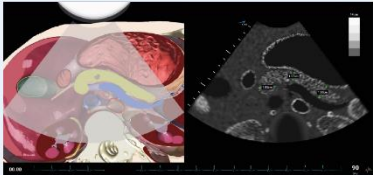
✓ Standardschnitt	Beispiel	Ultraschallbild	Notizen
paramedianer Sagittalschnitt Vena cava inferior (inkl. Pankreas)			
transversaler Oberbauch- schnitt, subxiphoidal			Magen wirkt sehr prominent
transversaler Oberbauch- schnitt, Truncus coeliacus			Magen wirkt sehr prominent

27

Lerneinheit 1 – Abschnitt 2 (Aufgaben)

Aufgaben: Führen Sie die folgenden Messungen eigenständig am Simulator durch. Achten Sie auf eine optimierte Bildeinstellung und notieren Sie sich Auffälligkeiten / Besonderheiten! Wie lauten die Normwerte der jeweiligen Messungen?

Aufgabe	Beispiel	Notizen
✓ Aorta abdominalis, sagittal: - Messung des Lumens Aorta supra- und infrarenal - Messung des Lumens AMS, bzw. AMI - Messung Abstand zur Wirbelsäule Normwerte 1. 2. 3.		Vorsicht: Verwechslungsgefahr AMS und AMI am Simulator

Aufgabe	Beispiel	Notizen
✓ Vena cava inferior, sagittal: - Messung des Lumens VCI - Einsatz des M-Modus Normwerte 1. 2.		
Pankreas, transversal Messungen Caput, Corpus, Cauda Normwerte 1. 2. 3.		

Anhang C: Schallanleitungen und Kursaufgaben für den Kleingruppenunterricht am Menschen

Schallanleitungen und Kursaufgaben für den Kleingruppenunterricht am Menschen

Die Studierenden sollen nach Absolvieren der Stationen 1-3 in der Lage sein...

- ✓ die parasternal lange Achse und parasternal kurze Achse,
- ✓ den apikalen 4-Kammer Blick,
- ✓ die subxiphoidale lange Achse,
- ✓ den Flankenschnitt links und rechts und
- ✓ eine Kompletuntersuchung nach dem FATE Protokoll

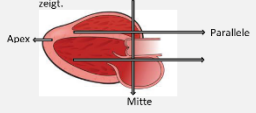
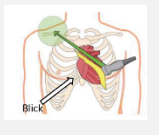
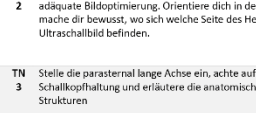
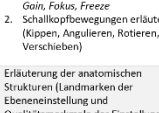
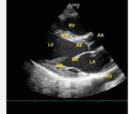
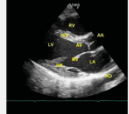
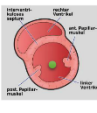
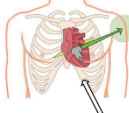
... adäquat einzustellen, deren anatomischen Strukturen und die Qualitätsmerkmale der Einstellungen kennen. Des Weiteren sollen einige **Pathologien inkl. der sonomorphologischen Besonderheiten** präsentiert werden.

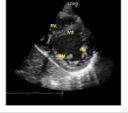
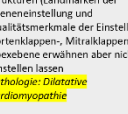
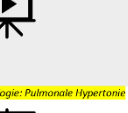
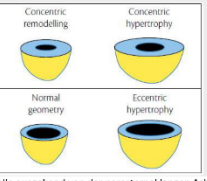
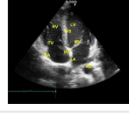
Pro Station sind 8 Aufgaben hinterlegt. Bei einer Gruppenstärke von 4 Personen kann in zwei Durchgängen jede/r Teilnehmer/in zwei Aufgaben durchführen.

Landmarken der Ebeneneinstellungen und Qualitätsmerkmale

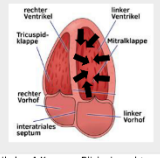
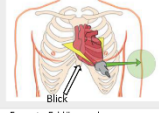
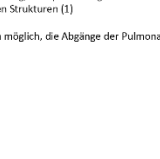
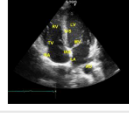
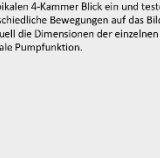
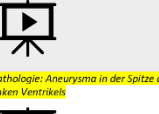
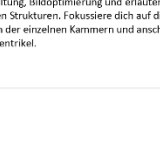
Parasternal lange Achse	Parasternal kurze Achse	Apikaler 4-Kammer Blick	Subxiphoidale lange Achse
- Der Apex sollte abgeschnitten sein! - Die Aorta descendens sollte dorsal zu sehen sein! - Mitral- und Aortenklappe sollten mittig im Bild und ca. auf einer Höhe liegen! - Die Taschen der Aortenklappe sollten symmetrisch sein! - IVS und Hinterwand des linken Ventrikels sollten horizontal im Bild liegen!	- Runder linker Ventrikel (keine „Ei-Form“)!) - Halbmondförmiger RV um den LV! - Beide Papillarmuskeln ohne Anteile der Mitralklappe!	- Es sollten alle vier Herzklappen dargestellt sein! - Der Apex sollte mittig oben im Bild liegen! - Das Septum sollte sich senkrecht im Bild darstellen! - Mitral- und Trikuspidalklappe sind senkrecht zum Septum! - Der LVOT sollte nicht zu sehen sein!	- Alle vier Herzkammern sollten zu sehen sein! - Die Segel der MV und TV sollten abgrenzbar sein! - Das IVS sollte sich längs im Bild befinden! - Das Diaphragma bzw. die Leber sollten schallkopfnah zu sehen sein!
Merke: Um verlässliche und reproduzierbare Messungen durchzuführen solltest du dich nicht mit einer schlechten Ebene zufriedengeben! Je nach Fragestellung (Perikarderguss) oder Situation (Notfall) kommt man aber natürlich nicht um Kompromisse herum!	Merke: Ein Eiförmiger linker Ventrikel entsteht durch eine falsche Haltung des Schallkopfes. Leichte Rotationsbewegungen sollten diesen Fehler korrigieren!	Merke: Beim 4-Kammer Blick ist es wichtig, darauf zu achten, dass die Ebene nicht verkürzt ist!	

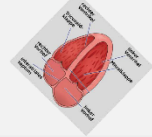
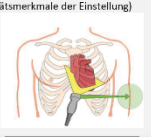
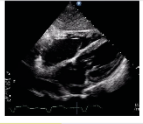
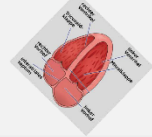
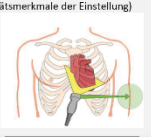
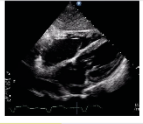
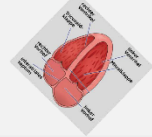
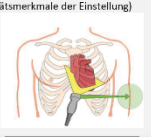
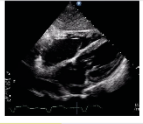
Station 1: Geräteeinführung + Parasternal lange Achse + Parasternal kurze Achse

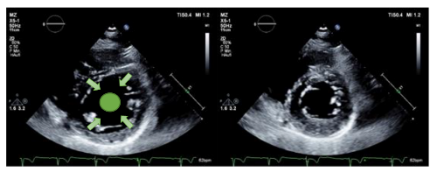
Schallanleitung	Tutorenhinweis
TN 1 Stelle die parasternal lange Achse ein. Orientiere dich am Sternoclaviculargelenk und setze den Schallkopf so auf, dass die Markierung auf die rechte Schulter (10 Uhr) zeigt. Verschiebe den Schallkopf nach kaudal, bis sich das Herz zeigt. 	1. Erläuterung der Lagerung 2. Erläuterung der Schnittorientierung 
TN 2 Stelle die parasternal kurze Achse ein, achte dabei auf eine adäquate Bildoptimierung. Orientiere dich in der Ebene und mache dir bewusst, wo sich welche Seite des Herzens im Ultraschallbild befinden. 	1. Knopfloge Erläuterungen: Depth, Gain, Fokus, Freeze 2. Schallkopfbewegungen erläutern (Kippen, Angulieren, Rotieren, Verschieben) 
TN 3 Stelle die parasternal lange Achse ein, achte auf die Schallkopfhaltung und erläutere die anatomischen Strukturen ☐ RV, LV ☐ LA, RA ☐ Aorta ascendens + descendens ☐ Papillarmuskel ☐ Interventrikularseptum 	Erläuterung der anatomischen Strukturen (Landmarken der Ebeneneinstellung und Qualitätsmerkmale der Einstellung) 
TN 4 Stelle die parasternal lange Achse ein, achte auf die Schallkopfhaltung, Bildoptimierung und mache dir bewusst, welche Wandabschnitte zu sehen sind. Beurteile die Wandabschnitte nach ihrer Beweglichkeit. Drehe anschließend den Schallkopf in die parasternal kurze Achse (im Uhrzeigersinn um 90°), sodass die Markierung auf die linke Schulter zeigt (2 Uhr).   	1. Erläuterung: Kippen des Schallkopfes nach kranial, bzw. kaudal verändert die Ebene: Aortenklappen-, Mitralklappen-, Papillarmuskel- oder Apexebene 2. Drehung in kurze Achse: Bildoptimierung beachten, Orientierungserläuterung 

Schallanleitung	Tutorenhinweis
TN 1 Stelle ausgehend von der parasternalen langen Achse die parasternal kurze Achse ein, achte dabei auf eine adäquate Bildoptimierung. Orientiere dich in der Ebene und mache dir bewusst, wo sich welche Seite des Herzens im Ultraschallbild befinden. 	Erläuterung der normalen systolischen Funktion. Der Ventrikel soll rund eingestellt sein. Tipp: Mauszeiger in die Mitte des Ventrikels legen 
TN 2 Stelle ausgehend von der parasternalen langen Achse die parasternal kurze Achse ein, achte dabei auf die Schallkopfhaltung, Bildoptimierung und erläutere die anatomischen Strukturen 	1. Erläuterung der anatomischen Strukturen (Landmarken der Ebeneneinstellung und Qualitätsmerkmale der Einstellung) 2. Aortenklappen-, Mitralklappen- und Apexebene erwähnen aber nicht einstellen lassen 3. Pathologie: Dilatative Kardiomyopathie 
TN 3 Stelle ausgehend von der parasternalen langen Achse die parasternal kurze Achse ein und mache danach das gleiche in umgekehrter Reihenfolge (kurze Achse in lange Achse). Nimm eine Hand zum Drehen des Schallkopfes, während die andere Hand den SK fixiert. 	1. Erneute Erklärung der anatomischen Strukturen, Schalltipps, Schallkopfhaltung 2. Blick auf die systolische Ventrikel Kontraktion (alle Wandteile ziehen in die Mitte) 
TN 4 Stelle ausgehend von der parasternalen langen Achse die parasternal kurze Achse ein, achte auf die Wandabschnitte und beurteile die Wandbewegungen des linken Ventrikels. Beurteilung der RV-Funktion anhand des IVS 	Pathologie: Pulmonale Hypertonie 

Station 2: Apikaler 4-Kammer Blick + Flankenschnitt links + Flankenschnitt rechts

Schallanleitung	Tutorenhinweis
TN 1 Stelle den apikalen 4-Kammer Blick ein. Drehe den Schallkopf so, dass die Markierung auf die linke Seite des Patienten (3 Uhr) zeigt. Orientiere dich in der Ebene und mache dir bewusst, wo sich welche Seite des Herzens im Ultraschallbild befindet. 	1. Erläuterung der Lagerung 2. Erläuterung: 3 Uhr Position, etwas lateral und kaudal der Mamille, Schallkopfbildung 3. Erläuterung der anatomischen Strukturen (Landmarken der Ebeneneinstellung und Qualitätsmerkmale der Einstellung) 
TN 2 Stelle den apikalen 4-Kammer Blick ein, achte auf die Schallkopfhaltung, Bildoptimierung und erläutere die anatomischen Strukturen (1) Zeige, sofern möglich, die Abgänge der Pulmonalvenen (2) 	1. Erneute Erklärung der anatomischen Strukturen, Schalltipps, Schallkopfhaltung 2. Blick auf die systolische Ventrikel Kontraktion (alle Wandteile ziehen in die Mitte) 
TN 3 Stelle den apikalen 4-Kammer Blick ein und teste welchen Effekt unterschiedliche Bewegungen auf das Bild haben. Beurteile visuell die Dimensionen der einzelnen Kammern und die globale Pumpfunktion. 	1. Schallkopfbewegungen: Rotation, Kippung, etc. 2. Erläuterung 5-Kammer-Blick wäre hier „Handbremse nach unten“ 3. Pathologie: Biventrikuläre Dysfunktion 
TN 4 Stelle den apikalen 4-Kammer Blick ein, achte auf die Schallkopfhaltung, Bildoptimierung und erläutere die anatomischen Strukturen. Fokussiere dich auf die Dimensionen der einzelnen Kammern und anschließend auf den linken Ventrikel. 	Pathologie: Aneurysma in der Spitze des linken Ventrikels 

