

DISSERTATION

**Differentielles Lernen im BLS – Einfluss von Umweltfaktoren auf
die Güte der Reanimation**

**Differential Learning in BLS – Influence of distractors on the
performance of chest compressions**

zur Erlangung des akademischen Grades

Doctor medicinae (Dr. med.)

vorgelegt der Medizinischen Fakultät

Charité – Universitätsmedizin Berlin

von

Klemens Pawloy

Erstbetreuung: Prof. Dr. med. Sascha Treskatsch

Datum der Promotion: 30.06.2024

Vorwort

Teilergebnisse der vorliegenden Arbeit wurden veröffentlicht in:

Pawloy K, Dohle N, Treskatsch S, Degel A. Kampf der Kompressionen: Wer reanimiert besser – 1. oder 10. Semester? Jahrestagung der Gesellschaft für Medizinische Ausbildung (GMA); 15.09.2021; Zürich: German Medical Science GMS Publishing House; 2021. p. DocV26-03.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	ii
Abbildungsverzeichnis	v
Tabellenverzeichnis	vi
Abkürzungsverzeichnis	vi
1. Zusammenfassung	1
2. Einleitung	4
2.1. Epidemiologie	4
2.2. Die Geschichte der kardiopulmonalen Reanimation	6
2.3. Aktuelle Leitlinien zum Basic Life Support (BLS)	9
2.4. Erlernen neuer Fertigkeiten	10
2.5. Differentielles Lernen	15
2.6. Bekannte Störfaktoren im medizinischen Umfeld	18
2.7. Ausbildung der Studierenden in Erster Hilfe und Reanimation	19
2.8. Ziele und Fragestellung	20
3. Methoden	22
3.1. Studiendesign	22
3.2. Wahl der Störfaktoren	23
3.3. Datenerhebung	25
3.4. Abschlusstestung	26
3.5. Outcome-Parameter	27
3.6. Reanimationssimulatoren	28
3.7. Statistische Auswertung	29
4. Ergebnisse	32
4.1. Anwesenheit	32
4.2. Studienkollektiv	32
4.3. Baseline-Testung (T1)	34

4.4.	Primärer Endpunkt: compression fraction (T9)	35
4.5.	Sekundäre Endpunkte (T9)	36
4.6.	Lernerfolg von T1 bis T7.....	39
4.7.	Persönliche Einflussfaktoren der Herzdruckmassage	45
5.	Diskussion.....	48
5.1.	Zusammenfassung der Ergebnisse	48
5.2.	Einfluss von differentiellem Lernen auf die HDM.....	49
5.3.	Einfluss von Repetition auf die HDM	54
5.4.	Einfluss von körperlichen Determinanten auf die HDM	56
5.5.	Einfluss von Vorerfahrungen auf die HDM	57
5.6.	Lerntheoretische Aspekte.....	61
5.7.	Einfluss der Corona-Pandemie auf die Studie.....	62
5.8.	Stärken und Limitationen der Studie.....	63
5.9.	Schlussfolgerung.....	66
5.10.	Ausblick.....	66
6.	Literaturverzeichnis.....	68
7.	Eidesstattliche Versicherung.....	78
8.	Anteilerklärung an etwaigen erfolgten Publikationen.....	79
9.	Lebenslauf	80
10.	Danksagung.....	82
11.	Bescheinigung über die statistische Beratung	83

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schematische Darstellung des Konzepts von Inter- und Extrapolation.....	16
Abbildung 2: Beispiel für ein Trainingsregime gemäß differentiellern Lernen	17
Abbildung 3: Schematische Darstellung des Studiendesigns	23
Abbildung 4: Anwesenheitszahlen zu allen Testungen.....	32
Abbildung 5: Box-Whisker-Plot compression fraction (%) an T9 Musik vs. Kontrolle	35
Abbildung 6: Box-Whisker-Plot compression fraction (%) an T9	35
Abbildung 7: Box-Whisker-Plot Wertung HDM (%) an T9.....	36
Abbildung 8: Box-Whisker-Plot Drucktiefe (mm) an T9	36
Abbildung 9: Box-Whisker-Plot Kompressionsfrequenz (bpm) an T9	37
Abbildung 10: Box-Whisker-Plot Korrekter Druckpunkt (%) an T9.....	37
Abbildung 11: Box-Whisker-Plot Lernerfolg allgemein Wertung HDM (%)	39
Abbildung 12: Box-Whisker-Plot Lernerfolg allgemein Entlastung (%)	40
Abbildung 13: Box-Whisker-Plot Lernerfolg allgemein Kompressionsfrequenz (bpm)...	41
Abbildung 14: Gruppiertes Box-Whisker-Plot Lernerfolg Studiengruppen Wertung HDM	42
Abbildung 15: Gruppiertes Box-Whisker-Plot Lernerfolg Studiengruppen Entlastung (%)	43
Abbildung 16: Gruppiertes Box-Whisker-Plot Lernerfolg Studiengruppen Frequenz (bpm)	43
Abbildung 17: Gruppiertes Box-Whisker-Plot Lernerfolg Studiengruppen Druckpunkt (%)	44

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Demografische Daten der Gruppen	33
Tabelle 2: detaillierte Messwerte zur Baseline-Testung (T1).....	34
Tabelle 3: detaillierte Messwerte zur Abschlusstestung	38
Tabelle 4: Einflussfaktoren Wertung HDM T1	46
Tabelle 5: Einflussfaktoren Wertung HDM T7.....	46
Tabelle 6: Einflussfaktoren compression fraction T9	47
Tabelle 7: Einflussfaktoren Wertung HDM T9.....	47

Abkürzungsverzeichnis

AED	automatischer externer Defibrillator
AHA	American Heart Association
BLS.....	Basic Life Support
BMI	Body-Mass-Index
bpm	beats per minute
CLT	Cognitive Load Theory
CPR.....	kardiopulmonale Reanimation
EEG	Elektroenzephalogramm
ERC.....	European Resuscitation Council
HDM	Herzdruckmassage
HKS	Herz-Kreislauf-Stillstand
IQR	Interquartilabstand
Md	Median
NAW	Notarztwagen
OTL	Opportunity to learn
PSA	persönliche Schutzausrüstung
ROSC	Return of spontaneous circulation

1. Zusammenfassung

Hintergrund: Herz-Kreislauf-Stillstände sind eine der weltweit häufigsten Todesursachen. Training im Basic Life Support (BLS) ist daher ein essenzieller Teil der ärztlichen Ausbildung. Diese Kurse sind jedoch oft realitätsfern und bereiten Teilnehmende nicht hinreichend auf störende Einflüsse wie Lärm oder eine chaotische Situation vor. Um Studierende besser auf solche Einflüsse vorzubereiten, könnte das aus der Sportforschung bekannte differentielle Lernen nach Schöllhorn ein möglicher Ansatz sein. Dabei werden im Training aktive Bewegungsfehler oder Störfaktoren eingebaut, wodurch Teilnehmende besser auf unvorhersehbare Situationen vorbereitet werden sollen.

Zielsetzung: Diese Studie versuchte, differentielles Lernen erstmals in der BLS-Ausbildung anzuwenden. Es wurde untersucht, ob Studierende die Herzdruckmassage (HDM) als Reaktion auf einen neuen, disruptiven Störfaktor unterbrechen. Angenommen wurde, dass Studierende, die mit Störfaktoren trainiert wurden, besser auf eine Störung reagieren als konventionell trainierte Studierende. Außerdem wurde versucht, den Lernfortschritt der Teilnehmer:innen anhand gemessener HDM-Parameter zu analysieren.