<table border="1"> <thead> <tr> <th>Schallanleitung</th><th>Tutorienhinweis</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td> TN 1 Stelle den Flankenschnitt rechts und links ein, achte auf die Schallkopfhaltung und Bildoptimierung.  </td><td> 1. Anlotung, Schnitterorientierung, Bildoptimierung und Erläuterung der anatomischen Strukturen 2. Einstellung der zweiten Seite </td></tr> <tr> <td> TN 2 Stelle den Flankenschnitt rechts und links ein, achte auf die Schallkopfhaltung, Bildoptimierung und erläutere die anatomischen Strukturen.  </td><td> 1. Erläuterung der anatomischen Strukturen </td></tr> <tr> <td> TN 3 Stelle den Flankenschnitt rechts und links ein, achte auf die Schallkopfhaltung und Bildoptimierung. Zeige das Diaphragma. </td><td> Pathologie: Linker Pleuraerguss  </td></tr> <tr> <td> TN 4 Stelle den Flankenschnitt links und rechts ein, achte auf die Schallkopfhaltung und Bildoptimierung. </td><td> Pathologie: Rechter Pleuraerguss  </td></tr> </tbody> </table>	Schallanleitung	Tutorienhinweis	TN 1 Stelle den Flankenschnitt rechts und links ein, achte auf die Schallkopfhaltung und Bildoptimierung. 	1. Anlotung, Schnitterorientierung, Bildoptimierung und Erläuterung der anatomischen Strukturen 2. Einstellung der zweiten Seite	TN 2 Stelle den Flankenschnitt rechts und links ein, achte auf die Schallkopfhaltung, Bildoptimierung und erläutere die anatomischen Strukturen. 	1. Erläuterung der anatomischen Strukturen	TN 3 Stelle den Flankenschnitt rechts und links ein, achte auf die Schallkopfhaltung und Bildoptimierung. Zeige das Diaphragma.	Pathologie: Linker Pleuraerguss 	TN 4 Stelle den Flankenschnitt links und rechts ein, achte auf die Schallkopfhaltung und Bildoptimierung.	Pathologie: Rechter Pleuraerguss 	Station 3: Subxiphoidale lange Achse + FATE-Protokoll Komplettuntersuchung <table border="1"> <thead> <tr> <th>Schallanleitung</th><th>Tutorienhinweis</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td> TN 1 Stelle die subxiphoidale lange Achse ein. Lote im epigastrischen Winkel möglichst flach an und richte die Orientierung auf den linken Beckenkamm (4-5 Uhr). Achte auf die 3-Finger Technik.  </td><td> 1. Schnitterorientierung 2. Erläuterung der anatomischen Strukturen (Landmarken der Ebeneneinstellung und Qualitätsmerkmale der Einstellung)  </td></tr> <tr> <td> TN 2 Stelle die subxiphoidale lange Achse ein, achte auf die Schallkopfhaltung und Bildoptimierung. Orientiere dich in der Ebene und mache dir bewusst, wo sich welche Seite des Herzens im Ultraschallbild befindet.  </td><td></td></tr> <tr> <td> TN 3 Stelle die subxiphoidale lange Achse ein, achte auf die Schallkopfhaltung, Bildoptimierung und erläutere die anatomischen Strukturen. Achte auf das echoreiche Perikard und Leber.  </td><td> Pathologie: Tamponade  </td></tr> <tr> <td> TN 4 Stelle die subxiphoidale lange Achse ein, achte auf die Schallkopfhaltung, Bildoptimierung und erläutere die anatomischen Strukturen </td><td> Pathologie: Myxoma  </td></tr> <tr> <td> TN 1 Führe eine Komplettuntersuchung nach dem FATE-Protokoll durch. Achte dabei auf die richtige Schnitterreihenfolge, die Schallkopfhaltung und Bildoptimierung </td><td> Pathologie: Anteriorer Myokardinfarkt mit Perikarderguss 1. Erläuterung der Infarktolokalisation (ant./inf./septal., etc.)  </td></tr> </tbody> </table>	Schallanleitung	Tutorienhinweis	TN 1 Stelle die subxiphoidale lange Achse ein. Lote im epigastrischen Winkel möglichst flach an und richte die Orientierung auf den linken Beckenkamm (4-5 Uhr). Achte auf die 3-Finger Technik. 	1. Schnitterorientierung 2. Erläuterung der anatomischen Strukturen (Landmarken der Ebeneneinstellung und Qualitätsmerkmale der Einstellung) 	TN 2 Stelle die subxiphoidale lange Achse ein, achte auf die Schallkopfhaltung und Bildoptimierung. Orientiere dich in der Ebene und mache dir bewusst, wo sich welche Seite des Herzens im Ultraschallbild befindet. 		TN 3 Stelle die subxiphoidale lange Achse ein, achte auf die Schallkopfhaltung, Bildoptimierung und erläutere die anatomischen Strukturen. Achte auf das echoreiche Perikard und Leber. 	Pathologie: Tamponade 	TN 4 Stelle die subxiphoidale lange Achse ein, achte auf die Schallkopfhaltung, Bildoptimierung und erläutere die anatomischen Strukturen	Pathologie: Myxoma 	TN 1 Führe eine Komplettuntersuchung nach dem FATE-Protokoll durch. Achte dabei auf die richtige Schnitterreihenfolge, die Schallkopfhaltung und Bildoptimierung	Pathologie: Anteriorer Myokardinfarkt mit Perikarderguss 1. Erläuterung der Infarktolokalisation (ant./inf./septal., etc.) 
Schallanleitung	Tutorienhinweis																						
TN 1 Stelle den Flankenschnitt rechts und links ein, achte auf die Schallkopfhaltung und Bildoptimierung. 	1. Anlotung, Schnitterorientierung, Bildoptimierung und Erläuterung der anatomischen Strukturen 2. Einstellung der zweiten Seite																						
TN 2 Stelle den Flankenschnitt rechts und links ein, achte auf die Schallkopfhaltung, Bildoptimierung und erläutere die anatomischen Strukturen. 	1. Erläuterung der anatomischen Strukturen																						
TN 3 Stelle den Flankenschnitt rechts und links ein, achte auf die Schallkopfhaltung und Bildoptimierung. Zeige das Diaphragma.	Pathologie: Linker Pleuraerguss 																						
TN 4 Stelle den Flankenschnitt links und rechts ein, achte auf die Schallkopfhaltung und Bildoptimierung.	Pathologie: Rechter Pleuraerguss 																						
Schallanleitung	Tutorienhinweis																						
TN 1 Stelle die subxiphoidale lange Achse ein. Lote im epigastrischen Winkel möglichst flach an und richte die Orientierung auf den linken Beckenkamm (4-5 Uhr). Achte auf die 3-Finger Technik. 	1. Schnitterorientierung 2. Erläuterung der anatomischen Strukturen (Landmarken der Ebeneneinstellung und Qualitätsmerkmale der Einstellung) 																						
TN 2 Stelle die subxiphoidale lange Achse ein, achte auf die Schallkopfhaltung und Bildoptimierung. Orientiere dich in der Ebene und mache dir bewusst, wo sich welche Seite des Herzens im Ultraschallbild befindet. 																							
TN 3 Stelle die subxiphoidale lange Achse ein, achte auf die Schallkopfhaltung, Bildoptimierung und erläutere die anatomischen Strukturen. Achte auf das echoreiche Perikard und Leber. 	Pathologie: Tamponade 																						
TN 4 Stelle die subxiphoidale lange Achse ein, achte auf die Schallkopfhaltung, Bildoptimierung und erläutere die anatomischen Strukturen	Pathologie: Myxoma 																						
TN 1 Führe eine Komplettuntersuchung nach dem FATE-Protokoll durch. Achte dabei auf die richtige Schnitterreihenfolge, die Schallkopfhaltung und Bildoptimierung	Pathologie: Anteriorer Myokardinfarkt mit Perikarderguss 1. Erläuterung der Infarktolokalisation (ant./inf./septal., etc.) 																						

<table border="1"> <thead> <tr> <th>Schallanleitung</th><th>Tutorienhinweis</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td> TN 2 Führe eine Komplettuntersuchung nach dem FATE-Protokoll durch. Achte dabei auf die richtige Schnitterreihenfolge, die Schallkopfhaltung und Bildoptimierung </td><td> Pathologie: Pulmonale Hypertension  </td></tr> <tr> <td> TN 3 Führe eine Komplettuntersuchung nach dem FATE-Protokoll durch. Achte dabei auf die richtige Schnitterreihenfolge, die Schallkopfhaltung und Bildoptimierung </td><td> Pathologie: Akuter lateraler Myokardinfarkt  </td></tr> <tr> <td> TN 4 Führe eine Komplettuntersuchung nach dem FATE-Protokoll durch. Achte dabei auf die richtige Schnitterreihenfolge, die Schallkopfhaltung und Bildoptimierung </td><td> Pathologie: dilatative Kardiomyopathie  </td></tr> </tbody> </table>	Schallanleitung	Tutorienhinweis	TN 2 Führe eine Komplettuntersuchung nach dem FATE-Protokoll durch. Achte dabei auf die richtige Schnitterreihenfolge, die Schallkopfhaltung und Bildoptimierung	Pathologie: Pulmonale Hypertension 	TN 3 Führe eine Komplettuntersuchung nach dem FATE-Protokoll durch. Achte dabei auf die richtige Schnitterreihenfolge, die Schallkopfhaltung und Bildoptimierung	Pathologie: Akuter lateraler Myokardinfarkt 	TN 4 Führe eine Komplettuntersuchung nach dem FATE-Protokoll durch. Achte dabei auf die richtige Schnitterreihenfolge, die Schallkopfhaltung und Bildoptimierung	Pathologie: dilatative Kardiomyopathie 	Background: Grundlagen TTE Das TTE ist eine der wichtigsten kardiologischen Untersuchungen sowohl im klinischen Alltag als auch in Notfällen. Diagnostik eines breiten Spektrums an kardiologischen Erkrankungen und ein Einschätzen der Pumpfunktion. (Kammergrößen, Klappenlücken, globale und lokale Bewegungseinschränkungen, systolische und diastolische Funktion LV, RV Funktion) Beachte: Das TTE sollte immer im Zusammenhang mit der gesamten klinischen Konstellation betrachtet werden! Außerdem ist es nur ein Glied in der Kette der kardiologischen Diagnostik (MRT, TEE, Koronarangiographie, usw.) Schallkopf: Im TTE wird der Sektorschallkopf (1-8 MHz) verwendet. Dieser bietet 2 Vorteile: - Ideale Eindringtiefe - Ideale Auflagefläche, um zwischen den Interkostalräumen zu schallen Bildentstehung: Im Gegensatz zum Abdomen Ultraschall, befindet sich die Schallkopfseite mit der Markierung rechts im Bild! Dieses kleine Detail ist wichtig, um sich die Bildentstehung in den einzelnen Ebenen herzuleiten. Ventrale teile werden aber auch wie im Abdomenultraschall oben im Bild und dorsale unten im Bild dargestellt. Exkurs: Eyeballing Beim Eyeballing konzentrierst du dich auf einen Punkt mittig im LV, der in alle Richtungen ungefähr die Gleiche Entfernung zum Endokard hat. Ein Erfahrener Untersucher kann damit gleich 2 Dinge abschätzen. 1. Wie gut bewegen sich die einzelnen Wandabschnitte und liegt eine lokale Bewegungsstörung vor und 2. Wie groß ist die EF in etwa. Zusätzlich kann der M-Modus eingesetzt werden. Dadurch kann es leichter fallen die Bewegung zu visualisieren. Versuche die EF in den parasternalen kurzen Achsen einzuschätzen und vergleiche dein Ergebnis mit den Messungen/der Meinung eines erfahrenen Untersuchers. 
Schallanleitung	Tutorienhinweis								
TN 2 Führe eine Komplettuntersuchung nach dem FATE-Protokoll durch. Achte dabei auf die richtige Schnitterreihenfolge, die Schallkopfhaltung und Bildoptimierung	Pathologie: Pulmonale Hypertension 								
TN 3 Führe eine Komplettuntersuchung nach dem FATE-Protokoll durch. Achte dabei auf die richtige Schnitterreihenfolge, die Schallkopfhaltung und Bildoptimierung	Pathologie: Akuter lateraler Myokardinfarkt 								
TN 4 Führe eine Komplettuntersuchung nach dem FATE-Protokoll durch. Achte dabei auf die richtige Schnitterreihenfolge, die Schallkopfhaltung und Bildoptimierung	Pathologie: dilatative Kardiomyopathie 								

Anhang D: Schallanleitungen und Kursaufgaben für den Kleingruppenunterricht am Simulator

Station 1: Geräteeinführung + Parasternal lange Achse + Parasternal kurze Achse

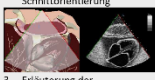
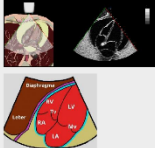
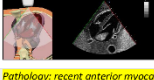
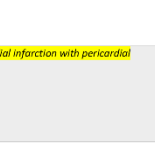
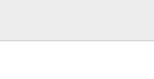
Schallanleitung	Tutorienhinweis
TN 1 Stelle die parasternal lange Achse ein 	Normal patient 1. Layout $\Rightarrow$ AR Only 2. Nach erfolgter Einstellung: Beam $\Rightarrow$ Guide (Erläuterung der Schnittrorientierung) 3. Nach erfolgter Einstellung: Layout $\Rightarrow$ split view
TN 2 Stelle die parasternal lange Achse ein, achte dabei auf eine adäquate Bildoptimierung Depth Gain Beam wide	Normal patient zur Erläuterung der Geräteeinstellung
TN 3 Stelle die parasternal lange Achse ein, achte auf die Schallkopfhaltung und erläutere die anatomischen Strukturen	Normal patient 1. Beam $\Rightarrow$ Ultrasound Erläuterung der anatomischen Strukturen (Landmarken der Ebeneneinstellung und Qualitätsmerkmale) 2. Beam $\Rightarrow$ Guide zur Erklärung der Schallkopfhaltung
TN 4 Stelle die parasternal lange Achse ein, achte auf die Schallkopfhaltung, Bildoptimierung und erläutere die anatomischen Strukturen (1) Drehe den Schallkopf in die parasternal kurze Achse und achte auf die Bildoptimierung (2)	Pathology: dilated cardiomyopathy - very severe left ventricular systolic dysfunction 1. Erläuterung der Pathologie: stillstehender linker Ventrikel, systolische Dysfunktion 2. Drehung in kurze Achse: Bildoptimierung beachten, Beam $\Rightarrow$ Guide zur Orientierungserläuterung

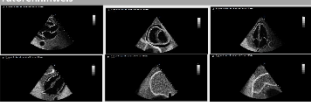
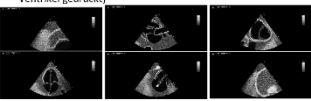
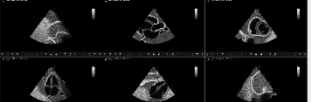
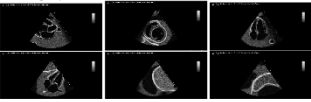
Schallanleitung	Tutorienhinweis
Schallanleitung Beschreibe die Pathologie (3)	Tutorienhinweis 3. Erläuterung Pathologie: Systolische Dysfunktion in der Papillarmuskellebene (eye balling), Ventrikel kontrahiert kaum. Tipp: Mauszeiger in die Mitte des Ventrikels legen
TN 1 Stelle ausgehend von der parasternal langen Achse die parasternal kurze Achse ein 	Normal patient 1. Erläuterung der normalen systolischen Funktion Tipp: Mauszeiger in die Mitte des Ventrikels legen 2. Beam $\Rightarrow$ Ultrasound 3. Schallkopfbewegungen erläutern (Kippen, Angulieren, Rotieren, Verschieben)
TN 2 Stelle ausgehend von der parasternal langen Achse die parasternal kurze Achse ein. Achte dabei auf die Schallkopfhaltung, Bildoptimierung und erläutere die anatomischen Strukturen	Normal patient 1. Einstellung wie zuvor lassen 2. Nach Einstellung der Ebene Wechsel zum Layout $\Rightarrow$ AR Only + Beam $\Rightarrow$ Transparent
TN 3 Stelle ausgehend von der parasternal langen Achse die parasternal kurze Achse ein (AR only) (1) Erläutere die anatomischen Strukturen (large US) (2)	Normal patient 1. In AR only bleiben 2. Nach erfolgter Einstellung: Layout $\Rightarrow$ Large US 3. Aortenklappen-, Mitralklappen- und Aortenbogen erläutern aber nicht einstellen lassen
TN 4 Stelle ausgehend von der parasternal langen Achse die parasternal kurze Achse ein (1) Beschreibe die Pathologie (2)	Pathology: pulmonary hypertension 1. Beschreibung D-Sign bei Rechtsventrüberbelastung. Interventrikularseptum wird zum linken Ventrikel gedrückt Beurteilung der RV-Funktion anhand des TAPSI

Station 2: Apikaler 4-Kammer Blick + Flankenschnitt links + Flankenschnitt rechts

Schallanleitung	Tutorienhinweis
TN 1 Stelle den apikalen 4-Kammer Blick ein 	Normal patient 1. Layout $\Rightarrow$ AR only 3. Nach erfolgter Einstellung: Layout $\Rightarrow$ split view 2. Erläuterung: 3 Uhr Position, Schallkopfsiding und Qualitätsmerkmale der Einstellung
TN 2 Stelle den apikalen 4-Kammer Blick ein, achte auf die Schallkopfhaltung, Bildoptimierung und erläutere die anatomischen Strukturen (1) Zeige die Abgänge der Pulmonalvenen (2)	Normal patient 1. Layout $\Rightarrow$ split view 2. Erneute Erklärung der anatomischen Strukturen, Schalltipps, Schallkopfhaltung 3. Blick auf die systolische Ventrikel Kontraktion (alle Wandteile ziehen in die Mitte)
TN 3 Stelle den apikalen 4-Kammer Blick ein (1) Beschreibe die Pathologie (2)	Pathology: severe biventricular dysfunction case 10 1. Achte auf die Wand, globale systolische Dysfunktion zeigen
TN 4 Stelle den apikalen 4-Kammer Blick ein, achte auf die Schallkopfhaltung, Bildoptimierung und erläutere die anatomischen Strukturen (1) Beschreibe die Pathologie (2)	Pathology: left ventricular apical aneurysm with thrombus 1. Schallkopf möglichst kaudal platzieren, um den Thrombus zu finden 2. Erläuterung Pathologie: Keine Kontraktion mehr in Herzspitze, zur Mitralklappe hin wieder Kontraktion erkennbar
TN 1 Stelle den Flankenschnitt rechts und links ein, achte auf die Schallkopfhaltung und Bildoptimierung	Normal patient 1. Layout $\Rightarrow$ Lunge einstellen (falls zuvor ausgeschaltet) 2. Layout $\Rightarrow$ split view 3. Bildoptimierung und Erläuterung der anatomischen Strukturen 4. Einstellung der zweiten Seite: Beam $\Rightarrow$ Guide zur Schnittrorientierung kranial/kaudal