Methoden: Studierende des ersten Fachsemesters erhielten über ein Jahr BLS-Trainings im Abstand von drei Monaten. Sie wurden, eingeteilt in Kleingruppen, beim Training vordefinierten Störfaktoren ausgesetzt, wie laute Musik, Monitoralarmede oder Einmalkittel. Parameter zur Qualität der HDM wurden durch Laerdal-Simulatoren aufgezeichnet. Zur Abschlusstestung reanimierten die Teilnehmenden drei Minuten in einem simulierten Notfall und wurden einem neuen Störfaktor (Hinzukommen einer Oberärztin bzw. Oberarzt) ausgesetzt. Als primärer Endpunkt wurde eine signifikante Unterbrechung der Reanimation definiert, welche den Anteil der Reanimationszeit um 5% verringerte. Als sekundärer Endpunkt wurde unter anderen die Qualität der HDM (Wertung HDM) ausgewertet.

Ergebnisse: Die HDM-Kompetenzen der Teilnehmenden waren zu Studienbeginn sehr heterogen, unterschieden sich zwischen den Studiengruppen aber nicht. In der Abschlusstestung reagierten alle Gruppen ähnlich auf den neuen Störfaktor und unterbrachen die Reanimation nicht ($p = 0,7$). Im Studienverlauf verbesserte sich die gesamte Kohorte signifikant (Wertung HDM 75%, IQR 23-89 vs. 94%, IQR 81-98; $p <$

0,001), in der Gruppe mit gemischten Störfaktoren konnte die größte Verbesserung erzielt werden (Wertung HDM 31%, IQR 7-84 vs. 89%, IQR 75-97; $p = 0,007$).

Schlussfolgerung: Regelmäßiges Training in dreimonatigem Abstand kann die Fertigkeiten in HDM bei Medizinstudierenden deutlich verbessern. Erste Lernvorteile des differentiellen Lernens konnten in der Gruppe mit gemischten Störfaktoren gesehen werden. Eine Transferleistung, also eine verbesserte Reaktion auf bisher unbekannte Umweltfaktoren, konnte in der Abschlusstestung nicht gezeigt werden. Weitere Studien sind nötig, um das Konzept des differentiellen Lernens in der ärztlichen Ausbildung weiter zu erforschen.

Abstract

Background: Cardiac arrest is one of the world's leading causes of death. Therefore, training in basic life support (BLS) to treat cardiac arrest is an essential part of medical training. However, basic courses often lack realism and can't completely prepare participants for distraction or stressors like noise and chaotic situations. In order to better prepare students for such distractions, the concept of differential learning by Schöllhorn, which stems from sports research, might be a possible approach. Here, training features movement alternations and small distractions while practising, supporting the individual's development in adapting to changing environments.

Objective: The study aims to examine differential learning in its first application in basic life support training. The tendency to stop cardiopulmonary resuscitation (CPR) when confronted with a new, disruptive distraction was compared amongst participants. We hypothesized that students trained according to differential learning theory would react better to such a disruption than conventionally trained students. Furthermore, students' learning outcomes throughout the study were evaluated based on recorded CPR parameters.

Methods: First-semester medical students received BLS trainings every three months for one year. Divided into small groups, the students were exposed to predefined distractors during the training, like loud music, monitoring alarms or single-use gowns. Parameters of CPR were recorded automatically via Laerdal simulators. In the final assessment, students were asked to perform three minutes of CPR in a simulated emergency and

were exposed to an unknown distractor (interruption caused by a senior consultant). The primary endpoint was defined as an interruption of CPR, which would reduce the fraction of time of CPR by more than 5%. As secondary endpoint, among others, the quality of CPR (CPR score) was analysed.

Results: Skills in CPR differed extensively between individuals at the start of the study, but groups did not. In the final assessment, all groups reacted similarly to the new distractor and did not interrupt CPR ($p = 0,7$). During the study, the cohort improved their skills (CPR score 75%, IQR 23-89 vs. 94%, IQR 81-98; $p < 0,001$), improvements were particularly present in the group with alternating distractors (CPR score 31%, IQR 7-84 vs. 89%, IQR 75-97; $p = 0,007$).

Conclusion: Periodic training every three months can improve medical students' skills in CPR significantly. First advantages of differential learning can be seen among the group with alternating distractors. A transfer of learning, like an improved reaction to new distractors, could not be seen in the final assessment. Further research is necessary to study the concept of differential learning in medical education.

2. Einleitung

2.1. Epidemiologie

Im Jahr 2022 wurden Rettungskräfte außerhalb eines Krankenhauses zu schätzungsweise 136.000 Herz-Kreislauf-Stillständen (HKS) alarmiert. In 47% der Fälle wurde nach Eintreffen der Kräfte am Einsatzort mit einer kardiopulmonalen Reanimation (CPR) begonnen, in den restlichen Fällen erfolgte eine Todesfeststellung. Von den erfassten 64.000 außerklinischen Reanimationen wurden 57,3 % der Patient:innen vor Eintreffen der Rettungskräfte bereits durch „first responder“ oder Laien reanimiert. (1) Mit dieser Rate an Laienreanimationen liegt Deutschland im europäischen Durchschnitt, welcher zwischen 47% (im Jahr 2014) und 58% (im Jahr 2017) liegt. (2, 3) Vor allem skandinavische Länder wie Schweden sind in diesem Aspekt europaweit deutlich besser. Analysen des schwedischen Reanimationsregisters konnten für die Jahre 2014 und 2015 Raten von 68% bzw. 71% zeigen, von einer weiteren Positiventwicklung seither ist auszugehen. (4, 5)

Die Ursachen für eine ausbleibende Wiederbelebung durch nicht-medizinische Notfallzeugen (Laienhelfer:innen) sind vielfältig. Eine Analyse von Berliner Notarztwagen-Einsätzen (NAW) aus 2007 zeigte, dass in 45% der Fälle die anwesenden Helfer:innen den HKS nicht erkannt haben. Im Falle einer eingeleiteten Reanimation wurde diese darüber hinaus in der Hälfte der Fälle nur insuffizient durchgeführt. (6, 7) Laut Brinkrolf et al. kann das Aussetzen der Eigenatmung bei Patient:innen von ungeschultem Personal als eindeutiges Zeichen eines HKS erkannt werden. Patient:innen mit Schnapp- oder agonaler Atmung als Zeichen eines HKS werden jedoch signifikant seltener von Laien reanimiert. (8) Bei Reanimationen gaben Helfer:innen Ängste an, den Patient:innen zu schaden oder diese zu verletzen, bei Frauen im HKS wurden zudem Bedenken angegeben, dass diese durch die Reanimation unsittlich angefasst werden könnten. (9, 10)

Um die Rate an Ersthelfer:innen in Reanimationssituationen zu steigern, wird vom European Resuscitation Council (ERC) in deren Guidelines festgehalten, dass jeder Mensch die grundlegenden Fertigkeiten erlernen sollte, ein Leben retten zu können. (11) Neben diesem Appell richtet sich in der aktuellen Leitlinie ein ganzes Kapitel an staatliche Institutionen und Gesetzgeber:innen, wie die Überlebensrate nach einem HKS verbessert werden kann. Hier empfiehlt der ERC die Implementierung von App-basierten

Ersthelferalarmierungen, Aktionstagen wie dem „Restart a Heart Day“ und regelmäßigen Erste-Hilfe-Kursen unter Einbeziehung von Schulkindern, beginnend ab dem zwölften Lebensjahr. Diese Trainings sollen auch in Einrichtungen höherer Bildung fortgesetzt werden, insbesondere bei Lehramts- und Medizin-Studierenden. (12) Diese Forderung des ERC ist in Deutschland in den Approbationsordnungen für Human- und Zahnmedizin abgebildet. Studierende müssen nach § 5 Abs. 3 ÄApprO bzw. § 13 Abs. 2 ZApprO zur Anmeldung zum ersten Staatsexamen eine Ausbildung in Erster Hilfe vorweisen können.