Schallanleitung	Tutorienhinweis
TN 2 Stelle den Flankenschnitt rechts und links ein, achte auf die Schallkopfhaltung, Bildoptimierung und erläutere die anatomischen Strukturen	Normal patient 1. Linke Flanke Beam $\Rightarrow$ Ultrasound 2. Erläuterung der anatomischen Strukturen
TN 3 Stelle den Flankenschnitt rechts (1) und links (2) ein, achte auf die Schallkopfhaltung und Bildoptimierung. Beschreibe die Pathologie (3)	Pathology: left pleural effusion case 09 1. Pathogenese erläutern, Erguss echoarm 2. Schallkopf zwischen die Rippen drehen (interkostal schallen), nach ventral verschieben
TN 4 Stelle den Flankenschnitt links (1) und rechts (2) ein, achte auf die Schallkopfhaltung und Bildoptimierung. Beschreibe die Pathologie (3)	Pathology: right pleural effusion 1. Siehe Anleitung davor

Station 3: Subxiphoidaler Blick + FATE-Protokoll Komplettuntersuchung			
☒ TN Schallanleitung 1 Stelle die subxiphoidale lange Achse ein		Tutorenhinweis Normal patient Ankopplung beachten!! Schallkopf von oben greifen (3 Finger Griff) 1. Layout → split view  2. Nach erfolgter Einstellung: Beam → Guide zur Schnittorientierung  3. Erläuterung der anatomischen Strukturen (Landmarken der Ebeneneinstellung und Qualitätsmerkmale der Einstellung)	
☐ TN Stelle die subxiphoidale lange Achse ein, achte auf die Schallkopfhaltung, Bildoptimierung und erläutere die anatomischen Strukturen		Normal patient 1. Vorherige Einstellung belassen 2. Nach erfolgter Einstellung: Layout → AR only 	
☐ TN Stelle die subxiphoidale lange Achse ein, achte auf die Schallkopfhaltung, Bildoptimierung und erläutere die anatomischen Strukturen (1) Beschreibe die Pathologie (2)		Pathology: tamponade 1. Layout → Large US  2. Erläuterung der Pathologie (Flüssigkeit echoarm, Swinging heart durch Platzmangel) 	
☐ TN Stelle die subxiphoidale lange Achse ein, achte auf die Schallkopfhaltung, Bildoptimierung und erläutere die anatomischen Strukturen (1) Beschreibe die Pathologie (2)		Pathology: myxoma 1. Erläuterung der Pathologie  2. Erläuterung der Pathologie (Wand zieht nicht mit) 	
☐ TN Führe eine Komplettuntersuchung nach dem FATE-Protokoll durch. Achte dabei auf die richtige Schnittrihenfolge, die Schallkopfhaltung und Bildoptimierung (1) Beschreibe die Pathologie (2)		Pathology: recent anterior myocardial infarction with pericardial effusion 1. Erläuterung der Pathologie 	

Schallanleitung	Tutorenhinweis
☒ TN Beschreibe die Pathologie (2)	
☐ TN Führe eine Komplettuntersuchung nach dem FATE-Protokoll durch. Achte dabei auf die richtige Schnittrihenfolge, die Schallkopfhaltung und Bildoptimierung (1) Beschreibe die Pathologie (2)	Pathology: pulmonary hypertension 2. Erläuterung der Pathologie (Beschreibung D-Sign bei Rechtsherzbelastung, Interventrikularseptum wird zum linken Ventrikel gedrückt) 
☐ TN Führe eine Komplettuntersuchung nach dem FATE-Protokoll durch. Achte dabei auf die richtige Schnittrihenfolge, die Schallkopfhaltung und Bildoptimierung (1) Beschreibe die Pathologie (2)	Pathology: acute lateral myocardial infarction 1. Erläuterung der Pathologie (Wand zieht nicht mit)  
☐ TN Führe eine Komplettuntersuchung nach dem FATE-Protokoll durch. Achte dabei auf die richtige Schnittrihenfolge, die Schallkopfhaltung und Bildoptimierung (1) Beschreibe die Pathologie (2)	Pathology: dilated cardiomyopathy – very severe left ventricular systolic dysfunction (Cave: Lunge ausschalten macht dein Eindruck, als wäre es ein Pleuraerguss) 

Anhang E: Evaluationsfragebogen der FATE-Sim Studie (Stufe 3)

Fragebogen T1 Echokurs	Fragebogen T1 Echokurs																																																												
Fragebogen T1 Fortbildungstag: ☐ Samstag ☐ Sonntag Kleingruppe: ☐ 1, 2, 3 ☐ 4, 5, 6 1 Persönliche Daten 1. Bitte geben Sie Ihre Matrikelnummer nochmals an: _ _ _ _ _ 2. Alter: _ _ Jahre 3. Bitte geben Sie ihr Geschlecht an: ☐ m ☐ w ☐ d 2 Persönliche Vorerfahrungen und Fertigkeiten 4. Haben Sie eine Vorausbildung/Studium im medizinischen Bereich? ☐ Ja ☐ Nein Wenn ja, welche(s): _____ 5. Wie würden Sie Ihre Leistungsfähigkeit im Hinblick auf nachfolgende Bereiche einschätzen? <table border="1"><thead><tr><th></th><th>sehr hoch</th><th></th><th></th><th></th><th></th><th>sehr niedrig</th></tr></thead><tbody><tr><td>5.1 visuelle Wahrnehmung (systematisches Überblicken)</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td></tr><tr><td>5.2 räumliche Wahrnehmung (Distanzen, Winkel, Größe von Objekten beurteilen)</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td></tr><tr><td>5.3 räumliche Wahrnehmung (Orientierung von Objekten beurteilen)</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td></tr><tr><td>5.4 räumliches Vorstellungsvermögen (sich etwas aus einer anderen Perspektive vorstellen können)</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td></tr><tr><td>5.5 Sichere räumliche Wahrnehmung während der Durchführung einer Schallaufgabe</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td></tr><tr><td>5.6 Topographisch anatomische Kenntnisse</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td></tr></tbody></table> © F. Sprengart + J. Weimer sonoforklinik-students 1		sehr hoch					sehr niedrig	5.1 visuelle Wahrnehmung (systematisches Überblicken)	☐	☐	☐	☐	☐	☐	5.2 räumliche Wahrnehmung (Distanzen, Winkel, Größe von Objekten beurteilen)	☐	☐	☐	☐	☐	☐	5.3 räumliche Wahrnehmung (Orientierung von Objekten beurteilen)	☐	☐	☐	☐	☐	☐	5.4 räumliches Vorstellungsvermögen (sich etwas aus einer anderen Perspektive vorstellen können)	☐	☐	☐	☐	☐	☐	5.5 Sichere räumliche Wahrnehmung während der Durchführung einer Schallaufgabe	☐	☐	☐	☐	☐	☐	5.6 Topographisch anatomische Kenntnisse	☐	☐	☐	☐	☐	☐	6. Haben Sie Vorerfahrungen in der Interpretation von Schnittbildern (CT, MRT)? ☐ Ja ☐ Nein Wenn ja, wie haben Sie diese erlangt? ☐ Nicht-universitäre Kurse ☐ Universitäre Kurse ☐ Eigenstudium ☐ Weitere: _____ Wenn ja, in welchem zeitlichen Umfang? ☐ <10 Stunden ☐ 10-20 Stunden ☐ > 20 Stunden 7. Welche universitären Kurse haben Sie hinsichtlich der Interpretation von Schnittbildern schon belegt? ☐ Radiologiekurs ☐ Ultraschallkurse von sonoforklinik-students ☐ Wahlfächer ☐ Weitere: _____ ☐ keine 3 Ultraschallvorerfahrung 8. Wie viele Ultraschalluntersuchungen haben Sie bisher mitverfolgt/gesehen? ☐ Keine ☐ <10 Untersuchungen ☐ 10-20 Untersuchungen ☐ > 20 Untersuchungen 9. Wie viele eigenständige Ultraschalluntersuchungen haben Sie bisher durchgeführt? Hierzu zählen auch Normalbefunde (z.B. bei Kommiliton*innen). ☐ Keine ☐ < 20 Untersuchungen ☐ 20-40 Untersuchungen ☐ > 40 Untersuchungen © F. Sprengart + J. Weimer sonoforklinik-students 2											
	sehr hoch					sehr niedrig																																																							
5.1 visuelle Wahrnehmung (systematisches Überblicken)	☐	☐	☐	☐	☐	☐																																																							
5.2 räumliche Wahrnehmung (Distanzen, Winkel, Größe von Objekten beurteilen)	☐	☐	☐	☐	☐	☐																																																							
5.3 räumliche Wahrnehmung (Orientierung von Objekten beurteilen)	☐	☐	☐	☐	☐	☐																																																							
5.4 räumliches Vorstellungsvermögen (sich etwas aus einer anderen Perspektive vorstellen können)	☐	☐	☐	☐	☐	☐																																																							
5.5 Sichere räumliche Wahrnehmung während der Durchführung einer Schallaufgabe	☐	☐	☐	☐	☐	☐																																																							
5.6 Topographisch anatomische Kenntnisse	☐	☐	☐	☐	☐	☐																																																							
Fragebogen T1 Echokurs 10. Wie viele eigenständige Echountersuchungen haben Sie bisher durchgeführt? Hierzu zählen auch Normalbefunde (z.B. bei Kommiliton*innen). ☐ Keine ☐ < 20 Untersuchungen ☐ 20-40 Untersuchungen ☐ >40 Untersuchungen 11. Haben Sie sich inhaltlich auf den Echokurs vorbereitet? Wenn ja, welchen Zeitaufwand haben Sie dafür investiert? ☐ Ja: _____ Stunden ☐ Nein 12. Kompetenzen und Selbsteinschätzung vor Durchlaufen der Fortbildung: Ich verfüge über ausreichende Kenntnisse und Fähigkeiten im Bereich der Echokardiographie in Bezug auf... <table border="1"><thead><tr><th></th><th>voll und ganz</th><th></th><th></th><th></th><th>überhaupt nicht</th></tr></thead><tbody><tr><td>12.1 das Fachwissen</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td></tr><tr><td>12.2 die Gerätebedienung</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td></tr><tr><td>12.3 das Schallkopf-Handling</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td></tr><tr><td>12.4 die räumliche Orientierung</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td></tr><tr><td>12.5 die Sono-anatomische Zuordnung</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td></tr><tr><td>12.6 die Herzdarstellung</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td></tr><tr><td>12.7 die Herz(funktions)beurteilung</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td></tr><tr><td>12.8 die generelle Pathologieerkennung</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td></tr><tr><td>12.9 die Pathologievielfalt (ich erkenne viele Pathologien)</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td></tr></tbody></table> © F. Sprengart + J. Weimer sonoforklinik-students 3		voll und ganz				überhaupt nicht	12.1 das Fachwissen	☐	☐	☐	☐	☐	12.2 die Gerätebedienung	☐	☐	☐	☐	☐	12.3 das Schallkopf-Handling	☐	☐	☐	☐	☐	12.4 die räumliche Orientierung	☐	☐	☐	☐	☐	12.5 die Sono-anatomische Zuordnung	☐	☐	☐	☐	☐	12.6 die Herzdarstellung	☐	☐	☐	☐	☐	12.7 die Herz(funktions)beurteilung	☐	☐	☐	☐	☐	12.8 die generelle Pathologieerkennung	☐	☐	☐	☐	☐	12.9 die Pathologievielfalt (ich erkenne viele Pathologien)	☐	☐	☐	☐	☐	Fragebogen T1 Echokurs 4 Nutzungsverhalten Simulatoren Simulatoren dienen zum möglichst genauen Nachstellen einer realen Situation am Modell. Bekannt ist die Simulation im studentischen Bereich v.a. in Form von Skills Labs, in denen man Techniken aus dem Klinikalltag wie Nähen, Punktieren, Auskultieren, Palpieren an Simulatoren lernen kann. Die medizinischen Simulatoren ermöglichen den Erwerb medizinischer Fähigkeiten durch bewusste Praxis. Hierzu zählen bspw. Skills-Simulatoren und Patienten-Simulatoren zum Training einer ersten Naht, einem TEE-Ultraschall oder ein umfassendes Teamtraining. 13. Hatten Sie schon einmal Berührungspunkte mit simulationsbasiertem Training? Wenn ja, in welchem Bereich? (Mehrfachauswahl) ☐ Studium ☐ Ausbildungsberuf vor dem Studium ☐ Fortbildungskurs ☐ Weitere: _____ ☐ Nein 14. In welchem zeitlichen Umfang hatten Sie schon einmal Berührungspunkte mit simulationsbasiertem Training? ☐ 0-1 h ☐ 2-5 h ☐ >10 h ☐ >20 h ☐ Nie 15. In welchem Ausbildungsabschnitt wird das simulationsbasierte Training bei Ihnen eingesetzt und welcher Inhalt wird vermittelt? Inhalte und Erläuterungen bitte eintragen. (Mehrfachauswahl) ☐ Vorklinischer Abschnitt des Studiums, Fachbereich und vermitteltes Thema: ☐ Weitere: ☐ Nie © F. Sprengart + J. Weimer sonoforklinik-students 4
	voll und ganz				überhaupt nicht																																																								
12.1 das Fachwissen	☐	☐	☐	☐	☐																																																								
12.2 die Gerätebedienung	☐	☐	☐	☐	☐																																																								
12.3 das Schallkopf-Handling	☐	☐	☐	☐	☐																																																								
12.4 die räumliche Orientierung	☐	☐	☐	☐	☐																																																								
12.5 die Sono-anatomische Zuordnung	☐	☐	☐	☐	☐																																																								
12.6 die Herzdarstellung	☐	☐	☐	☐	☐																																																								
12.7 die Herz(funktions)beurteilung	☐	☐	☐	☐	☐																																																								
12.8 die generelle Pathologieerkennung	☐	☐	☐	☐	☐																																																								
12.9 die Pathologievielfalt (ich erkenne viele Pathologien)	☐	☐	☐	☐	☐																																																								

Fragebogen T1 Echokurs

16. Welche **Ausbildungsaspekte** können Ihrer Meinung nach durch den Einsatz von simulationsbasiertem Training **gefördert** werden? Bitte bewerten Sie hierfür die folgenden Aussagen:

		Auf jeden Fall				keinesfalls			
15.1	Vorhandenes Wissen festigen	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
15.2	Vertiefung des theoretischen Verständnisses	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
15.3	Transfer der Theorie in die Praxis erleichtern	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
15.4	Patientensicherheit erhöhen	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
15.5	Praktische Fertigkeiten schulen	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
15.6	Realitätsnähe (Übertragbarkeit auf den echten Patienten)	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
15.7	Fallbasiertes Lernen anhand klinischer Szenarien	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

5 Motivation und Erwartung an den Fortbildungskurs

17. Sind Sie schon einmal in **Kontakt mit einem Ultraschallsimulator** gekommen? Wenn ja, in welchem zeitlichen Umfang und von welchem Hersteller / Firma?

☐ Ja ☐ Nein

Zeitlicher Umfang _____

Hersteller _____

18. Wie würden Sie ihre Motivation in Bezug auf die bevorstehende Fortbildung bewerten?

voll und ganz motiviert überhaupt nicht motiviert

☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐

19. Meine Motivation zur Fortbildungsteilnahme ist aus den folgenden Gründen hoch:

Fragebogen T1 Echokurs

Meine Motivation wäre aus diesen Gründen noch größer:

6 Persönliche Lernziele für den Echo- Fortbildungskurs

Inwieweit stimmen Sie den folgenden Aussagen zu?

Durch das bevorstehende Echo- Fortbildungsprogramm **erhoffe ich mir ...**

		voll und ganz				überhaupt nicht			
28.	einen Zugewinn an Kenntnissen zur Technik des Ultraschalls	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
29.	einen Zugewinn an Kenntnissen zur Ultraschallanatomie	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
30.	einen Zugewinn an praktischen Ultraschallfertigkeiten	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
31.	einen Zugewinn an Kenntnissen zur standardisierten Durchführung einer Ultraschalluntersuchung	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
32.	einen Zugewinn an Kenntnissen zur Einschätzung pathologischer Ultraschallbefunde	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
33.	mehr Sicherheit in der Interpretation von Ultraschallbildern	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

34. **Eigenes Lernziel und weitere Punkte, die ich mir erhoffe (Freitext):**

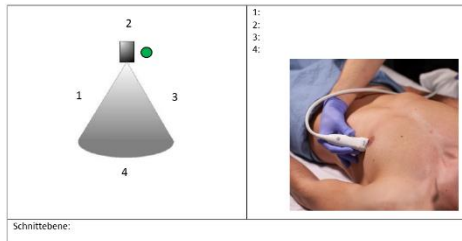
Vielen Dank für Ihre Unterstützung!

Anhang F: Test zur Überprüfung der theoretischen Kenntnisse der FATE-Sim Studie (Stufe 3)

Fragebogen T1 Echokurs

GRUNDLAGEN

1. Beschriften Sie das Bild mit den korrekten **anatomischen Richtungen**. Um welchen **Schnitt** handelt es sich? Achten Sie auf das beigefügte Schallkopfbild.
(ventral, dorsal, Patienten links, Patienten rechts, kranial, kaudal)



2. Nennen Sie 4 Punkte, die für eine **Bildoptimierung** sinnvoll sind:

1: _____
2: _____
3: _____
4: _____

3. Ergänzen Sie folgenden Satz: Die korrekte sonomorphologische Bezeichnung für „**dunkle**“ Bereiche im Bild lautet: _____

Ergänzen Sie folgenden Satz: Die korrekte sonomorphologische Bezeichnung für „**helle**“ Bereiche im Bild lautet: _____

4. Welcher Schallkopf ist hier gezeigt?



Schallkopf: _____

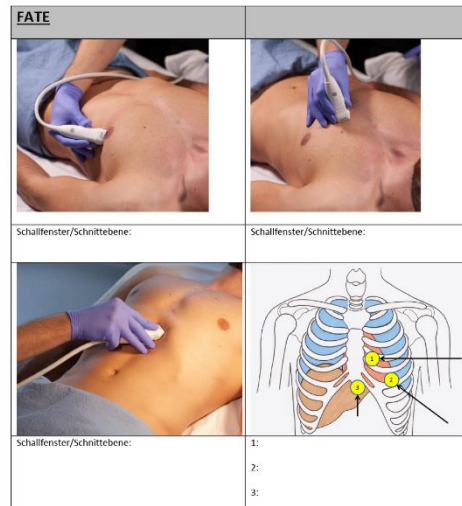
© F. Sprengart + J. Weimer sonoforklinik-students

8

Fragebogen T1 Echokurs

NORMALBEFUNDE

5. Um welches **Schallfenster / Schnittebene** handelt es sich hier? Beschriften Sie die dargestellten Bilder:



© F. Sprengart + J. Weimer sonoforklinik-students

9

Fragebogen T1 Echokurs

6. Ordne dem hier gezeigten Schallkopfbild das passende **Ultraschallbild** zu:

- ☐ A
☐ B
☐ C
☐ D
☐ E



7. Ordne dem hier gezeigten Schallkopfbild das passende **Simulatorbild** zu:

- ☐ A
☐ B
☐ C
☐ D
☐ E



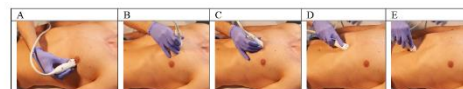
© F. Sprengart + J. Weimer sonoforklinik-students

10

Fragebogen T1 Echokurs

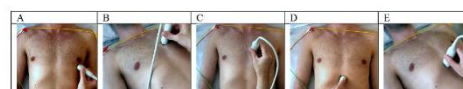
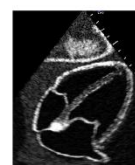
8. Ordnen Sie dem hier gezeigten Ultraschallbild das passende **Schallkopfbild** zu:

- ☐ A
☐ B
☐ C
☐ D
☐ E



9. Ordnen Sie dem hier gezeigten Simulatorultraschallbild das passende **Schallkopfbild** zu:

- ☐ A
☐ B
☐ C
☐ D
☐ E

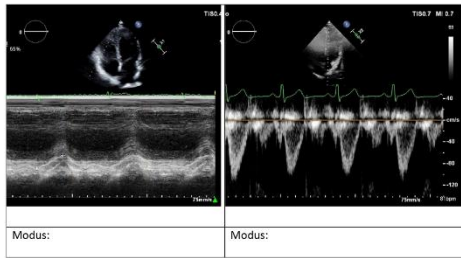


© F. Sprengart + J. Weimer sonoforklinik-students

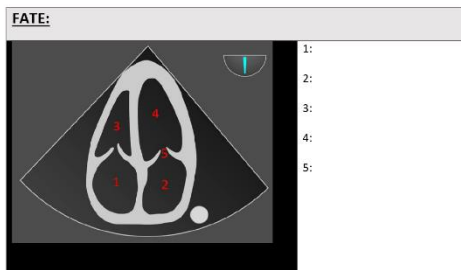
11

Fragebogen T1 Echokurs

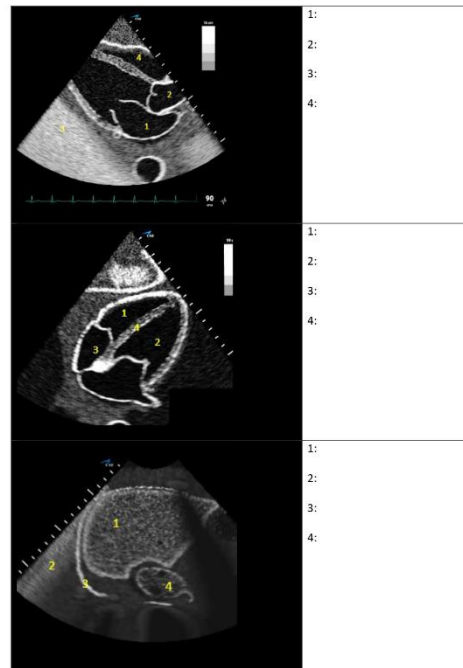
10. Benennen Sie anhand der folgenden Untersuchungsbilder in welchem Modus die Untersuchung erfolgte?



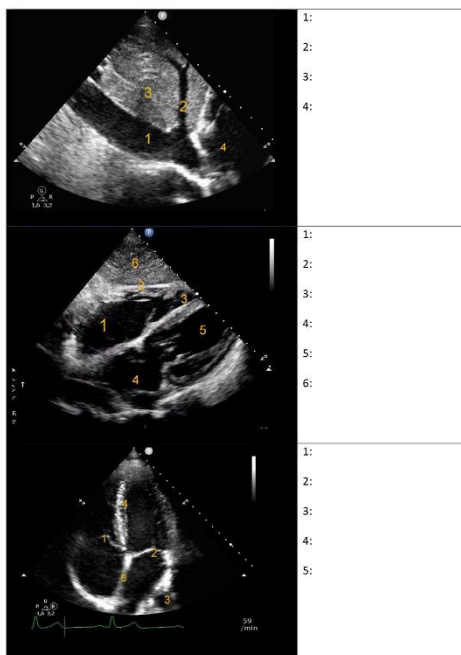
11. Welche Strukturen sind im Bild markiert? Beschreiben Sie diese möglichst genau!



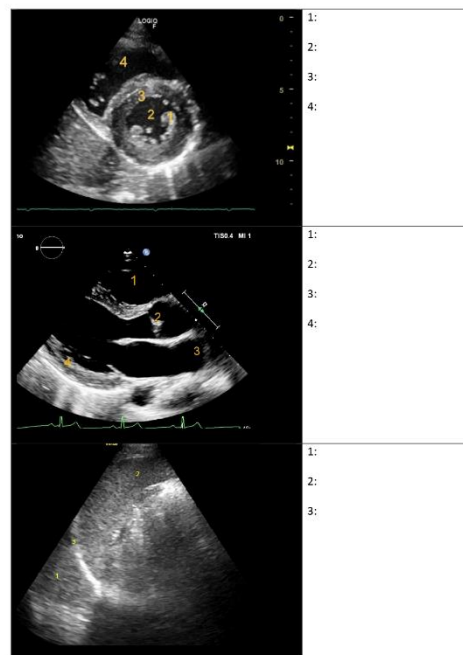
Fragebogen T1 Echokurs



Fragebogen T1 Echokurs



Fragebogen T1 Echokurs



Anhang G: Prüfungsbögen der praktischen Prüfungen (DOPS-Formate)

Checkliste/Bewertungsbogen FATE für Prüfer:innen	
Thema FATE-Protokoll	
Fallvignette: Sie sind Assistenzärzt*in in der Notfallambulanz der Uniklinik. Über die bodengebundene Rettung wird Ihnen ein/e 72 j. Patient*in mit Luftnot und leichtem Thoraxschmerz eingeliefert. Nach der EKG Diagnostik möchten Sie eine Fokussierte Herzultraschalluntersuchung zur weiteren Einschätzung durchführen.	
Aufgabe 1: Führen Sie den/ die Patient*in angemessen durch die Untersuchung (TN am Simulator bitte gezielt danach fragen)	
Aufgabe 2 + 3: Stellen Sie nacheinander die einzelnen Schnitte des FATE- Protokolls (inkl. Qualitätsmerkmale, max. 90 sek. pro Einstellung) korrekt ein, um sich einen Überblick über die Herzfunktion sowie mögliche Pathologien zu verschaffen. Frieren Sie jede der Einstellung ein, zeigen und benennen Sie anatomische Leitstrukturen. Bitte führen Sie keine Messungen durch.	
Prüferhinweise: • Zeitvorgabe: 8 Minuten Prüfung. Sollte die Einstellung nicht eigenständig gelingen, bitte mit manueller Hilfe unterstützen, damit Aufgabe 3 gelöst werden kann (Alternativ Bilder am Gerät zeigen). Pro Einstellung nicht mehr als max. 90 Sekunden aufwenden! • Schallkopfhandling im Untersuchungsablauf bei FATE 1 und zum Schluss erneut beurteilen: 6 Bewertungskriterien (Orientierung, Positionierung, Ankopplung, Schallkopfhaltung, Bildoptimierung und Gerätebedienung). Pro Kriterium 2 Punkte (selbstständig und sicher), 1 Punkt sofern verbale Anleitung notwendig ist, 0 Punkte bei manueller Hilfe. Bitte darauf achten, dass die linke Hand am Gerät / Simulatorpad ist (gerade vor Beginn verschieben!!!)). • Volle Punktzahl bei Atemkommando /Inspiration hold und Lagerung sofern kein Hinweis erfolgte, aber die Ebene gut eingestellt ist. • Punkte bitte erst nach der Prüfung zusammenrechnen und den Bogen nicht aus der Hand geben!	
Der Bewertungsbogen enthält pro Aufgabenstellung drei Bewertungsmöglichkeiten:	
• Grün: Der Prüfling führt die Aufgabe komplett richtig/optimal durch • Gelb: Der Prüfling hat die Aufgabe mit einigen Schwierigkeiten/mit Unterstützung durch den Prüfer durchführen können. • Rot: Der Prüfling konnte die Aufgaben trotz Prüferunterstützung nicht adäquat durchführen.	
Prüfungsziele: • Der Prüfling beherrscht das Schallkopfhandling und die Bildeinstellung in Bezug auf: • Orientierung • Ankopplung • Adäquate Vergrößerung und Bildoptimierung • Positionierung • Der Prüfling kann den/ die Patient*in angemessen durch die Untersuchung führen. • Der Prüfling kann die Untersuchung vorschriftsgemäß durchführen in Bezug auf: • ... die Einstellung der FATE-Protokoll Schnitte • ... die Benennung der anatomischen Leitstrukturen im jeweiligen Schnitt • ... die Bilderklärung der Orientierungsebene • ... die Gesamtausführung-/performance	

Checkliste/Bewertungsbogen FATE für Prüfer:innen	
Aufgabenblatt FATE-Protokoll DOPS	
Fallvignette: Sie sind Assistenzärzt*in in der Notfallambulanz der Uniklinik. Über die bodengebundene Rettung wird Ihnen ein/e 72 j. Patient*in mit Luftnot und leichtem Thoraxschmerz eingeliefert. Nach der EKG Diagnostik möchten Sie eine Fokussierte Herzultraschalluntersuchung zur weiteren Einschätzung durchführen.	
Aufgabe 1: Führen Sie den/ die Patient*in angemessen durch die Untersuchung (TN am Simulator bitte gezielt danach fragen)	
Aufgabe 2 + 3: Stellen Sie nacheinander die einzelnen Schnitte des FATE- Protokolls (inkl. Qualitätsmerkmale, max. 90 sek. pro Einstellung) korrekt ein, um sich einen Überblick über die Herzfunktion sowie mögliche Pathologien zu verschaffen. Frieren Sie jede der Einstellung ein, zeigen und benennen Sie anatomische Leitstrukturen. Bitte führen Sie keine Messungen durch.	