Nach dem Erlernen der Basisfertigkeiten am Anfang des Studiums wandelt sich das Anforderungsprofil für die Studierenden in Notfallsituationen. Mit vertiefendem Wissen wird in höheren Semestern auch das Führen von Notfallteams trainiert. (13) Gleichzeitig fühlen sich die Studierenden jedoch teilweise von der Brutalität und dem Chaos einer Reanimation im klinischen Alltag überwältigt bzw. gehemmt. (14) Eine Umfrage unter Medizinstudierenden aus ganz Europa konnte außerdem mitunter eklatante Defizite im Wissen um Erste Hilfe und Reanimation aufzeigen. Hier zeigten die Ergebnisse der Untergruppe deutscher Studierenden zwar einen guten theoretischen Wissenstand zur Herzdruckmassage (HDM), wie z. B. das korrekte Verhältnis von Kompressionen zu Beatmungen in der Reanimation (97% korrekte Antworten) oder die Bedeutung der Bewusstlosigkeit und des Fehlens einer normalen Atmung als Zeichen eines HKS (90% korrekte Antworten). Die korrekte Drucktiefe und Frequenz waren jedoch schlechter bekannt (73 bzw. 77%). (15)

Diese Erkenntnisse einer teils unzureichenden Ausbildung der Studierenden wurden durch weitere Studien im europäischen Umland bestätigt. Drummond et al. zeigten, dass die Fähigkeiten französischer Absolvent:innen in einer Kinder-Reanimation unzureichend sind. Studierende in Irland würden laut Gouda et al. zwar im Katastrophenfall mehrheitlich im Gesundheitswesen aushelfen, viele Befragte nannten aber ihr mangelndes Training als großes Hindernis, um eine Hilfe zu sein. (16, 17) In Simulationstrainings riefen schweizerische Studierende des zehnten Fachsemesters signifikant später um Hilfe, verzögerten die Herzdruckmassage nach Pausen mehr und begannen lebensrettende Erstmaßnahmen später im Vergleich zu Teams aus erfahrenen Notfallmediziner:innen. Gleichzeitig jedoch hielten sich die Studierenden strenger an die damals geltenden Leitlinien und erreichten häufiger den empfohlenen Frequenzbereich in der HDM. (18)

Auswirkungen dieser suboptimalen Vorbereitung auf das Berufsleben sind auch noch bei Assistenzärzt:innen zu finden. Smith et al. zeigten bereits 2002 auf, dass Mediziner:innen im ersten Ausbildungsjahr nach dem Studium (damals: pre-registration house officers) und auch erfahrenere Kolleg:innen (senior house officers) Defizite in vor allem technischen Fragen zu notfallmedizinischen Themen hatten. (19) Die Hälfte aller befragten deutschen Berufsanfänger:innen berichtete in einer Umfrage aus dem Jahr 2006, entweder häufig oder immer Schwierigkeiten bei der Durchführung einer Reanimation zu haben. Praktische Fertigkeiten erreichten in einer Selbstbewertung schwedischer Assistenzärzt:innen den zweitletzten Platz. (20, 21) Fähigkeiten in notfallmedizinischen Maßnahmen von britischen Berufseinsteiger:innen wurden sowohl von ihnen selbst als auch von ihren Vorgesetzten als bedenklich bzw. schlecht eingestuft. (22) Ein Rapid Review aus 2017 kam zu einem ähnlichen Resultat: britische Ärzt:innen sind am Berufsanfang generell schlecht oder gar nicht auf Notfallsituationen vorbereitet. (22, 23) Im Kontext der COVID-19-Pandemie zeigten sich ebenfalls Schwächen der akademischen Ausbildung von jungen Ärzt:innen. Mehr als die Hälfte der Befragten (59%) gab an, sich bei Intubation und Reanimation unsicher oder unwohl zu fühlen. (24)

2.2. Die Geschichte der kardiopulmonalen Reanimation

Die erste Wiederbelebung durch eine hochfrequente HDM wurde im Jahr 1892 durch den deutschen Chirurgen Friedrich Maass beschrieben. Er berichtete von zwei elektiven Operationen an Kindern (zwei Jungen, 9 und 13 Jahre alt). Im Rahmen der Narkose kam es bei beiden Kindern zu einer Chloroform-Überdosierung, die in einer Apnoe und Mydriasis der Kinder resultierte. Damals gebräuchliche Methoden der Wiederbelebung fokussierten sich auf eine Therapie der Apnoe durch Belüftung der Lungen mit Lagerungsmanövern oder niederfrequenten Thoraxkompressionen. (25) Im Laufe der initialen Wiederbelebungsversuche beider Kinder mit der Methode nach Koenig (= einfache Kompressionen in der Herzgegend, 30- bis 40-mal pro Minute mit regelmäßigen Pausen zur Neubeurteilung der Atmung¹) verschlechterte sich der Zustand der Patienten. Die anfänglich noch wahrzunehmenden suffizienten Atemversuche in Kompressionspausen gingen in eine Cheyne-Stokes-Atmung über, auch die initial unter Kompressionen verengten Pupillen waren nun permanent weitgestellt. Nach Übergang zu einer höheren Kompressionsfrequenz (etwa 120 Kompressionen pro Minute) stellten

¹ Um die Atemwege der Patienten offen zu halten, wurden die Jungen im Verlauf der initialen Behandlung zusätzlich tracheotomiert.

sich rasch klinische Erfolge ein, welche aber in Kompressionspausen wieder verschwanden. Nach jeweils über einer Stunde Behandlung mit hoher Kompressionsfrequenz konnte bei beiden Patienten ein stabiler Kreislauf erreicht werden. Beide Patienten konnten nach einem verlängerten Krankenhausaufenthalt ohne schwere neurologische Schäden entlassen werden. Die Durchführung der HDM beschrieb Maass folgendermaßen: „Man tritt auf die linke Seite des Kranken, das Gesicht dem Kopf desselben zugewandt und drückt mit raschen, kräftigen Bewegungen die Herzgegend tief ein, indem der Daumenballen der geöffneten rechten Hand zwischen Stelle des Spitzenstoßes und linken Sternalrand gesetzt wird. Die Häufigkeit der Kompressionen beträgt 120 und mehr in der Minute. (...) So lange der Zustand sich nicht wesentlich gebessert hat, ist es zweckmäßig, möglichst wenig und kurze Pausen zu machen. Später kann man jedesmal nach vollständiger Verengung (sic!) der Pupille so lange warten, als diese klein bleiben und die spontanen Athemzüge (sic!) andauern.“ (26, 27)

Weltweite Aufmerksamkeit erlangte die HDM am geschlossenen Thorax jedoch erst 1960 mit den Publikationen der Arbeitsgruppe um W. B. Kouwenhoven. Ein Mitglied dieser Gruppe, G. G. Knickerbocker, bemerkte 1958 bei Experimenten zur Defibrillation an Hunden im HKS, dass beim Aufkleben von Defibrillationselektroden kurzzeitig ein invasiv gemessenes, arterielles Drucksignal abzuleiten war. Diese zufälligen Beobachtungen wurden anschließend durch die Arbeitsgruppe an Patient:innen erprobt, welche intraoperativ einen HKS erlitten. (28) Die in der Publikation beschriebene HDM ähnelte bereits stark der, die heute in Leitlinien empfohlen wird: Die HDM hatte drei bis vier Zentimeter Drucktiefe, mit Fokus auf kompletter Entlastung, einen Druckpunkt am kaudalen Sternum und eine Frequenz von 60 Kompressionen pro Minute. (29)