Checkliste/Bewertungsbogen FATE für Prüfer:innen																
Bewertungsbogen FATE-Protokoll DOPS																
Matrikelnummer: _____ Teilnehmername: _____																
Simulator ☐ Mensch ☐																
Prüfer/in: _____																
Aufgabe 1: Führen Sie den/ die Patient*in angemessen durch die Untersuchung																
Patientenführung/Kommunikation																
Es wird hingewiesen auf: (am Simulator gezielt den TN danach fragen!) • „Tücher einstecken/hinlegen und Handschuhe anziehen“ • „auf ausreichendes Entkleiden oder Freimachen des Oberkörpers hinweisen“ + „Warn vor Ultraschallgel!“ • Aufforderung zur „Lagerung“ + Warnung vor leichtem Druck während der Untersuchung • Beachten der Intimsphäre	<table border="1"><thead><tr><th>Richtig</th><th>Nachforderung</th><th>Gar nicht</th></tr></thead><tbody><tr><td>2 ☐</td><td>1 ☐</td><td>0 ☐</td></tr><tr><td>2 ☐</td><td>1 ☐</td><td>0 ☐</td></tr><tr><td>2 ☐</td><td>1 ☐</td><td>0 ☐</td></tr><tr><td>2 ☐</td><td>1 ☐</td><td>0 ☐</td></tr></tbody></table>	Richtig	Nachforderung	Gar nicht	2 ☐	1 ☐	0 ☐	2 ☐	1 ☐	0 ☐	2 ☐	1 ☐	0 ☐	2 ☐	1 ☐	0 ☐
Richtig	Nachforderung	Gar nicht														
2 ☐	1 ☐	0 ☐														
2 ☐	1 ☐	0 ☐														
2 ☐	1 ☐	0 ☐														
2 ☐	1 ☐	0 ☐														
Patientenführung Punktzahl ____/8																
Aufgaben 2+3: Stellen Sie bitte alle FATE Schnitte, inkl. Qualitätsmerkmale, korrekt ein. (max. 90 sek. pro Einstellung aufwenden!). Frieren Sie jede der Einstellung ein, zeigen und benennen Sie anatomische Leitstrukturen.																
FATE 1																
Prüferhinweis: Achte auf Orientierung, Positionierung, Ankopplung, Bildoptimierung und Gerätebedienung	<table border="1"><thead><tr><th colspan="2">Stellt die Ebene subkostaler 4-Kammer-Blick korrekt ein inklusive Qualitätsmerkmale:</th></tr></thead><tbody><tr><td>• Alle 4 Herzkammern sichtbar</td><td>2 ☐</td></tr><tr><td>• Segel der Mitralklappe und Trikuspidalklappe sichtbar</td><td>2 ☐</td></tr><tr><td>• Leber mit perikardialen Anteilen schallkopfnah im Bild</td><td>2 ☐</td></tr><tr><td>• Einstellung nur mit manueller Hilfe möglich</td><td>2 ☐</td></tr><tr><td>• Auch mit manueller Hilfe keine adäquate Untersuchung</td><td>0 ☐</td></tr></tbody></table>	Stellt die Ebene subkostaler 4-Kammer-Blick korrekt ein inklusive Qualitätsmerkmale:		• Alle 4 Herzkammern sichtbar	2 ☐	• Segel der Mitralklappe und Trikuspidalklappe sichtbar	2 ☐	• Leber mit perikardialen Anteilen schallkopfnah im Bild	2 ☐	• Einstellung nur mit manueller Hilfe möglich	2 ☐	• Auch mit manueller Hilfe keine adäquate Untersuchung	0 ☐			
Stellt die Ebene subkostaler 4-Kammer-Blick korrekt ein inklusive Qualitätsmerkmale:																
• Alle 4 Herzkammern sichtbar	2 ☐															
• Segel der Mitralklappe und Trikuspidalklappe sichtbar	2 ☐															
• Leber mit perikardialen Anteilen schallkopfnah im Bild	2 ☐															
• Einstellung nur mit manueller Hilfe möglich	2 ☐															
• Auch mit manueller Hilfe keine adäquate Untersuchung	0 ☐															
<table border="1"><thead><tr><th colspan="2">Korrektes zeigen und benennen der Strukturen:</th></tr></thead><tbody><tr><td>Rechtes Atrium</td><td>0,5 ☐</td></tr><tr><td>Rechter Ventrikel</td><td>0,5 ☐</td></tr><tr><td>Linkes Atrium</td><td>0,5 ☐</td></tr><tr><td>Linker Ventrikel</td><td>0,5 ☐</td></tr></tbody></table>		Korrektes zeigen und benennen der Strukturen:		Rechtes Atrium	0,5 ☐	Rechter Ventrikel	0,5 ☐	Linkes Atrium	0,5 ☐	Linker Ventrikel	0,5 ☐					
Korrektes zeigen und benennen der Strukturen:																
Rechtes Atrium	0,5 ☐															
Rechter Ventrikel	0,5 ☐															
Linkes Atrium	0,5 ☐															
Linker Ventrikel	0,5 ☐															
FATE 1 Punktzahl ____/8																
FATE 2																
Prüferhinweis: Achte auf Orientierung, Positionierung, Ankopplung, Bildoptimierung und Gerätebedienung	<table border="1"><thead><tr><th colspan="2">Stellt die Ebene apikaler 4-Kammer-Blick korrekt ein inklusive Qualitätsmerkmale:</th></tr></thead><tbody><tr><td>• Alle 4 Herzkammern sichtbar</td><td>2 ☐</td></tr><tr><td>• Septum stellt sich senkrecht im Bild dar</td><td>2 ☐</td></tr><tr><td>• Mitralklappe und Trikuspidalklappe horizontal im Bild</td><td>2 ☐</td></tr><tr><td>• Einstellung nur mit manueller Hilfe möglich</td><td>2 ☐</td></tr><tr><td>• Auch mit manueller Hilfe keine adäquate Untersuchung</td><td>0 ☐</td></tr></tbody></table>	Stellt die Ebene apikaler 4-Kammer-Blick korrekt ein inklusive Qualitätsmerkmale:		• Alle 4 Herzkammern sichtbar	2 ☐	• Septum stellt sich senkrecht im Bild dar	2 ☐	• Mitralklappe und Trikuspidalklappe horizontal im Bild	2 ☐	• Einstellung nur mit manueller Hilfe möglich	2 ☐	• Auch mit manueller Hilfe keine adäquate Untersuchung	0 ☐			
Stellt die Ebene apikaler 4-Kammer-Blick korrekt ein inklusive Qualitätsmerkmale:																
• Alle 4 Herzkammern sichtbar	2 ☐															
• Septum stellt sich senkrecht im Bild dar	2 ☐															
• Mitralklappe und Trikuspidalklappe horizontal im Bild	2 ☐															
• Einstellung nur mit manueller Hilfe möglich	2 ☐															
• Auch mit manueller Hilfe keine adäquate Untersuchung	0 ☐															
<table border="1"><thead><tr><th colspan="2">Korrektes zeigen und benennen der Strukturen:</th></tr></thead><tbody><tr><td>Re + Li Atrium</td><td>0,5 ☐</td></tr><tr><td>Re + Li Ventrikel</td><td>0,5 ☐</td></tr><tr><td>Trikuspidal- und Mitralklappe</td><td>0,5 ☐</td></tr><tr><td>Septum interart. + interventrikuläre</td><td>0,5 ☐</td></tr></tbody></table>		Korrektes zeigen und benennen der Strukturen:		Re + Li Atrium	0,5 ☐	Re + Li Ventrikel	0,5 ☐	Trikuspidal- und Mitralklappe	0,5 ☐	Septum interart. + interventrikuläre	0,5 ☐					
Korrektes zeigen und benennen der Strukturen:																
Re + Li Atrium	0,5 ☐															
Re + Li Ventrikel	0,5 ☐															
Trikuspidal- und Mitralklappe	0,5 ☐															
Septum interart. + interventrikuläre	0,5 ☐															
FATE 2 Punktzahl ____/8																

Checkliste/Bewertungsbogen FATE für Prüfer:innen																									
FATE 3																									
Prüferhinweis: Achte auf Orientierung, Positionierung, Ankopplung, Bildoptimierung und Gerätebedienung																									
<table border="1"><thead><tr><th colspan="2">Stellt die Ebene parasternal lange Achse korrekt ein inklusive Qualitätsmerkmale:</th></tr></thead><tbody><tr><td>• Mitralklappe und Aortenklappe mittig im Bild u. liegen ca. auf einer Höhe</td><td>2 ☐</td></tr><tr><td>• IVS und Hinterwand des linken Ventrikels liegen horizontal</td><td>2 ☐</td></tr><tr><td>• Aorta descendens sollte sichtbar sein und Apex abgeschnitten</td><td>2 ☐</td></tr><tr><td>• Einstellung nur mit manueller Hilfe möglich</td><td>2 ☐</td></tr><tr><td>• Auch mit manueller Hilfe keine adäquate Untersuchung</td><td>0 ☐</td></tr></tbody></table>	Stellt die Ebene parasternal lange Achse korrekt ein inklusive Qualitätsmerkmale:		• Mitralklappe und Aortenklappe mittig im Bild u. liegen ca. auf einer Höhe	2 ☐	• IVS und Hinterwand des linken Ventrikels liegen horizontal	2 ☐	• Aorta descendens sollte sichtbar sein und Apex abgeschnitten	2 ☐	• Einstellung nur mit manueller Hilfe möglich	2 ☐	• Auch mit manueller Hilfe keine adäquate Untersuchung	0 ☐	<table border="1"><thead><tr><th colspan="2">Korrektes zeigen und benennen der Strukturen:</th></tr></thead><tbody><tr><td>Mitralklappe</td><td>0,5 ☐</td></tr><tr><td>Papillarmuskel</td><td>0,5 ☐</td></tr><tr><td>Linker Ventrikel</td><td>0,5 ☐</td></tr><tr><td>Aortenklappe</td><td>0,5 ☐</td></tr></tbody></table>	Korrektes zeigen und benennen der Strukturen:		Mitralklappe	0,5 ☐	Papillarmuskel	0,5 ☐	Linker Ventrikel	0,5 ☐	Aortenklappe	0,5 ☐		
Stellt die Ebene parasternal lange Achse korrekt ein inklusive Qualitätsmerkmale:																									
• Mitralklappe und Aortenklappe mittig im Bild u. liegen ca. auf einer Höhe	2 ☐																								
• IVS und Hinterwand des linken Ventrikels liegen horizontal	2 ☐																								
• Aorta descendens sollte sichtbar sein und Apex abgeschnitten	2 ☐																								
• Einstellung nur mit manueller Hilfe möglich	2 ☐																								
• Auch mit manueller Hilfe keine adäquate Untersuchung	0 ☐																								
Korrektes zeigen und benennen der Strukturen:																									
Mitralklappe	0,5 ☐																								
Papillarmuskel	0,5 ☐																								
Linker Ventrikel	0,5 ☐																								
Aortenklappe	0,5 ☐																								
FATE 3 Punktzahl ____/8																									
FATE 4																									
Prüferhinweis: Achte auf Orientierung, Positionierung, Ankopplung, Bildoptimierung und Gerätebedienung																									
<table border="1"><thead><tr><th colspan="2">Stellt Ebene parasternal kurze Achse Papillarmuskel korrekt ein inklusive Qualitätsmerkmale:</th></tr></thead><tbody><tr><td>• Runder linker Ventrikel, keine Ei-Form</td><td>2 ☐</td></tr><tr><td>• Beide Papillarmuskeln ohne Anteile der Mitralklappe</td><td>2 ☐</td></tr><tr><td>• Rechter Ventrikel liegt halbmondförmig auf</td><td>2 ☐</td></tr><tr><td>• Nur ein Papillarmuskel oder Ei-Form</td><td>4 ☐</td></tr><tr><td>• Einstellung nur mit manueller Hilfe möglich</td><td>2 ☐</td></tr><tr><td>• Auch mit manueller Hilfe keine adäquate Untersuchung</td><td>0 ☐</td></tr></tbody></table>	Stellt Ebene parasternal kurze Achse Papillarmuskel korrekt ein inklusive Qualitätsmerkmale:		• Runder linker Ventrikel, keine Ei-Form	2 ☐	• Beide Papillarmuskeln ohne Anteile der Mitralklappe	2 ☐	• Rechter Ventrikel liegt halbmondförmig auf	2 ☐	• Nur ein Papillarmuskel oder Ei-Form	4 ☐	• Einstellung nur mit manueller Hilfe möglich	2 ☐	• Auch mit manueller Hilfe keine adäquate Untersuchung	0 ☐	<table border="1"><thead><tr><th colspan="2">Korrektes zeigen und benennen der Strukturen:</th></tr></thead><tbody><tr><td>Papillarmuskel</td><td>0,5 ☐</td></tr><tr><td>Linker Ventrikel</td><td>0,5 ☐</td></tr><tr><td>Rechter Ventrikel</td><td>0,5 ☐</td></tr><tr><td>Septum interventrikuläre</td><td>0,5 ☐</td></tr></tbody></table>	Korrektes zeigen und benennen der Strukturen:		Papillarmuskel	0,5 ☐	Linker Ventrikel	0,5 ☐	Rechter Ventrikel	0,5 ☐	Septum interventrikuläre	0,5 ☐
Stellt Ebene parasternal kurze Achse Papillarmuskel korrekt ein inklusive Qualitätsmerkmale:																									
• Runder linker Ventrikel, keine Ei-Form	2 ☐																								
• Beide Papillarmuskeln ohne Anteile der Mitralklappe	2 ☐																								
• Rechter Ventrikel liegt halbmondförmig auf	2 ☐																								
• Nur ein Papillarmuskel oder Ei-Form	4 ☐																								
• Einstellung nur mit manueller Hilfe möglich	2 ☐																								
• Auch mit manueller Hilfe keine adäquate Untersuchung	0 ☐																								
Korrektes zeigen und benennen der Strukturen:																									
Papillarmuskel	0,5 ☐																								
Linker Ventrikel	0,5 ☐																								
Rechter Ventrikel	0,5 ☐																								
Septum interventrikuläre	0,5 ☐																								
FATE 4 Punktzahl ____/8																									
FATE 5																									
Prüferhinweis: Achte auf Orientierung, Positionierung, Ankopplung, Bildoptimierung und Gerätebedienung																									
<table border="1"><thead><tr><th colspan="2">Stellt Ebene lateraler Flankenschnitt Recessus cost. rechts korrekt ein inklusive Qualitätsmerkmale:</th></tr></thead><tbody><tr><td>• Diaphragma sichtbar</td><td>2 ☐</td></tr><tr><td>• Recessus einsehbar</td><td>2 ☐</td></tr><tr><td>• Subdiaphragmale Anteile (Leber) sichtbar</td><td>2 ☐</td></tr><tr><td>• Einstellung nur mit manueller Hilfe möglich</td><td>2 ☐</td></tr><tr><td>• Auch mit manueller Hilfe keine adäquate Untersuchung</td><td>0 ☐</td></tr></tbody></table>	Stellt Ebene lateraler Flankenschnitt Recessus cost. rechts korrekt ein inklusive Qualitätsmerkmale:		• Diaphragma sichtbar	2 ☐	• Recessus einsehbar	2 ☐	• Subdiaphragmale Anteile (Leber) sichtbar	2 ☐	• Einstellung nur mit manueller Hilfe möglich	2 ☐	• Auch mit manueller Hilfe keine adäquate Untersuchung	0 ☐	<table border="1"><thead><tr><th colspan="2">Korrektes zeigen und benennen der Strukturen:</th></tr></thead><tbody><tr><td>Recessus cost.</td><td>0,5 ☐</td></tr><tr><td>Lunge</td><td>0,5 ☐</td></tr><tr><td>Diaphragma</td><td>0,5 ☐</td></tr><tr><td>Leber</td><td>0,5 ☐</td></tr></tbody></table>	Korrektes zeigen und benennen der Strukturen:		Recessus cost.	0,5 ☐	Lunge	0,5 ☐	Diaphragma	0,5 ☐	Leber	0,5 ☐		
Stellt Ebene lateraler Flankenschnitt Recessus cost. rechts korrekt ein inklusive Qualitätsmerkmale:																									
• Diaphragma sichtbar	2 ☐																								
• Recessus einsehbar	2 ☐																								
• Subdiaphragmale Anteile (Leber) sichtbar	2 ☐																								
• Einstellung nur mit manueller Hilfe möglich	2 ☐																								
• Auch mit manueller Hilfe keine adäquate Untersuchung	0 ☐																								
Korrektes zeigen und benennen der Strukturen:																									
Recessus cost.	0,5 ☐																								
Lunge	0,5 ☐																								
Diaphragma	0,5 ☐																								
Leber	0,5 ☐																								
FATE 5 Punktzahl ____/8																									

Checkliste/Bewertungsbogen FATE für Prüfer:de



FATE 6																			
Prüferhinweis: Achte auf Orientierung, Positionierung, Ankopplung, Bildoptimierung und Gerätebedienung																			
Stellt Ebene lateral Flankenschnitt Recessus cost. links korrekt ein inklusive Qualitätsmerkmale: <table border="1"> <tr><td>Diaphragma sichtbar</td><td>2 □</td></tr> <tr><td>Recessus einsehbar</td><td>2 □</td></tr> <tr><td>Subdiaphragmale Anteile (Milz) sichtbar</td><td>2 □</td></tr> <tr><td>Einstellung nur mit manueller Hilfe möglich</td><td>2 □</td></tr> <tr><td>Auch mit manueller Hilfe keine adäquate Untersuchung</td><td>0 □</td></tr> </table>	Diaphragma sichtbar	2 □	Recessus einsehbar	2 □	Subdiaphragmale Anteile (Milz) sichtbar	2 □	Einstellung nur mit manueller Hilfe möglich	2 □	Auch mit manueller Hilfe keine adäquate Untersuchung	0 □	Korrektes zeigen und benennen der Strukturen: <table border="1"> <tr><td>Recessus cost.</td><td>0,5 □</td></tr> <tr><td>Lunge</td><td>0,5 □</td></tr> <tr><td>Diaphragma</td><td>0,5 □</td></tr> <tr><td>Milz</td><td>0,5 □</td></tr> </table>	Recessus cost.	0,5 □	Lunge	0,5 □	Diaphragma	0,5 □	Milz	0,5 □
Diaphragma sichtbar	2 □																		
Recessus einsehbar	2 □																		
Subdiaphragmale Anteile (Milz) sichtbar	2 □																		
Einstellung nur mit manueller Hilfe möglich	2 □																		
Auch mit manueller Hilfe keine adäquate Untersuchung	0 □																		
Recessus cost.	0,5 □																		
Lunge	0,5 □																		
Diaphragma	0,5 □																		
Milz	0,5 □																		
Prüfernotiz: FATE 6 Punktzahl ____/8																			
Gesamteindruck des FATE-Protokolls Punkte																			
Orientierung <table border="1"> <tr><td>Richtig in allen Schnitten, oder sofort selbst überprüft anhand der Bildbewegung/ Abkoppeln</td><td>2 □</td></tr> <tr><td>Korrigiert einen oder mehrere Schnitte nach anfänglichen Schwierigkeiten/ nach verbaler Aufforderung</td><td>1 □</td></tr> <tr><td>Nur mit manueller Hilfe richtige Orientierung gefunden</td><td>0 □</td></tr> </table>		Richtig in allen Schnitten, oder sofort selbst überprüft anhand der Bildbewegung/ Abkoppeln	2 □	Korrigiert einen oder mehrere Schnitte nach anfänglichen Schwierigkeiten/ nach verbaler Aufforderung	1 □	Nur mit manueller Hilfe richtige Orientierung gefunden	0 □												
Richtig in allen Schnitten, oder sofort selbst überprüft anhand der Bildbewegung/ Abkoppeln	2 □																		
Korrigiert einen oder mehrere Schnitte nach anfänglichen Schwierigkeiten/ nach verbaler Aufforderung	1 □																		
Nur mit manueller Hilfe richtige Orientierung gefunden	0 □																		
Positionierung <table border="1"> <tr><td>Richtig in allen Schnitten oder sofort selbst aus anderem Schnitt überführt</td><td>2 □</td></tr> <tr><td>Korrigiert einen oder mehrere Schnitte nach anfänglichen Schwierigkeiten/ nach verbaler Aufforderung</td><td>1 □</td></tr> <tr><td>Nur mit manueller Hilfe wurde die richtige Anlotungsposition gefunden</td><td>0 □</td></tr> </table>		Richtig in allen Schnitten oder sofort selbst aus anderem Schnitt überführt	2 □	Korrigiert einen oder mehrere Schnitte nach anfänglichen Schwierigkeiten/ nach verbaler Aufforderung	1 □	Nur mit manueller Hilfe wurde die richtige Anlotungsposition gefunden	0 □												
Richtig in allen Schnitten oder sofort selbst aus anderem Schnitt überführt	2 □																		
Korrigiert einen oder mehrere Schnitte nach anfänglichen Schwierigkeiten/ nach verbaler Aufforderung	1 □																		
Nur mit manueller Hilfe wurde die richtige Anlotungsposition gefunden	0 □																		
Ankopplung/Schallkopfhaltung <table border="1"> <tr><td>Schallkopf wird in allen Schnitten gut und mit ausreichend Gel angekopfelt. Druck kontinuierlich, gute Haltung</td><td>2 □</td></tr> <tr><td>Korrigiert einen oder mehrere Schnitte nach anfänglichen Schwierigkeiten/ nach verbaler Aufforderung</td><td>1 □</td></tr> <tr><td>Kein Druck und/oder kein Gel + unkontrollierter Druck und/oder SK halb in Luft</td><td>0 □</td></tr> </table>		Schallkopf wird in allen Schnitten gut und mit ausreichend Gel angekopfelt. Druck kontinuierlich, gute Haltung	2 □	Korrigiert einen oder mehrere Schnitte nach anfänglichen Schwierigkeiten/ nach verbaler Aufforderung	1 □	Kein Druck und/oder kein Gel + unkontrollierter Druck und/oder SK halb in Luft	0 □												
Schallkopf wird in allen Schnitten gut und mit ausreichend Gel angekopfelt. Druck kontinuierlich, gute Haltung	2 □																		
Korrigiert einen oder mehrere Schnitte nach anfänglichen Schwierigkeiten/ nach verbaler Aufforderung	1 □																		
Kein Druck und/oder kein Gel + unkontrollierter Druck und/oder SK halb in Luft	0 □																		
Adäquate Vergrößerung/Bildoptimierung/ Gerätebedienung <table border="1"> <tr><td>Selbstständig und adäquates Einstellen in allen Schnitten mit angemessener Bildqualität (Gain, Eindringtiefe, Frequenz, Fokus) auch während Untersuchung, Linke Hand am Gerät</td><td>2 □</td></tr> <tr><td>Korrigiert einen oder mehrere Schnitte nach anfänglichen Schwierigkeiten/ nach verbaler Aufforderung/ vergisst Optimierung während Untersuchung, hält linke Hand nicht am Gerät</td><td>1 □</td></tr> <tr><td>Keine adäquate Bildeinstellung trotz Aufforderung → manuelle Hilfe nötig</td><td>0 □</td></tr> </table>		Selbstständig und adäquates Einstellen in allen Schnitten mit angemessener Bildqualität (Gain, Eindringtiefe, Frequenz, Fokus) auch während Untersuchung, Linke Hand am Gerät	2 □	Korrigiert einen oder mehrere Schnitte nach anfänglichen Schwierigkeiten/ nach verbaler Aufforderung/ vergisst Optimierung während Untersuchung, hält linke Hand nicht am Gerät	1 □	Keine adäquate Bildeinstellung trotz Aufforderung → manuelle Hilfe nötig	0 □												
Selbstständig und adäquates Einstellen in allen Schnitten mit angemessener Bildqualität (Gain, Eindringtiefe, Frequenz, Fokus) auch während Untersuchung, Linke Hand am Gerät	2 □																		
Korrigiert einen oder mehrere Schnitte nach anfänglichen Schwierigkeiten/ nach verbaler Aufforderung/ vergisst Optimierung während Untersuchung, hält linke Hand nicht am Gerät	1 □																		
Keine adäquate Bildeinstellung trotz Aufforderung → manuelle Hilfe nötig	0 □																		
Atemkommando <table border="1"> <tr><td>Korrektes Atemkommando (sofern notwendig) in allen Schnitten, selbstständige Durchführung</td><td>2 □</td></tr> <tr><td>Unvollständig oder initiale Probleme, Durchführung nach verbaler Aufforderung</td><td>1 □</td></tr> <tr><td>Auch nach Aufforderung kein adäquates Atemkommando gegeben</td><td>0 □</td></tr> </table>		Korrektes Atemkommando (sofern notwendig) in allen Schnitten, selbstständige Durchführung	2 □	Unvollständig oder initiale Probleme, Durchführung nach verbaler Aufforderung	1 □	Auch nach Aufforderung kein adäquates Atemkommando gegeben	0 □												
Korrektes Atemkommando (sofern notwendig) in allen Schnitten, selbstständige Durchführung	2 □																		
Unvollständig oder initiale Probleme, Durchführung nach verbaler Aufforderung	1 □																		
Auch nach Aufforderung kein adäquates Atemkommando gegeben	0 □																		

Checkliste/Bewertungsbogen FATE für Prüfer:de



Lagerung	
- Linkseitenlage bei Einstellungsproblemen durchgeführt, korrekte Lagerung - Korrekte Lagerung nach verbaler Aufforderung - Auch nach Aufforderung keine adäquate Lagerung durchgeführt, manuelle Hilfe nötig	2 □ 1 □ 0 □
Untersuchungstempo/Zeit	
- Adäquat, selbstständige Zeiteinteilung für den gesamten Untersuchungsablauf - Nach anfänglichen Schwierigkeiten oder verbaler Aufforderung angemessen - Zu langsam/inadäquat	2 □ 1 □ 0 □
Den Gesamteindruck bewerte ich mit (1 bis 8 Punkten) (bitte einkreisen)	
1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6 – 7 – 8 ____/8	
Prüfernotiz: FATE-Protokoll Gesamteindruck Punktzahl ____/22	
Gesamtpunktzahl FATE-Protokoll (Summe von: Patientenführung +FATE 1 bis 6 +Gesamtbewertung)	
____/78	

Bewertungsbogen DOPS: Pathologien Erkennung am Simulator

Matrikelnummer:	Teilnehmername:														
Prüferin:															
Prüferhinweis: der erste Schnitt soll auf jeden Fall eingestellt werden, wenn noch Zeit ist und / oder Pathologie noch nicht erkannt wurde, dann zweiter Schnitt															
1) Pathologie: dilated cardiomyopathy – very severe left ventricular systolic dysfunction															
Aufgabe: Bitte stelle den apikalen 4-Kammerblick und ggf. die parasternal lange Achse korrekt ein und beurteile den Ultraschallbefund.															
Einstellen der Ebenen <table border="1"> <tr><td>Stellt die Ebenen richtig ein, oder korrigiert diese selbstständig</td><td>2 □</td></tr> <tr><td>Korrigiert die Ebeneneinstellung nach Aufforderung</td><td>1 □</td></tr> <tr><td>Nur mit manueller Hilfe richtige Orientierung gefunden</td><td>0 □</td></tr> </table>	Stellt die Ebenen richtig ein, oder korrigiert diese selbstständig	2 □	Korrigiert die Ebeneneinstellung nach Aufforderung	1 □	Nur mit manueller Hilfe richtige Orientierung gefunden	0 □	Erkennen der Pathologie <table border="1"> <tr><td>Erkennt die Pathologie selbstständig, kann diese benennen oder umschreiben</td><td>2 □</td></tr> <tr><td>Erkennt die Pathologie nach Aufforderung, kann diese benennen oder umschreiben</td><td>1 □</td></tr> <tr><td>Prüferhinweis: Hinweis auf Pumpfunktion</td><td></td></tr> <tr><td>Erkennt Pathologie nicht / nennt falsche Pathologie</td><td>0 □</td></tr> </table>	Erkennt die Pathologie selbstständig, kann diese benennen oder umschreiben	2 □	Erkennt die Pathologie nach Aufforderung, kann diese benennen oder umschreiben	1 □	Prüferhinweis: Hinweis auf Pumpfunktion		Erkennt Pathologie nicht / nennt falsche Pathologie	0 □
Stellt die Ebenen richtig ein, oder korrigiert diese selbstständig	2 □														
Korrigiert die Ebeneneinstellung nach Aufforderung	1 □														
Nur mit manueller Hilfe richtige Orientierung gefunden	0 □														
Erkennt die Pathologie selbstständig, kann diese benennen oder umschreiben	2 □														
Erkennt die Pathologie nach Aufforderung, kann diese benennen oder umschreiben	1 □														
Prüferhinweis: Hinweis auf Pumpfunktion															
Erkennt Pathologie nicht / nennt falsche Pathologie	0 □														
Den gesamten Untersuchungsablauf bewerte ich mit (1 bis 8 Punkten) (Orientierung, Positionierung, Ankopplung, Bildoptimierung, Atemkommando, Lagerung, Untersuchungstempo und Gesamtleistung)															
1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6 – 7 – 8 ____/8															
Gesamtpunktzahl ____/12															
2) Pathologie: pulmonary hypertension															
Aufgabe: Bitte stelle die Parasternal kurze Achse „Papillarmuskel“ und ggf. den apikalen 4-Kammerblick korrekt ein und beurteile den Ultraschallbefund.															
Einstellen der Ebenen <table border="1"> <tr><td>Stellt die Ebenen richtig ein, oder korrigiert diese selbstständig</td><td>2 □</td></tr> <tr><td>Korrigiert die Ebeneneinstellung nach Aufforderung</td><td>1 □</td></tr> <tr><td>Nur mit manueller Hilfe richtige Orientierung gefunden</td><td>0 □</td></tr> </table>	Stellt die Ebenen richtig ein, oder korrigiert diese selbstständig	2 □	Korrigiert die Ebeneneinstellung nach Aufforderung	1 □	Nur mit manueller Hilfe richtige Orientierung gefunden	0 □	Erkennen der Pathologie <table border="1"> <tr><td>Erkennt die Pathologie selbstständig, kann diese benennen oder umschreiben</td><td>2 □</td></tr> <tr><td>Erkennt die Pathologie nach Aufforderung, kann diese benennen oder umschreiben</td><td>1 □</td></tr> <tr><td>Prüferhinweis: Hinweis auf rechten Ventrikel</td><td></td></tr> <tr><td>Erkennt Pathologie nicht / nennt falsche Pathologie</td><td>0 □</td></tr> </table>	Erkennt die Pathologie selbstständig, kann diese benennen oder umschreiben	2 □	Erkennt die Pathologie nach Aufforderung, kann diese benennen oder umschreiben	1 □	Prüferhinweis: Hinweis auf rechten Ventrikel		Erkennt Pathologie nicht / nennt falsche Pathologie	0 □
Stellt die Ebenen richtig ein, oder korrigiert diese selbstständig	2 □														
Korrigiert die Ebeneneinstellung nach Aufforderung	1 □														
Nur mit manueller Hilfe richtige Orientierung gefunden	0 □														
Erkennt die Pathologie selbstständig, kann diese benennen oder umschreiben	2 □														
Erkennt die Pathologie nach Aufforderung, kann diese benennen oder umschreiben	1 □														
Prüferhinweis: Hinweis auf rechten Ventrikel															
Erkennt Pathologie nicht / nennt falsche Pathologie	0 □														
Den gesamten Untersuchungsablauf bewerte ich mit (1 bis 8 Punkten) (Orientierung, Positionierung, Ankopplung, Bildoptimierung, Atemkommando, Lagerung, Untersuchungstempo und Gesamtleistung)															
1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6 – 7 – 8 ____/8															
Gesamtpunktzahl ____/12															

3) Pathologie: tamponade

Aufgabe: Bitte stelle den subxiphoidalen 4-Kammerblick und ggf. die parasternal Kurze Achse „Papillarmuskel“ korrekt ein und beurteile den Ultraschallbefund.															
Einstellen der Ebenen <table border="1"> <tr><td>Stellt die Ebenen richtig ein, oder korrigiert diese selbstständig</td><td>2 □</td></tr> <tr><td>Korrigiert die Ebeneneinstellung nach Aufforderung</td><td>1 □</td></tr> <tr><td>Nur mit manueller Hilfe richtige Orientierung gefunden</td><td>0 □</td></tr> </table>	Stellt die Ebenen richtig ein, oder korrigiert diese selbstständig	2 □	Korrigiert die Ebeneneinstellung nach Aufforderung	1 □	Nur mit manueller Hilfe richtige Orientierung gefunden	0 □	Erkennen der Pathologie <table border="1"> <tr><td>Erkennt die Pathologie selbstständig, kann diese benennen oder umschreiben</td><td>2 □</td></tr> <tr><td>Erkennt die Pathologie nach Aufforderung, kann diese benennen oder umschreiben</td><td>1 □</td></tr> <tr><td>Prüferhinweis: Hinweis auf Raum um das Herz</td><td></td></tr> <tr><td>Erkennt Pathologie nicht / nennt falsche Pathologie</td><td>0 □</td></tr> </table>	Erkennt die Pathologie selbstständig, kann diese benennen oder umschreiben	2 □	Erkennt die Pathologie nach Aufforderung, kann diese benennen oder umschreiben	1 □	Prüferhinweis: Hinweis auf Raum um das Herz		Erkennt Pathologie nicht / nennt falsche Pathologie	0 □
Stellt die Ebenen richtig ein, oder korrigiert diese selbstständig	2 □														
Korrigiert die Ebeneneinstellung nach Aufforderung	1 □														
Nur mit manueller Hilfe richtige Orientierung gefunden	0 □														
Erkennt die Pathologie selbstständig, kann diese benennen oder umschreiben	2 □														
Erkennt die Pathologie nach Aufforderung, kann diese benennen oder umschreiben	1 □														
Prüferhinweis: Hinweis auf Raum um das Herz															
Erkennt Pathologie nicht / nennt falsche Pathologie	0 □														
Den gesamten Untersuchungsablauf bewerte ich mit (1 bis 8 Punkten) (Orientierung, Positionierung, Ankopplung, Bildoptimierung, Atemkommando, Lagerung, Untersuchungstempo und Gesamtleistung)															
1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6 – 7 – 8 ____/8															
Gesamtpunktzahl ____/12															

4) Pathologie: left pleural effusion case 09

Aufgabe: Bitte stelle die lateralen Flankenschnitte links und ggf. rechts korrekt ein und beurteile den Ultraschallbefund.															
Einstellen der Ebenen <table border="1"> <tr><td>Stellt die Ebenen richtig ein, oder korrigiert diese selbstständig</td><td>2 □</td></tr> <tr><td>Korrigiert die Ebeneneinstellung nach Aufforderung</td><td>1 □</td></tr> <tr><td>Nur mit manueller Hilfe richtige Orientierung gefunden</td><td>0 □</td></tr> </table>	Stellt die Ebenen richtig ein, oder korrigiert diese selbstständig	2 □	Korrigiert die Ebeneneinstellung nach Aufforderung	1 □	Nur mit manueller Hilfe richtige Orientierung gefunden	0 □	Erkennen der Pathologie <table border="1"> <tr><td>Erkennt die Pathologie selbstständig, kann diese benennen oder umschreiben</td><td>2 □</td></tr> <tr><td>Erkennt die Pathologie nach Aufforderung, kann diese benennen oder umschreiben</td><td>1 □</td></tr> <tr><td>Prüferhinweis: Hinweis auf Bereich kranial des Diaphragmas</td><td></td></tr> <tr><td>Erkennt Pathologie nicht / nennt falsche Pathologie</td><td>0 □</td></tr> </table>	Erkennt die Pathologie selbstständig, kann diese benennen oder umschreiben	2 □	Erkennt die Pathologie nach Aufforderung, kann diese benennen oder umschreiben	1 □	Prüferhinweis: Hinweis auf Bereich kranial des Diaphragmas		Erkennt Pathologie nicht / nennt falsche Pathologie	0 □
Stellt die Ebenen richtig ein, oder korrigiert diese selbstständig	2 □														
Korrigiert die Ebeneneinstellung nach Aufforderung	1 □														
Nur mit manueller Hilfe richtige Orientierung gefunden	0 □														
Erkennt die Pathologie selbstständig, kann diese benennen oder umschreiben	2 □														
Erkennt die Pathologie nach Aufforderung, kann diese benennen oder umschreiben	1 □														
Prüferhinweis: Hinweis auf Bereich kranial des Diaphragmas															
Erkennt Pathologie nicht / nennt falsche Pathologie	0 □														
Den gesamten Untersuchungsablauf bewerte ich mit (1 bis 8 Punkten) (Orientierung, Positionierung, Ankopplung, Bildoptimierung, Atemkommando, Lagerung, Untersuchungstempo und Gesamtleistung)															
1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6 – 7 – 8 ____/8															
Gesamtpunktzahl ____/12															
Prüfernotiz:															
Gesamtpunktzahl Pathologien Erkennung ____/48															