Zusammen mit der Etablierung der Mund-zu-Mund-Beatmung durch Safar et al. um 1958 (28) wurde die Versorgung von bewusstlosen, nicht atmenden erwachsenen Patient:innen 1966 erstmals in einer amerikanischen Leitlinie standardisiert. Beim Auffinden einer bewusstlosen Person sollte initial der Kopf überstreckt werden, um die oberen Atemwege zu öffnen. Sollte die Person daraufhin nicht atmen, mussten fünf Mund-zu-Mund-Beatmungen appliziert werden, anschließend sollte der Puls an der Arteria carotis überprüft werden. Bei Pulslosigkeit sollte nun mit der Reanimation begonnen werden, wie sie von Kouwenhoven et al. beschrieben wurde. In der Ein-Helfer-Situation sollten sich HDM und Beatmung in einem Verhältnis von 15:2 abwechseln. Bei

zwei Helfer:innen sollte das Verhältnis 5:1 betragen; eine Person führt die Thoraxkompressionen durch während die Zweite beatmet. Von einem allgemeinen Training der Bevölkerung wurde zu diesem Zeitpunkt zwar noch abgeraten, erste Pilotprojekte wurden aber bereits lobend erwähnt. (30)

Die Aktualisierung dieser Leitlinie im Jahr 1974 betonte, dass ein breit angelegtes Schulungsprogramm nötig wäre, um die Möglichkeiten der CPR voll auszuschöpfen. Selbst Schulkinder sollten an diesen Trainings teilnehmen können. Bei der Reanimation durch eine Person wurde nun eine höhere Frequenz von 80 Kompressionen pro Minute empfohlen, um den Zeitverlust durch Beatmungen zu kompensieren. (31) Ein erneutes Update 1980 inkludierte erstmals die Alarmierung von Rettungskräften. Für diese wurde in den vorigen Empfehlungen stets eine bessere Ausstattung und Ausbildung verlangt. (32) 1986 wurde die empfohlene Frequenz der Kompressionen auf einen Bereich von 80 – 100/min erhöht, um den durch Thoraxkompressionen resultierenden Blutfluss zu erhöhen. (33) Im Hundemodell konnte eine Erhöhung der Kompressionsfrequenz auf 100/min einen um 80% höheren Blutfluss in den Koronararterien erzeugen. (34) In einem Statement der American Heart Association (AHA) im Jahr 1995 wurde erstmals der Einsatz von automatischen externen Defibrillatoren (AED) durch ungeschulte Helfer:innen unterstützt. (35)

Grundlegende Änderungen der Leitlinien der AHA wurden 2000 publiziert. Die Pulskontrolle für ungeübte Helfer:innen wurde wegen der Verzögerung weiterer Maßnahmen sowie der schlechten Sensitivität und Spezifität nicht mehr empfohlen. Außerdem sollte nun immer im Verhältnis 15:2 - ungeachtet der Zahl an Helfenden - reanimiert werden, die Frequenz der optimalen HDM wurde auf 100/min gesteigert. Eine Reanimation ohne Beatmung (compression-only-CPR) sollte nun auch in Betracht gezogen werden, wenn die Ersthelfenden sich nicht in der Lage fühlen, Mund-zu-Mund-Beatmungen an erwachsenen Patient:innen durchzuführen. (36) Diese Änderungen gingen mit der Publikation der Leitlinien für Basic Life Support (BLS) des ERC einher, welche 1992 zum ersten Mal veröffentlicht wurden und seit 2000 jahressynchron im 5-Jahres-Rhythmus mit ihrem amerikanischen Gegenpart erschienen. (37) Während die AHA in ihren Leitlinien von 2005 weiter an zwei Initialbeatmungen nach der Atemkontrolle festhielt, änderte der ERC seinen Algorithmus: Bei einer nicht normalen Atmung sollte nun direkt mit der HDM begonnen werden. In der initialen Phase eines nicht-hypoxischen HKS besitzen Patient:innen noch eine Sauerstoffreserve, wodurch

Thoraxkompressionen in den Vordergrund rücken. Das Verhältnis von Kompressionen zu Beatmung änderten beide Fachgesellschaften auf 30:2, man sollte eine Frequenz der Kompressionen von mindestens 100/min anstreben. (38, 39) Die letzten Veränderungen im Ablauf des BLS erschienen mit den Leitlinienupdates aus 2010. Die AHA empfahl analog zu den ERC-Leitlinien von 2005 nun auch, keine Initialbeatmungen mehr anzuwenden. Beide Gesellschaften forderten aufgrund neuer Erkenntnisse zudem eine Drucktiefe von nun mindestens fünf bis maximal sechs Zentimeter und eine Frequenz von 100 – 120 Kompressionen pro Minute. (40, 41)

2.3. Aktuelle Leitlinien zum Basic Life Support (BLS)

Aktuell sind zwischen den Leitlinien von AHA und ERC zum BLS bei Erwachsenen nur wenig Unterschiede zu finden. Beide Fachgesellschaften empfehlen einen fast uniformen Algorithmus, der auch von ungeübten Helfer:innen durchgeführt werden kann.

Nach dem Auffinden einer bewusstlosen erwachsenen Person soll – unter Berücksichtigung der eigenen Sicherheit – diese laut angesprochen und sanft an deren Schultern geschüttelt werden. Wenn die Person daraufhin nicht reagiert, sollen die Helfenden die Atmung überprüfen. Der ERC empfiehlt hierzu, den Kopf der bewusstlosen Person zu überstrecken und die Atmung durch Hören, Sehen und Fühlen des Luftstromes für maximal zehn Sekunden zu kontrollieren. Die AHA empfiehlt das Überstrecken des Kopfes nur für geschulte Helfer:innen und professionelles Personal. Ungeübte Helfer:innen sollen für maximal zehn Sekunden nach fehlender oder Schnappatmung suchen, ohne den Kopf dabei zu manipulieren.

Sofern keine normale Atmung festgestellt werden kann, ist von einem HKS auszugehen, woraufhin Rettungskräfte alarmiert werden müssen. Bei Möglichkeit sollte dies parallel zum Beginn einer HDM erfolgen, indem die Freisprecheinrichtung eines Telefons verwendet wird. Falls weitere Helfende vor Ort sind, soll eine Person mit der Suche nach einem AED beauftragt werden, während die auffindende Person mit der HDM beginnt. Diese kniet neben der leblosen Person auf Thoraxhöhe. Der Druckpunkt befindet sich auf der unteren Sternumhälfte, die Zieltiefe der Thoraxkompressionen liegt bei fünf bis maximal sechs Zentimeter. Es soll auf eine vollständige Entlastung des Brustkorbes zwischen zwei Kompressionen und auf eine Minimierung von Pausen geachtet werden. Als ideale Kompressionsfrequenz werden 100 – 120 Kompressionen pro Minute angegeben, die Ellbogen sollen während den Kompressionen stets durchgestreckt sein.

Wenn sich die helfende Person in der Lage fühlt, Beatmungen durchzuführen, dann sollen sich Kompressionen und Beatmungen in einem Verhältnis von 30:2 abwechseln. Falls dies nicht zutrifft, soll die Person auf Beatmungen verzichten und nur eine HDM wie oben beschrieben durchführen (compression-only-CPR). Bei Verfügbarkeit eines öffentlichen AED soll dieser so schnell wie möglich eingesetzt werden; die Helfenden richten sich dann nach der Sprachausgabe des Defibrillators. (42, 43)

Compression-only-CPR wurde im Jahr 2008 von der AHA als primäre Möglichkeit der Reanimation von Erwachsenen durch ungeübte Helfer:innen empfohlen. (44) Bis dahin war diese Variante eine Alternative, wenn Helfer:innen nicht beatmen wollten bzw. konnten oder Leitstellenmitarbeitende die Reanimation den Helfer:innen über das Telefon erklären mussten. (39) Diese Empfehlung wurde ausgesprochen, um den Ablauf zu vereinfachen und mehr Menschen zu ermutigen, im Falle eines HKS eine Reanimation durchzuführen. Eine Mund-zu-Mund-Beatmung wird häufig als größtes Hindernis angegeben, als ungeübte:r Helfer:in eine Reanimation durchzuführen. (45)

Im Zusammenhang mit der SARS-CoV-2-Pandemie wurden die Empfehlungen für Laienhelfer:innen vom ERC überarbeitet. Um das Infektionsrisiko der Helfenden zu minimieren, wird empfohlen, auf ein Öffnen der Atemwege zu verzichten. Bei bestätigtem HKS soll eine compression-only-CPR unter Verzicht auf Mund-zu-Mund-Beatmungen durchgeführt werden. Im Zweifelsfall können die Atemwege der Patient:innen durch eine Maske oder ein Stück Stoff bedeckt werden, um die Aerosollast niedrig zu halten. (46)

Um möglichst vielen Patient:innen zu helfen, sollen alle Menschen, beginnend im Kindesalter, die Möglichkeit bekommen, Reanimationsmaßnahmen zu erlernen und regelmäßig zu trainieren. (11) Vor allem beim initialen Erlernen der Fertigkeiten müssen dabei lerntheoretische Grundlagen beachtet werden.