Anhang H: Ergänzende Tabellen zu Stufe 1 (Ergebnisse)

Tabelle H.1: Design und Struktur des Fragebogens der Online-Umfrage: Themenbereiche, Unterpunkte und Skalentypen

Thema	Unterpunkte	Skala
Ausgangsdaten	Alter, Geschlecht, Rettungspersonal 3. Studienjahr, PJ-Student, Arzt (+ Assistenzarzt)	binär
Berührungspunkte mit simulationsbasiertem Training	als Teilnehmer, als Instruktor, während der früheren Ausbildung, in anderen Bereichen	binär
Einsatzgebiete von Simulatoren	Atemwegsmanagement, Ultraschalldiagnostik, Gynäkologie, Notfallmedizin, Pädiatrie, andere Bereiche	binär
Instruktoren an Simulatoren	Studierende, Ärzte, externe Partner, Rettungsdienstpersonal, keine	binär
Bewertung des Lernerfolgs am Simulator	Schriftliche Prüfung, praktische Prüfung, keine Prüfung, andere Prüfungsformate	binär
Ausbau von Simulationszentren	Ausbau in den letzten 5 Jahren, Bedarf für Ausbau/Neugründung	binär
Gründe für die Nutzung von Simulatoren	Ausbildung, Verbesserung der Lehre, didaktischer Trend/Innovation, Kooperation mit externen Partnern	binär
Gründe gegen die Nutzung von Simulatoren	Begrenzte Finanzmittel, Platzmangel, Mangel an Lehrpersonal, Fehlen von Lehrkonzepten, fehlende Verantwortlichkeit	binär
Nutzung von Simulatoren in der Ausbildung	Integration in Pflichtausbildung, keine Nutzung, Einsatz in vorklinischer und klinischer Ausbildung, Facharztausbildung, Fortbildungen, Ausbildung von Berufsgruppen	binär
Vermittelte Inhalte durch Simulatoren	Gynäkologie, Anästhesiologie, Innere Medizin, Chirurgie	binär
Kontakt mit Ultraschallsimulatoren	Allgemeiner Kontakt, Kontakt mit CAE Vimedix	binär
Bedarf an Ultraschallsimulatoren in bestimmten Disziplinen	Gynäkologie, Abdomensonografie, Notfallsonografie, Gefäßzugänge (ZVK), Darmsonografie, Echokardiografie, andere Bereiche	binär
Bedarf an der Nutzung von Simulatoren	Medizinstudium, Facharztausbildung, Bedarf an mehr simulationbasiertem Training, Ausbau/Neugründung von Simulationszentren	ordinal
Vorteile des simulationsbasierten Trainings	Verbesserung praktischer Fähigkeiten, Theorie-Praxis-Transfer, Vertiefung des Verständnisses, Festigung von Wissen, Förderung des selbstständigen Lernens, Steigerung der Motivation und Lernerfahrung, Sicherheit	ordinal
Einschränkungen des simulationsbasierten Trainings	Hohe Anschaffungskosten, Bedarf einer umfassenden Einführung	ordinal
Kriterien für effektives simulationsbasiertes Trainings	Simulatorqualität, Unterstützung durch professionelle Instruktoren, zusätzliche Lernressourcen, Realitätsgrad, einfache Handhabung, steile Lernkurve, Übertragbarkeit in die klinische Praxis	ordinal
Bewertung von Simulatoren	Pathologie-Training, Training ausschließlich zur Ultraschalluntersuchung	ordinal
Bewertung des CAE Vimedix 3.0	Externe Beurteilung, Haptik, Realitätsgrad, Übersichtlichkeit, Bildqualität, Übertragbarkeit	ordinal
Übertragbarkeit des CAE Vimedix 3.0 Simulators	Übertragbarkeit auf reale Patientensituation, Sicherheit im Umgang, Verständnis von Pathologien	ordinal

Tabelle H.2: Kontakt und Bedarf an Ultraschallsimulatoren

Kategorie	klinische Studierende (n=154)	PJ-Studierende (n=97)	Ärzte (n=92)	p-Wert
Kontakt Ultraschallsimulator	62%	61%	61%	0,24
Kontakt CAE-Vimedix	6%	5%	2%	0,32
Bedarf Gynäkologie	57%	59%	27%	< 0,01
Bedarf Abdomen-Sonografie	58%	78%	64%	0,01
Bedarf Notfallsonografie	56%	79%	57%	< 0,01
Bedarf Gefäßpunktionen	59%	71%	43%	< 0,01
Bedarf Darmsonografie	44%	49%	41%	0,85

Tabelle H.3: Vorteile des simulationsbasierten Trainings

Vorteil	Studierende im dritten Jahr (n=154)	PJ-Studierende (n=97)	Ärzte (n=92)	p-Wert
Ausbildungszwecke	64%	84%	41%	< 0,01
Verbesserung der Ausbildung	56%	77%	41%	< 0,01
Trend in Didaktik/Innovation	31%	38%	10%	< 0,01
Kooperation mit externen Partnern	14%	20%	9%	0,13

Tabelle H.4: Einschränkungen des simulationsbasierten Trainings

Einschränkung	Studierende im dritten Jahr (n=154)	PJ-Studierende (n=97)	Ärzte (n=92)	p-Wert
Begrenzte Finanzmittel	38%	47%	49%	0,19
Platzmangel	12%	24%	14%	0,07
Lehrkräftemangel	27%	39%	37%	0,09
Fehlende Lehrkonzepte	21%	26%	37%	0,01
Fehlende Verantwortlichkeit	12%	18%	26%	0,02

Anhang I: Ergänzende Tabellen zu Stufe 2 (Ergebnisse)**Tabelle I.1:** Subjektive Kompetenzeinschätzung

Parameter	T1 (MW ± SD)	T2 (MW ± SD)	p-Wert
Gesamtwert: räumliche Vorstellung <i>1=voll und ganz; 7=überhaupt nicht</i>	5.8 ± 0.8	5.6 ± 1.1	0.65
Gesamtwert: Selbsteinschätzung <i>1=voll und ganz; 7=überhaupt nicht</i>	3.8 ± 1.0	3.6 ± 1.0	0.72
Fachwissen	3.8 ± 1.0	3.3 ± 1.1	0.4
Gerätebedienung	3.9 ± 1.6	3.6 ± 1.4	0.57
Schallkopfhandling	2.9 ± 1.1	2.5 ± 1.2	0.43
räumliche Orientierung	3.0 ± 1.3	2.8 ± 1.2	0.73
Sono-anatomische Zuordnung	3.0 ± 1.1	3.3 ± 1.4	0.49
Organdarstellung	2.9 ± 1.0	3.3 ± 0.8	0.24
Organbeurteilung und Durchmusterung	3.6 ± 1.4	3.5 ± 0.8	0.71
Pathologieerkennung	5.0 ± 1.4	4.6 ± 1.4	0.29
Pathologievielfalt	5.1 ± 1.7	5.1 ± 1.6	0.89

Tabelle I.2: Nutzungsverhalten des Simulators

Parameter	T1 n (%)
Berührungspunkte mit simulationsbasiertem Training im Studium	Ja = 3 (20%) Nein = 8 (53%)
zeitl. Umfang <i>1=0-1h; 2=2-5h; 3=>10h; 4=>20h ;5=nie</i>	1 = 2 (13%) 2 = 4 (27%) 3 = 1 (7%) 4 = 2 (13%) 5 = 2 (13%)
	MW ± SD
Gesamtwert: Ausbildungsaspekte durch SBT <i>1= voll und ganz - 7= überhaupt nicht</i>	2.0 ± 0.5
Vertiefung des theoretischen Verständnisses	1.7 ± 0.8
Transfer der Theorie in die Praxis	1.7 ± 0.8
Patientensicherheit	2.4 ± 1.0
Praktische Fertigkeiten	1.8 ± 0.6
Realitätsnähe	3.0 ± 1.1
Fallbasiertes Lernen	1.9 ± 0.8

Tabelle I.3: Nutzung des Lernprogramms am Simulator

Parameter	T2 n (%)
Lernen mit Arbeitsheft	Ja = 13 (87%), Nein = 2 (13%)
Lernen am Simulator	Ja = 13 (87%), Nein = 2 (13%)
Absolvierung der Lerneinheit	Ja = 3 (20%), Nein = 12 (80%)
LE 1	Ja = 3 (20%), Nein = 12 (80%)
LE 2	Ja = 9 (60%), Nein = 6 (40%)
LE 3	Ja = 9 (60%), Nein = 6 (40%)
LE 4	Ja = 6 (40%), Nein = 9 (60%)
ges. zeitl. Umfang (h)	6.7 ± 7.2

Tabelle I.4: Haltung gegenüber simulationsbasiertem Training

Parameter	T1 (MW ± SD)	T2 (MW ± SD)
Gesamtkriterien für gutes SBT	1.5 ± 0.4	-
Zustimmung: mehr SBT in Medizinstudium/Facharztausbildung <i>1= voll und ganz - 7=überhaupt nicht</i>	1.7 ± 0.8	-
Zustimmung: Angebot SBT erhöhen	1.7 ± 0.9	-

1= voll und ganz - 7= überhaupt nicht		
Zustimmung: eigenständiges Lernen am Simulator T2 1= voll und ganz - 7= überhaupt nicht	-	2.3 ± 0.8
Kompetenz für Funktionen am Simulator 1= voll und ganz - 7= überhaupt nicht	-	3.7 ± 1.7
Kompetenz als Dozent am Simulator 1= voll und ganz - 7= überhaupt nicht	-	3.6 ± 1.5

Tabelle I.5: Objektiver Kompetenzzuwachs

Parameter	T1 (MW ± SD)	T2 (MW ± SD)	Delta	Cohen's d [r]	p-Wert
Gesamtwert	146.6 ± 20.2	169.5 ± 5.2	21.8 ± 17.1	1.35 [0.56]	< 0.01
Summe Grundlagen (max. 33 Pkt.)	27.7 ± 3.5	31.0 ± 1.4	3.7 ± 3.3	1.57 [0.62]	< 0,01
Summe Normalbefunde (max. 118 Pkt.)	94.9 ± 9.1	104.9 ± 9.1	9.0 ± 12.6	1.10 [0.48]	< 0,01
Summe Pathologien (max. 53 Pkt.)	24.1 ± 11.6	31.1 ± 4.5	5.5 ± 10.2	0.8 [0.37]	0,04

Tabelle I.6: Bewertung Arbeitsheft und Simulatorhandbuch durch die Dozenten

Parameter	MW ± SD	Parameter	MW ± SD
Layout Gesamtwert	2.3 ± 0.5	Selbsteinschätzung Gesamtwert	3.1 ± 0.8
Layout ansprechend	2.5 ± 0.8	Interpretation	2.8 ± 1.2
Layout übersichtlich	2.2 ± 0.8	Fähigkeiten	3.0 ± 1.6
Layout angemessen	2.3 ± 0.8	Kompetenz	3.3 ± 1.0
Lerneinheiten Gesamtwert	2.4 ± 0.5	Lernzuwachs	3.0 ± 0.9
Ausreichend	2.5 ± 1.4	Feedback Lerneinheiten Gesamtwert	3.1 ± 0.4
Hilfreich	2.3 ± 1.0	Allgemein	3.2 ± 1.7
Strukturiert	2.7 ± 1.0	Allgemein 2	3.0 ± 0.9
Deutlich	2.0 ± 0.9	Allgemein 3	3.2 ± 0.8
Sinnvoll	2.2 ± 0.8	Allgemein 4	3.5 ± 1.0
Angemessen	2.3 ± 0.8	Allgemein 5	3.2 ± 0.8
Hilfreich 1	2.2 ± 0.8	Handbuch	3.5 ± 0.8
Strukturiert 1	2.5 ± 0.8	Handbuch als Unterstützung Gesamtwert	3.2 ± 0.7
Angemessen 1	2.3 ± 1.2	Umgang	3.5 ± 1.4
Sinnvoll 1	2.7 ± 1.0	Tastatur	5.3 ± 1.0
Relevant	2.8 ± 1.2	Maus	1.7 ± 1.2
Angemessen 2	2.3 ± 0.8	Simulator	2.8 ± 1.8
Angemessen 3	3.0 ± 0.9	Bildlayout	2.3 ± 1.4
Feedbackfunktion	1.8 ± 0.8	Beam	3.7 ± 1.8
Nutzung Gesamtwert	2.7 ± 0.6	Modi	3.7 ± 1.4
Standardschnitte	2.8 ± 1.2	Training	3.0 ± 1.3
Pathologien	2.5 ± 1.0		
Inhalte	3.2 ± 1.3		
Verständnis	2.3 ± 1.0		
Handbuch	2.8 ± 0.8		
Anwendungsbezug Gesamtwert	3.1 ± 0.9		
Einbringen	3.2 ± 1.2		
Vorerfahrung	2.8 ± 0.8		
Lernen	2.5 ± 1.0		
Handbuch	2.8 ± 2.3		
Motivation	3.7 ± 2.3		
Schwerpunkt	3.6 ± 1.8		

Anhang J: Ergänzende Tabellen zu Stufe 3 (Ergebnisse)

Tabelle J.1: Evaluation der Motivation

Parameter	T1 SG (MW ± SD)	T1 KG (MW ± SD)	p- Wert (T1)	T2 SG (MW± SD)	T2 KG (MW ± SD)	p- Wert (T2)	Delta SG (p- Wert nach Zeit)	Delta KG (p- Wert nach Zeit)	Delta p- Wert
Motivation zur Teilnahme am FATE 1 = sehr motiviert, 7 = nicht motiviert	1,6 ± 0,8	1,6 ± 1,0	0,7	1,4 ± 0,6	1,6 ± 1,0	0,26	0,2 ± 0,9 (0,12)	0,1 ± 1,0 (0,63)	0,61
Insgesamt: Lernziele erreicht 1 = vollständig, 7 = gar nicht	1,3 ± 0,5	1,2 ± 0,3	0,06	1,7 ± 0,7	1,7 ± 0,8	0,77	-0,3 ± 0,7 (0,003)	-0,5 ± 0,8 (< 0,001)	0,16
Verbesserung der technischen Fähigkeiten	1,4 ± 0,7	1,3 ± 0,8	0,39	1,8 ± 1,1	1,6 ± 1,0	0,31	-0,4 ± 1,0 (0,02)	-0,3 ± 1,2 (0,03)	0,8
Sonoanatomie	1,3 ± 0,6	1,2 ± 0,4	0,28	1,5 ± 0,7	1,6 ± 1,0	0,85	-0,3 ± 0,7 (0,02)	-0,4 ± 1,0 (0,002)	0,34
Praktische Ultraschallfähigkeiten	1,1 ± 0,5	1,1 ± 0,2	0,26	1,6 ± 1,0	1,4 ± 0,7	0,29	-0,4 ± 1,0 (0,002)	-0,4 ± 0,7 (< 0,001)	0,65
Fähigkeit, eine standardisierte Untersuchung durchzuführen	1,3 ± 0,7	1,2 ± 0,4	0,14	1,4 ± 0,7	1,5 ± 0,9	0,57	-0,1 ± 0,7 (0,43)	-0,3 ± 0,9 (0,01)	0,15
Erkennung pathologischer Befunde	1,5 ± 0,9	1,3 ± 0,7	0,06	1,9 ± 1,0	2,2 ± 1,3	0,06	-0,3 ± 1,1 (0,06)	-1,0 ± 1,4 (< 0,001)	0,01
Sicherheit bei der Interpretation von Ergebnissen	1,3 ± 0,7	1,1 ± 0,4	0,07	1,8 ± 0,8	1,8 ± 0,9	0,62	-0,5 ± 1,0 (< 0,001)	-0,7 ± 1,0 (< 0,001)	0,11