2.4. Erlernen neuer Fertigkeiten

Das Erlernen neuer Fertigkeiten kann aus psychologischer Sicht in zwei Phasen eingeteilt werden: Nachdem die Lernenden in der ersten Phase eine Vorstellung der zu erlernenden Tätigkeit bekommen, wird diese im zweiten Schritt durch Training und Feedback gefestigt bzw. durch Einfluss der Umgebung variiert. (47) Für beide Phasen des Lernens haben sich in der medizinischen Ausbildung verschiedene Ansätze entwickelt.

2.4.1. Phase 1: Kennenlernen der Fertigkeit

Die praktische Ausbildung im medizinischen Umfeld wird von vielen Beteiligten unter dem Satz „see one, do one, teach one“ zusammengefasst. Der Spruch wird dem amerikanischen Chirurgen William Halsted (1852 – 1922) zugeschrieben und beschrieb ursprünglich die chirurgische Ausbildung. Hierbei werden den Lernenden die Abläufe erklärt, damit sie diese in kommenden Operationen selbst anwenden können. (48) Aufgrund der passiven Rolle der Lernenden während des Wissenserwerbs erfüllt das Konzept nicht die Anforderungen (moderner) Ansätze wie dem „active learning“. „Active learning“ setzt voraus, dass die Lernenden im Lernprozess aktiv eingebunden werden, um währenddessen ihr neues Wissen effizient zu strukturieren. (49)

„See one, do one, teach one“ sieht zudem ein Erlernen der Fertigkeit von Anfang bis Ende vor, was nicht unumstritten ist. (50, 51) Vor allem länger andauernde, komplexe Prozeduren können in ihrem Umfang von den Lernenden derart nicht vollends erfasst werden. Dadurch kann es zur Überforderung der Lernenden kommen, der Lerneffekt wird vermindert. Aufgrund dieser Nachteile kamen Walker und Peyton 1998 zu dem Schluss: „The old concept of ‚see one, do one and teach one‘ has no place in surgical training.“ (52) Als Alternative beschrieben sie ein Lehrkonzept bestehend aus vier Einzelschritten. Grundsätzlich kann hierbei eine Operation in mehrere Etappen eingeteilt werden, von denen eventuell nur eine im Rahmen einer einzelnen Operation aktiv gelehrt wird. Erst nachdem die auszubildende Person alle Schritte erlernt hat, soll zu einer kompletten Durchführung der Operation durch die Lernenden übergegangen werden. Das Vermitteln der einzelnen Etappen soll immer dem gleichen vierstufigen Ablauf folgen:

1. Die Tätigkeit wird in normaler Geschwindigkeit demonstriert. (Demonstration)
2. Die Tätigkeit wird erneut durchgeführt, dieses Mal mit erklärendem Kommentar und Raum für Nachfragen. (Deconstruction)
3. Beim dritten Durchführen wird die lernende Person vor jedem Schritt diesen beschreiben, die lehrende Person kann falls nötig korrigieren, bis sie mit dem Wissen zufrieden ist. (Comprehension)
4. Im vierten Schritt übernimmt die auszubildende Person die Durchführung unter enger Beobachtung der Lehrenden und beschreibt wiederum jeden Schritt, bevor er durchgeführt wird. (Performance) (52)

Die ersten beiden Schritte können laut Walker und Peyton auch durch Videos und Lehrpersonen ersetzt werden, wobei aber die Überlegenheit des Lehrens im Operationssaal unterstrichen wird. (52)

Interventionsstudien in der Ausbildungsforschung konnten zeigen, dass Peytons Modell sich positiv auf den Lernerfolg im Rahmen des Anlegens einer Magensonde auswirkt. (53) Beim Erlernen einer strukturierten Gesichtsuntersuchung kam es zwar kurzfristig zu besseren Leistungen, nach zwei Monaten war dieser Effekt jedoch nicht mehr messbar. (54) Für das Erlernen der HDM konnte Peytons Ansatz in einzelnen Studien keine signifikanten Vorteile erzielen, weder direkt nach dem Training noch mehrere Wochen danach. (55, 56) Dennoch konnte im Rahmen einer Meta-Analyse gezeigt werden, dass das schrittweise Lernen nach Peyton gegenüber dem traditionellen „see one, do one, teach one“ überlegen ist, sowohl direkt nach dem Erlernen als auch bei follow-up-Testungen. (57)

2.4.2. Phase 2: Fixation/Variation

Nach dem initialen Erlernen müssen die neuen Fähigkeiten gefestigt werden. Dies trifft auch für die HDM zu: ohne Training nimmt die Qualität der HDM bereits nach wenigen Monaten wieder ab. (58, 59)

Nach der Einteilung von A. M. Gentile können erlernte Fertigkeiten mit Bezug auf das Training in zwei Gruppen aufgeteilt werden. „Open skills“ beschreiben Tätigkeiten, die in einem Bezugssystem dynamisch sind und die anwendende Person durch die Möglichkeit einer Veränderung fordern, ihren Bewegungsablauf bei jeder Ausführung anzupassen. „Closed skills“ hingegen zeichnen sich durch eine Konstanz aus, die initial erlernten Bewegungen müssen nicht auf die aktuelle Situation angepasst werden. Im Training erfolgt deshalb bei „closed skills“ eine Optimierung der Bewegungen in Antizipation, dass das Trainierte vollständig in die Praxis transferiert werden kann. (47)

Bei „open skills“ hingegen werden die Lernenden durch die Natur der Fertigkeit zu einer Diversifikation gezwungen. Nachdem die Wahrscheinlichkeit des Auftretens der Umgebungsvariationen berechnet werden kann, können die wahrscheinlichsten Situationen gezielt trainiert werden, mit dem Nachteil, dass unwahrscheinliche Situationen eventuell nicht im Training abgedeckt werden können. (47)

Reanimationsmaßnahmen können hier nicht eindeutig einer Kategorie zugeordnet werden: Während die HDM isoliert betrachtet einen „closed skill“ darstellt, erfüllt die

Reanimation als Gefüge von Teamarbeit, Störfaktoren, diagnostischem Algorithmus und HDM die Kriterien eines „open skill“.

Als Alternative zum beschriebenen repetitiven Training wurde von W. I. Schöllhorn das differentielle Lernen vorgeschlagen. (60)

2.4.3. Rahmenbedingungen

Ungeachtet der Trainingsmethode wird der Lernerfolg bei regelmäßigem Training der HDM von vielen Faktoren beeinflusst. Der ERC empfiehlt ein Trainingsintervall von zwei bis zwölf Monaten, um eine gleichbleibende Qualität der HDM sicherzustellen. Studien deuten auf ein ideales Intervall zwischen drei und sechs Monaten zwischen Trainingseinheiten hin. (11, 61) Neben dem Trainingsintervall wirken sich Echtzeit-Feedbackgeräte positiv auf den Lernerfolg und die Retention (das Beibehalten des Erlernten) aus. Audiovisuelles Feedback zu Drucktiefe und Entlastung sowie Frequenz der Kompressionen kann die Prüfungsleistung und kurzfristige Retention verbessern. (62-64) In Übungsterminen mit mehreren Teilnehmenden können bis zu acht Personen pro Termin teilnehmen, ohne dass Qualitätseinbußen zu befürchten sind. Gruppen mit acht Teilnehmenden hatten dabei jedoch weniger Zeit zu üben, außerdem schätzten sie sich schlechter ein als Vergleichsgruppen mit drei bis fünf Teilnehmenden. (65, 66) Auch die Zusammensetzung einer Gruppe kann sich auf den Lernerfolg und die Retention auswirken: Sopka et al. konnten zeigen, dass gemischte und rein weibliche Gruppen bessere Reanimationsleistungen erbringen als Teilnehmende, die in rein männlichen Gruppen trainiert wurden. (67)

2.4.4. Dynamik des Lernerfolgs / Opportunity to Learn

Der Prozess des Lernens kann zwischen zwei Personen sehr verschieden sein und unterschiedlich lange dauern. J. Carroll identifizierte dazu 1963 fünf führende Faktoren, welche die Lerndauer eines Individuums beeinflussen:

- Persönliche Begabung
- Individuell erforderliche Zeit zum Lernen
- Beharrlichkeit der Lernenden
- Qualität von Erklärungen
- Zur Verfügung stehende Zeit für das Lernen (68)

Während die ersten drei Faktoren den persönlichen Fähigkeiten der Lernenden zugeordnet werden können, werden der vierte und fünfte Faktor durch das Lehrpersonal beeinflusst. Die von Carroll beschriebenen Faktoren wurden nachfolgend unter dem Begriff „opportunity to learn“ bekannt. (69, 70)

Um eine optimale „opportunity to learn“ für Lernende zu schaffen, müssen Lehrkräfte im Unterricht die zur Verfügung stehende Zeit optimal nutzen. Das geschieht unter anderem durch gut verständlich formulierte Instruktionen. Eine schlecht verständliche Anweisung würde bei Schüler:innen mit einer niedrigeren persönlichen Begabung Zeit vom eigentlichen Lernprozess rauben, bis die Anweisungen im Sinn verstanden werden. Je mehr Zeit die Lernenden für Lernaufgaben haben, desto besser würde der Lernerfolg ausfallen. (70)

2.4.5. Überforderung / Cognitive Load Theory

Neben der Optimierung von Rahmenbedingungen und Übungszeit müssen Lehrkräfte auch darauf achten, die Lernenden im Training nicht zu überfordern. Die Auswirkungen der kognitiven Arbeitslast auf den Lernprozess wurden von John Sweller 1988 in der Cognitive Load Theory (CLT) beschrieben.

Ein Mensch kann normalerweise nur 7 (\pm 2) Informationen auf einmal im Arbeitsgedächtnis speichern, bevor diese anschließend ins Langzeitgedächtnis verschoben werden. (71) Wenn das Arbeitsgedächtnis mit mehr Informationen konfrontiert wird, kann es diese aus Ermangelung an „Rechenleistung“ nicht verarbeiten. Diese Arbeitslast, auch „cognitive load“ genannt, kann in drei Kategorien unterteilt werden:

- Intrinsic cognitive load: Denkarbeit des Erlernens neuer Informationen
- Germane cognitive load: Denkarbeit zum Lernen selbst (z. B. aktives Anwenden von Lernstrategien)
- Extraneous cognitive load: potenziell überflüssige Informationen, die nicht zwingend zu den neu aufgenommenen Informationen gehören

Wenn nun im Lernprozess die Lernenden vor neue Aufgaben gestellt werden, muss für die Bewältigung der Aufgabe ein Großteil des Arbeitsgedächtnisses für „intrinsic cognitive load“ zur Verfügung stehen. Zusammen mit einer Grundlast an „extraneous cognitive

load“ wird das Arbeitsgedächtnis jetzt komplett belegt, für die Rechenarbeit des eigentlichen Lernens bleibt kein Platz mehr und es kann nicht stattfinden. (72, 73)

Um den Lernerfolg von Studierenden zu optimieren, kann – basierend auf den Erkenntnissen der CLT – der Unterricht unterschiedlich adaptiert werden:

- Vorwissen kann den „intrinsic cognitive load“ reduzieren. Deshalb sollten Lernende vor dem Unterricht vorbereitende Materialien erhalten, um im Unterricht dieses Wissen dann anwenden zu können. Eine Vereinfachung von Aufgaben kann zusätzlich Arbeitsspeicher sparen.
- Einfache, logische Erklärungen und der Abbau von störenden Faktoren können den „extraneous cognitive load“ reduzieren. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, dass Studierende komplexe Fertigkeiten initial anhand von bewährten Beispielen abarbeiten, die ihnen eine Struktur bieten. Bei Präsentationen dürfen Foliensätze die Lernenden mit ihrer Fülle an Information nicht überlasten.
- Die eigentliche Lernarbeit der Lernenden kann positiv durch Schemata und Merkstützen beeinflusst werden. Dadurch wird der „germane cognitive load“ optimiert. (73)

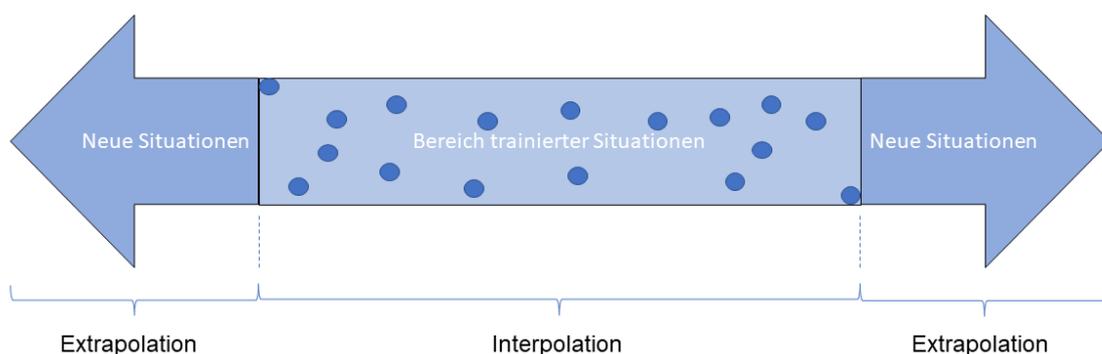
Vor allem bei der Optimierung des „germane cognitive load“ müssen Lehrpersonen besonders auf das Vorwissen der Lernenden Rücksicht nehmen: Mit zunehmendem Vorwissen auf einem Gebiet können Lernstrategien für Anfänger:innen sogar kontraproduktiv werden. Je mehr Wissen vorhanden ist, umso komplexer müssen dann die gestellten Aufgaben formuliert werden. (74)

2.5. Differentielles Lernen

Beim Training in Systemen mit hoher Variabilität gelangt das repetitive Training an seine Grenzen, da nicht alle möglichen Eventualitäten adäquat trainiert werden können. Das wiederholte Üben derselben Bewegung hat zudem mehrere Einschränkungen: Jeder Mensch besitzt einzigartige Bewegungscharakteristika, und selbst bei einer einzigen Person ist das Wiederholen ein und derselben Bewegung zu 100% nie möglich. Es werden immer kleine Unterschiede zwischen zwei Versuchen zu finden sein. Auf Basis dieser Beobachtungen formulierte der Sportwissenschaftler Wolfgang I. Schöllhorn 1999 das Konzept des differentiellen Lernens. (60)