Tabelle J.2: Evaluation Kurskonzept

Parameter	Kontrollgruppe (Mittelwert ± SD)	Studiengruppe (Mittelwert ± SD)	p- Wert
Gesamte persönliche Lernerfahrung 1 = sehr hoch, 7 = sehr gering	1,8 ± 0,7	2,3 ± 0,9	< 0,001
Erwerb praktischer Fähigkeiten	1,8 ± 0,9	2,0 ± 1,4	0,34
Fundamentales theoretisches Wissen	2,2 ± 1,1	2,1 ± 0,9	0,35
Praxisrelevanz	1,5 ± 0,7	1,7 ± 1,1	0,16
Realistische Darstellung der Patienteninteraktion	1,7 ± 1,0	3,5 ± 1,6	< 0,001
Gesamte persönliche Zufriedenheit mit dem Kurs und persönlicher Nutzen daraus 1 = sehr hoch, 7 = sehr gering	2,5 ± 0,6	2,7 ± 0,7	0,05
Kompetenz im FATE-Protokoll	2,4 ± 1,0	2,4 ± 1,1	0,97
Hohe Relevanz für meinen Studiengang/meinen Beruf	1,4 ± 0,7	1,6 ± 1,0	0,09
Allgemein: Wunsch, Simulatoren zu nutzen 1 = sehr hoch, 7 = sehr gering	3,2 ± 1,1	3,1 ± 1,1	0,49
Zusätzlich zu echten Patienten	1,7 ± 1,2	1,6 ± 1,1	0,38
Als vollständiger Ersatz für echte Patienten	5,4 ± 2,1	5,0 ± 2,3	0,37
Zusätzlich zu Pflichtkursen im Medizinstudium (Klinik)	2,4 ± 1,5	2,1 ± 1,6	0,35
Zusätzlich zu Pflichtkursen im Medizinstudium (Vorklinik)	3,4 ± 2,0	3,7 ± 1,9	0,48
Gesambewertung des Kurses 1 = sehr hoch, 7 = sehr gering	2,4 ± 0,9	2,2 ± 0,9	0,09
Kurskonzept und Struktur	2,2 ± 1,1	2,0 ± 1,0	0,23
Gesambewertung der Dozenten	1,7 ± 0,7	1,4 ± 0,7	0,03

1 = sehr hoch, 7 = sehr gering			
--------------------------------	--	--	--

Tabelle J.3: Subjektive Kompetenz

Parameter	T1 SG (MW ± SD)	T1 KG (MW ± SD)	p-Wert (T1)	T2 SG (MW ± SD)	T2 KG (MW ± SD)	p-Wert (T2)	Delta SG (p-Wert nach Zeit)	Delta KG (p-Wert nach Zeit)	Delta p-Wert
Gesamt-Selbsteinschätzung Echo 1 = sehr hoch, 7 = sehr gering	5,3 ± 1,1	5,3 ± 1,2	0,87	2,6 ± 0,7	2,7 ± 0,7	0,28	2,7 ± 1,2 (< 0,001)	2,6 ± 1,2 (< 0,001)	0,62
Technisches Wissen	5,2 ± 1,5	5,3 ± 1,8	0,77	2,5 ± 0,7	2,6 ± 1,0	0,42	2,7 ± 1,5 (< 0,001)	2,6 ± 1,7 (< 0,001)	0,9
Gerätebedienung	5,3 ± 1,6	5,2 ± 1,7	0,81	2,7 ± 1,4	2,7 ± 1,1	0,9	2,6 ± 1,8 (< 0,001)	2,5 ± 1,8 (< 0,001)	0,76
Sondenbewegung	4,6 ± 1,7	4,7 ± 1,7	0,65	2,4 ± 0,9	2,4 ± 0,9	0,86	2,1 ± 1,9 (< 0,001)	2,3 ± 1,6 (< 0,001)	0,59
Räumliche Orientierung	4,6 ± 1,5	4,7 ± 1,6	0,75	2,4 ± 1,0	2,7 ± 1,0	0,19	2,2 ± 1,7 (< 0,001)	2,0 ± 1,5 (< 0,001)	0,61
Sonoanatomie	4,8 ± 1,6	4,7 ± 1,6	0,85	2,2 ± 0,9	2,3 ± 1,0	0,59	2,6 ± 1,7 (< 0,001)	2,4 ± 1,7 (< 0,001)	0,64
Visualisierung von Organen	5,2 ± 1,6	5,4 ± 1,6	0,48	2,4 ± 1,1	2,3 ± 0,8	0,47	2,8 ± 1,7 (< 0,001)	3,1 ± 1,5 (< 0,001)	0,27
Organspezifische Untersuchung	5,6 ± 1,5	5,6 ± 1,5	0,82	2,6 ± 1,0	2,5 ± 0,9	0,45	3,0 ± 1,7 (< 0,001)	3,1 ± 1,7 (< 0,001)	0,52
Erkennung pathologischer Befunde	6,2 ± 0,9	6,0 ± 1,2	< 0,001	2,7 ± 1,0	3,1 ± 1,2	< 0,001	3,7 ± 1,2 (< 0,001)	2,8 ± 1,6 (< 0,001)	< 0,01
Differenzialdiagnosen	6,2 ± 1,1	6,2 ± 1,1	0,97	3,1 ± 1,3	3,7 ± 1,4	0,02	3,1 ± 1,5 (< 0,001)	2,5 ± 1,7 (< 0,001)	0,04

Tabelle J.415: Theorietest Ergebnisse

Parameter	T1 SG (MW ± SD)	T1 KG (MW ± SD)	p-Wert (T1)	T2 SG (MW ± SD)	T2 KG (MW ± SD)	p-Wert (T2)	Delta SG (p-Wert nach Zeit)	Delta KG (p-Wert nach Zeit)	Delta p-Wert
Gesamt: Grundlagenwissen und Normalbefunde max. 74 Punkte	18,5 ± 9,5	24,4 ± 15,7	0,01	56,4 ± 6,6	57,4 ± 7,5	0,41	37,9 ± 9,2 (< 0,001)	33,0 ± 14,0 (< 0,001)	0,02
Punktzahl Grundlagen max. 14 Punkte	7,8 ± 3,1	8,7 ± 4,7	0,18	9,8 ± 2,7	9,9 ± 3,3	0,88	2,1 ± 3,1 (< 0,001)	1,2 ± 3,8 (0,09)	0,17
Punktzahl Normalbefunde max. 10 Punkte	1,1 ± 1,1	1,9 ± 2,4	0,02	8,2 ± 1,8	8,4 ± 1,6	0,55	7,1 ± 1,8 (< 0,001)	6,6 ± 2,4 (< 0,001)	0,12
Punktzahl Beschriftung von Schnittbildern max. 50 Punkte	9,7 ± 7,9	13,8 ± 10,1	0,01	38,3 ± 4,5	39,1 ± 4,6	0,35	28,7 ± 8,2 (< 0,001)	25,3 ± 10,0 (< 0,001)	0,04
Gesamt: Pathologien max. 9 Punkte, 1 Kontrollfrage	x	x	x	4,7 ± 1,5	4,3 ± 1,6	0,16	x	x	x

Tabelle J.5: Ergebnisse der praktischen Prüfungen

Parameter	KG (MW ± SD)	SG (MW± SD)	p- Wert	KG (MW ± SD)	SG (MW ± SD)	p- Wert	p-Wert Vergl. KG	p-Wert Vergl. SG
FATE-Gesamtpunktzahl max. 78 Punkte	63,9 ± 8,1	64,1 ± 7,0	0,89	63,9 ± 8,6	59,4 ± 10,2	0,008	0,97	< 0,01
Patientenführung/Kommunikation max. 8 Punkte	6,7 ± 1,9	6,8 ± 1,7	0,75	6,9 ± 1,3	6,6 ± 1,8	0,39	0,6	0,54
FATE 1 max. 8 Punkte	6,9 ± 1,6	7,4 ± 1,2	0,04	6,3 ± 1,9	6,0 ± 2,2	0,39	0,04	< 0,01
F1 Fähigkeiten max. 6 Punkte	5,0 ± 1,6	5,4 ± 1,2	0,06	4,4 ± 1,7	4,1 ± 2,0	0,41	0,05	< 0,01
F1 Zeigen max. 2 Punkte	2,0 ± 0,3	2,0 ± 0,0	0,23	1,9 ± 0,4	1,9 ± 0,4	0,61	0,49	0,03
FATE 2 max. 8 Punkte	6,6 ± 1,8	6,7 ± 1,5	0,65	6,2 ± 1,8	5,6 ± 1,9	0,07	0,17	< 0,01
F2 Fähigkeiten	4,6 ± 1,7	4,8 ± 1,5	0,47	4,2 ± 1,8	3,6 ± 1,9	0,09	0,2	< 0,01
F2 Zeigen	2,0 ± 0,3	2,0 ± 0,1	0,05	2,0 ± 0,1	2,0 ± 0,2	0,09	0,28	1
FATE 3 max. 8 Punkte	6,1 ± 1,7	6,3 ± 1,7	0,62	7,0 ± 1,5	6,3 ± 2,0	0,02	0,003	0,94
F3 Fähigkeiten	4,2 ± 1,6	4,4 ± 1,6	0,5	5,0 ± 1,4	4,3 ± 1,9	0,02	0,002	0,92
F3 Zeigen	1,9 ± 0,2	1,9 ± 0,2	0,17	1,9 ± 0,2	1,9 ± 0,3	0,83	0,37	0,88
FATE 4 max. 8 Punkte	6,3 ± 1,7	6,3 ± 1,3	0,89	7,0 ± 1,4	6,6 ± 1,5	0,13	0,01	0,19
F4 Fähigkeiten	4,4 ± 1,5	4,4 ± 1,2	0,84	5,0 ± 1,4	4,7 ± 1,4	0,16	0,02	0,18
F4 Zeigen	1,9 ± 0,4	1,9 ± 0,2	0,82	1,9 ± 0,2	1,9 ± 0,3	0,36	0,23	0,87
FATE 5 max. 8 Punkte	7,6 ± 1,2	7,6 ± 0,9	0,92	7,5 ± 1,3	7,2 ± 1,5	0,2	0,78	0,07
F5 Fähigkeiten	5,7 ± 1,1	5,7 ± 0,9	0,77	5,6 ± 1,2	5,3 ± 1,4	0,2	0,76	0,05
F5 Zeigen	1,9 ± 0,2	1,9 ± 0,2	0,43	1,9 ± 0,2	1,9 ± 0,2	0,52	1	0,85
FATE 6 max. 8 Punkte	7,6 ± 1,1	7,7 ± 0,8	0,7	7,3 ± 1,3	7,1 ± 1,6	0,43	0,14	0,01
F6 Fähigkeiten	5,7 ± 1,1	5,8 ± 0,8	0,62	5,4 ± 1,3	5,2 ± 1,4	0,63	0,12	0,01
F6 Zeigen	1,9 ± 0,2	1,9 ± 0,2	0,65	1,9 ± 0,2	1,8 ± 0,4	0,15	0,69	0,38
FATE Fähigkeiten (F1-F6) max. 36 Punkte	29,5 ± 5,1	30,5 ± 3,6	0,22	29,6 ± 4,5	27,3 ± 6,2	0,02	0,91	< 0,01
FATE Zeigen (F1-F6) max. 12 Punkte	11,7 ± 0,8	11,5 ± 0,8	0,36	11,6 ± 0,8	11,4 ± 0,9	0,1	0,82	0,36
Handhabung max. 14 Punkte	10,0 ± 2,3	9,5 ± 2,5	0,21	9,8 ± 2,8	8,6 ± 2,5	0,009	0,65	0,05
Orientierung	1,6 ± 0,5	1,4 ± 0,5	0,01	1,4 ± 0,6	1,1 ± 0,6	0,02	0,03	0,02
Positionierung	1,4 ± 0,6	1,4 ± 0,6	0,69	1,3 ± 0,6	1,0 ± 0,6	0,0004	0,76	< 0,01
Sondenbewegung und Manipulation	1,5 ± 0,5	1,4 ± 0,5	0,49	1,5 ± 0,5	1,4 ± 0,5	0,04	0,60	0,43
"Knopfologie" und Einstellungen (z. B. Tiefe, Verstärkung, Fokus)	1,2 ± 0,5	1,3 ± 0,5	0,38	1,4 ± 0,6	1,3 ± 0,5	0,31	0,14	0,71
Anweisung des Patienten inkl. Atmung	1,4 ± 0,6	1,3 ± 0,8	0,5	1,4 ± 0,6	1,4 ± 0,6	0,75	1	0,7
Positionierung des Patienten	1,4 ± 0,7	1,2 ± 0,7	0,2	1,5 ± 0,5	1,3 ± 0,6	0,05	0,25	0,42

Untersuchungsgeschwindigkeit	1,6 ± 0,6	1,5 ± 0,6	0,31	1,3 ± 0,6	1,3 ± 0,7	0,53	0,01	0,06
Gesamteindruck max. 8 Punkte	3,0 ± 1,0	3,2 ± 1,0	0,21	3,1 ± 1,4	3,6 ± 1,5	0,07	0,73	0,16

Tabelle J.6: Ergebnisse der praktischen Prüfungen (Pathologien)

Parameter	Kontrollgruppe (Mittelwert ± SD)	Studiengruppe (Mittelwert ± SD)	p-Wert
FATE Patho Gesamt max. 48 Punkte	36,4 ± 5,0	37,4 ± 4,6	0,23
Patho 1 max. 12 Punkte	8,8 ± 2,0	8,5 ± 1,7	0,49
P1 Fähigkeit max. 2 Punkte	1,7 ± 0,6	1,5 ± 0,6	0,06
P1 Erkennung max. 2 Punkte	1,4 ± 0,7	1,5 ± 0,6	0,32
P1 Eindruck max. 8 Punkte	3,3 ± 1,3	3,4 ± 1,2	0,53
Patho 2 max. 12 Punkte	8,3 ± 1,6	8,8 ± 1,8	0,08
P2 Fähigkeit max. 2 Punkte	1,4 ± 0,6	1,5 ± 0,6	0,09
P2 Erkennung max. 2 Punkte	1,4 ± 0,7	1,7 ± 0,5	0,01
P2 Eindruck max. 8 Punkte	3,4 ± 1,2	3,4 ± 1,2	0,71
Patho 3 max. 12 Punkte	9,6 ± 1,6	9,9 ± 1,6	0,41
P3 Fähigkeit max. 2 Punkte	1,8 ± 0,4	1,8 ± 0,4	0,32
P3 Erkennung max. 2 Punkte	1,8 ± 0,4	1,8 ± 0,5	0,64
P3 Eindruck max. 8 Punkte	2,9 ± 1,1	2,7 ± 1,1	0,32
Patho 4 max. 12 Punkte	9,7 ± 1,3	10,2 ± 1,4	0,04
P4 Fähigkeit max. 2 Punkte	1,8 ± 0,5	1,8 ± 0,4	0,24
P4 Erkennung max. 2 Punkte	1,9 ± 0,3	1,9 ± 0,3	0,45
P4 Eindruck max. 8 Punkte	2,9 ± 1,0	2,6 ± 1,0	0,04
Fähigkeiten Patho Gesamt 1–4	6,5 ± 1,3	6,7 ± 1,1	0,5
Erkennung Patho Gesamt 1–4	6,4 ± 1,2	6,8 ± 1,2	0,08

9 Danksagung

10 Tabellarischer Lebenslauf