Dieses Konzept sieht die Individualität der Übenden, dort „Fluktuationen“ genannt, als Möglichkeit, das Training (vornehmlich Leistungssport) zu optimieren. Das differentielle Lernen versucht, die Streuungsbreite der ausgeführten Bewegungen im Training durch das Einführen von „Rauschen“ und aktiven „Bewegungsfehlern“ zu vergrößern. Rauschen kann in Form von Störfaktoren eingesetzt werden, Bewegungsfehler werden aktiv vom Trainingspersonal angeleitet. Dabei soll den Lernenden die Möglichkeit gegeben werden, innerhalb aller ausgeführten Übungen ihr persönliches Optimum zu finden. Ein Beispiel für die von Trainer:innen eingeführten Bewegungsfehler und Rauschen kann Santos et al. entnommen werden, deren Trainingskonzept für Fußball in Abbildung 2 tabellarisch dargestellt ist. (75)

Durch dieses Konzept sollen auch Fähigkeiten der „Interpolation“ sowie der „Extrapolation“ trainiert werden (Abbildung 1). Die Interpolation beschreibt hier die Fähigkeit, auf Situationen zu reagieren, welche sich zwischen den geübten Maxima des Streuungsbereiches befinden. Die Extrapolation bezieht sich auf das Reagieren auf neue Reize, welche sich außerhalb des trainierten Bereiches befinden. (60, 76) Schöllhorn fasste sein Konzept folgendermaßen zusammen: „Durch differentielles Training lernt der Athlet, wie er auf was zu reagieren hat; er lernt, sich und seinen Körper in unmittelbarer Auseinandersetzung mit der Umwelt kennen und wird nicht Ausführender einer oft ‚fremden‘ Idee“. (60)



● Einzelne Trainingseinheit

Abbildung 1: Schematische Darstellung des Konzepts von Inter- und Extrapolation

Game-based variables	Typical SSG (control group)	Differential-learning SSG (experimental group)
Player's Number	Balanced (1 v 1, 2 v 2, 3 v 3)	Balanced and unbalanced (4 v 3, 2 v 1, 3 v 3, 4 v 5, 5 v 5)
Pitch	Sequential (from 1 v 1 to 5 v 5) Artificial turf Rectangle and square Small, medium, large Normal size Soccer ball Just one 1 to 4	Random variations Artificial turf and natural grass Rectangle, square, triangle, diamond, and circle Small, medium, large Smaller, normal-size, and larger-size. Soccer, tennis, handball, rugby, reflex ball, futsal, and fitball. One and two simultaneously 1 to 4
Targets	Small targets and 7 v 7 Stop ball, shot Final line of the pitch None None	Small targets (pop-up), 7-v-7 and 11-v-11 targets Stop ball, shot, pick the ball into a box In the final line, inside and out of the pitch Sticks, ropes, hoop, cones, tchoukball targets, and barriers Visual occlusion, hands behind head, both arms up, hands tied, rotating arms forward, hands on hips, play with 3D glasses, give touches with a tennis ball on the hand, juggling a balloon, elastic bands, bracelets, players connected with an elastic band Play with nondominant limb, with ankles, without trainers, in each ball contact improvise different types of technical skills
Field Obstacles	None	None
Body Constraints	Upper part of body	Lower part of body
Games Rules	Limited touches Add neutral players Full versus low pressure None	Double points if different passes, dribbles, or shoots were performed Divide the pitch into spaces and limit the specific space allowed to play. During the game, two or more types of the previous variations were combined.
Combinations		

Abbildung 2: Beispiel für ein Trainingsregime gemäß differentiellern Lernen (modifiziert nach Santos et al., 2018, S. 14). Abdruck mit freundlicher Genehmigung der Autorin und des Verlags.

Dieses Konzept konnte in den folgenden Jahren erfolgreich in verschiedenen Sportarten angewendet werden. Santos et al. konnten zeigen, dass sich differentielles Training positiv auf die Spielweise und Taktik von jugendlichen Fußballspielern (U13 und U15) auswirkt. In der Gruppe des differentiellen Trainings waren mehr Pässe erfolgreich, auch die Vielseitigkeit und Kreativität konnte im Vergleich zur Kontrollgruppe verbessert werden. Die Effekte waren jedoch bei den U15-Fußballern weniger stark ausgeprägt, was als Hinweis gewertet wurde, dass differentielles Training schon früh im Lernprozess eingesetzt werden sollte. (75) Der mit dem Alter abnehmende Lernvorteil konnte auch bei Vergleichen zwischen U15- und U17-Fußballern nachwiesen werden. (77)

Neben Fußballmannschaften verbesserte differentielles Training auch die Leistungen von Badminton-, Handball- und Basketballspieler:innen. (78-80) Neurophysiologische Studien mit Elektroenzephalogrammen (EEG) bei Proband:innen nach Trainingseinheiten konnten zudem zeigen, dass differentielles Training verglichen zu repetitiven Übungsformen neurophysiologisch mehr Hirnareale anspricht bzw. stimuliert. In den EEGs konnten außerdem Korrelate einer verstärkten Konsolidierung des motorischen Lernens bei differentiellem Training gezeigt werden. (79, 81)

Eine Transferleistung, von Schöllhorn als Extrapolation beschrieben, konnte im Rahmen des differentiellen Trainings von James et al. beobachtet werden: Proband:innen sollten in einem Trainingsprogramm üben, ihr physiologisches posturales Schwanken zu reduzieren, sie sollten quasi „stillhalten“. Durch das Training mit Bewegungsübungen konnte im nachfolgenden Test eine signifikante Verringerung der Schwankungen festgestellt werden. Proband:innen konnten also besser auf Situationen reagieren, die außerhalb ihres Trainingsumfangs lagen. (82)

Im medizinischen Rahmen konnte differentielles Training erfolgreich von Repšaitė et al. eingesetzt werden: Patient:innen in Rehabilitation nach einem Schlaganfall schnitten mit differentiellem Training in einem motorischen Funktionstest besser ab als Patient:innen mit konventioneller Ergotherapie. (83) Diese Ergebnisse unterstreichen die ursprüngliche Theorie Schöllhorns, dass durch differentielles Training die Lernenden durch variierte Übungen ihr persönliches Optimum finden können. (60)

2.6. Bekannte Störfaktoren im medizinischen Umfeld

Reale und simulierte Szenarien einer Reanimation werden von einem Großteil der beteiligten Fachkräfte als stressig empfunden. (84) Neben dem subjektiven Empfinden

steigen auch physiologische Marker akuten Stresses in solchen Situationen an. Die Implikationen dieses Stresses auf die Performance als Team oder Einzelperson sind jedoch nicht eindeutig geklärt. (85) Zudem sind neben der grundsätzlichen situativen Belastung mehrere externe Faktoren mit einer zusätzlichen Erhöhung des Stresslevels assoziiert. Aktive Ablenkung von reanimierenden Personen führte in Simulationen zu einer signifikant schlechteren Entlastung und höheren Kompressionsfrequenz bei der HDM. (86)

Umgebungslärm ist zum Beispiel in Simulationen mit einer reduzierten Kommunikationsleistung innerhalb des Reanimationsteams assoziiert, welche wiederum die fachliche Performance der Gruppe negativ beeinflusst. (87) Folscher et al. konnten zeigen, dass Mediziner:innen Prüfungsaufgaben unter der Geräuschkulisse einer Notaufnahme schneller absolvierten als in einem ruhigen Umfeld. Die Prüfungsergebnisse beider Gruppen waren vergleichbar, jedoch gaben über 80% der Betroffenen ein Gefühl von Druck und verminderter Konzentration im lauten Umfeld an. (88)

Die Präsenz von Familienangehörigen während der Notfallversorgung hingegen scheint kein potenter Stressor zu sein. Es besteht zwar die Befürchtung, dass Familienangehörige eine Ablenkung darstellen könnten (89), dennoch konnte in mehreren Untersuchungen im (prä-)klinischen Setting keine Beeinflussung des medizinischen Outcomes oder der Teamperformance nachgewiesen werden. (90, 91) Selbst „fordernde“ Angehörige beeinflussen simulierte Reanimationsszenarien nicht nachhaltig, obwohl die Rettungskräfte von einem höheren Stresslevel berichten. (92)

Im Rahmen der SARS-CoV-2-Pandemie konnte auch gezeigt werden, dass das Tragen von persönlicher Schutzausrüstung (PSA) als Störfaktor betrachtet werden muss. Das Tragen einer PSA bei der Durchführung einer HDM führte in Simulationstrainings zu einer verfrühten Ermüdung und Erschöpfung der Durchführenden. (93-95) Eine Beeinträchtigung von Drucktiefe und Entlastung beim Tragen von PSA konnte bei Assistenzärzt:innen gezeigt werden (96), bei Sanitäter:innen jedoch nicht. (97)

2.7. Ausbildung der Studierenden in Erster Hilfe und Reanimation

Die notfallmedizinische Ausbildung von Medizinstudierenden an der Charité – Universitätsmedizin Berlin ist in drei Abschnitte unterteilt: Im ersten Semester erhalten

die Studierenden in den ersten vier Wochen eine Schulung in Erster Hilfe, welche eine Äquivalenzleistung zum Besuch eines Erste-Hilfe-Kurses darstellt. Im sechsten Semester werden die Studierenden an erweiterte Maßnahmen in der Notfallmedizin herangeführt, die dort erworbenen Fertigkeiten werden abschließend im zehnten Semester in einer fokussierten Woche mit dem theoretischen Wissen in Simulationen und Praktika zusammengeführt.

Im ersten Fachsemester werden die Inhalte auf fünf Praktika verteilt, von denen sich ein Termin ausschließlich mit dem BLS am Erwachsenen beschäftigt. Dieses Format wird normalerweise von Studierenden des sechsten Fachsemesters im Peer-Teaching-Format unterrichtet. Die Studierenden sollten am Ende dieser Lerneinheit lebensrettende Sofort- und Erste-Hilfe-Maßnahmen bei bewusstlosen Patient:innen nach den aktuellen europäischen Leitlinien durchführen können. Außerdem sollen sie den Gebrauch eines AEDs, das Absetzen eines Notrufs sowie die Überprüfung von Vitalfunktionen demonstrieren können. (98)

2.8. Ziele und Fragestellung

Bisher wurde das Konzept des differentiellen Lernens in der ärztlichen Ausbildung nicht erprobt. Externe, potenziell störende Reize können in BLS-Trainings oftmals schwer nachgestellt oder simuliert werden. Gleichzeitig konnte jedoch gezeigt werden, dass die Güte der HDM sinkt, sobald die ausführende Person durch Faktoren oder Aufgaben von der HDM abgelenkt wird. (86) Differentielles Training könnte hier nachhaltig zu einer besseren Vorbereitung der Studierenden auf Notfallsituationen im klinischen Alltag beitragen.

In dieser Studie soll daher der Einfluss des differentiellen Lernens auf die Tendenz der Teilnehmenden, durch externe Faktoren von einer suffizienten HDM abgelenkt zu werden, untersucht werden. Daraus ergeben sich folgende Fragestellungen:

2.8.1. Compression fraction zur Abschlusstestung

Durch das differentielle Lernen sollen die Studierenden besser auf störende Einflüsse in der Reanimation vorbereitet werden. Diese Annahme wird in der Abschlusstestung durch das Einführen eines neuen, unbekanntem Störfaktors überprüft. Die gerichtete Alternativhypothese besagt, dass Studierende, die nach den Prinzipien des differentiellen Lernens trainiert wurden, in der Abschlusstestung die Herzdruckmassage signifikant

weniger unterbrechen als konventionell trainierte Studierende, gemessen anhand der compression fraction (primärer Endpunkt).

2.8.2. Weitere HDM-Parameter zur Abschlusstestung

Neben der compression fraction könnte das differentielle Lernen auch die Güte der Herzdruckmassage während der Exposition mit einem neuen Störfaktor verbessern. Hierfür werden Parameter der HDM abseits der compression fraction (u.a. Wertung HDM, Drucktiefe, Entlastung, Frequenz) in der Abschlusstestung zwischen den Studiengruppen analysiert. Die Alternativhypothese lautet hier, dass Studierende, die mit differentiellem Lernen trainiert wurden, bei Konfrontation mit einem neuen Störfaktor die HDM leitlinienkonformer bzw. qualitativ hochwertiger durchführen als konventionell trainierte Studierende (sekundäre Endpunkte).

2.8.3. Entwicklung der HDM-Fertigkeiten im Verlauf

Durch ein engmaschiges Training alle drei Monate ist anzunehmen, dass die Teilnehmenden ihre Fertigkeiten in der HDM verbessern werden. Dafür werden Parameter zur HDM in jedem Training aufgezeichnet, um eine Verlaufskontrolle durchzuführen. Hier lautet die Alternativhypothese, dass die Teilnehmenden der Studie ihre Fertigkeiten von der ersten Testung bis zur letzten Verlaufstestung vor der Abschlusstestung verbessern werden.

Hierbei werden Analysen für die gesamte Studienkohorte und jede Studiengruppe einzeln durchgeführt. Durch die fokussierte Analyse einzelner Gruppen sollen eventuelle Effekte des differentiellen Lernens auf den Lernprozess untersucht werden.

2.8.4. Persönliche Einflussfaktoren der Herzdruckmassage

Um weitere Einflussfaktoren auf die Herzdruckmassage zu untersuchen, werden die Leistungen zur ersten, vorletzten und letzten Testung explorativ bezüglich des Einflusses von körperlichen Determinanten untersucht. Zudem wird hier der Einfluss von sportlicher Aktivität und medizinischer Vorerfahrung analysiert.

3. Methoden

3.1. Studiendesign

Diese Studie war als prospektive Interventionsstudie in der Ausbildungsforschung mit vier Interventionsarmen und einer Kontrollgruppe konzipiert. Studierende des ersten Fachsemesters wurden im Sommersemester 2020 offen zur Teilnahme an einer Studie zum BLS rekrutiert. Alle Teilnehmenden gaben ihr Einverständnis, ein positives Votum der Ethikkommission der Charité - Universitätsmedizin Berlin zur Durchführung der Studie lag vor (EA4/105/20). Die Studie wurde zudem im deutschen Register für klinische Studien registriert (DRKS00024878). Ein Datenschutzkonzept wurde in Kooperation mit dem Geschäftsbereich Datenschutz und Governance der Charité erstellt.

Der Studienablauf ist schematisch der Abbildung 3 zu entnehmen. Studierende wurden nach offener Rekrutierung zu einem Trainingstermin in das Skills Lab der Charité (Lernzentrum) eingeladen. Dort absolvierten sie einen einstündigen Termin, welcher aus der Abfolge von „Testung – Refresher – Training“ bestand. Die Testung diente der Erhebung einer individuellen Baseline. Die Teilnehmenden wurden hierzu einzeln in den Raum gebeten und mussten an einem Trainingssimulator für drei Minuten eine HDM ohne Beatmungen (compression-only CPR) durchführen. Der in Realität vorher notwendige diagnostische Algorithmus zur Feststellung eines Kreislaufstillstandes wurde nicht geprüft, da der Fokus auf der Qualität der praktischen Durchführung der HDM lag. Nachdem bis zu vier Teilnehmende pro Termin einzeln getestet wurden, erhielten diese in der Gruppe Feedback zu ihren Leistungen und eine kurze Theorie-Wiederholung zu verschiedenen Themen aus dem Bereich BLS und Erster Hilfe. Diese Einheit dauerte (abhängig vom Thema) 15 bis 20 Minuten. Anschließend führten die Studierenden ein dreiminütiges Training in Herzdruckmassage an der bereits eingangs verwendeten Trainingspuppe durch. In dieser Trainingssitzung wurden die Teilnehmenden entsprechend ihrer Studiengruppe einem randomisierten Störfaktor (Interventionsgruppen) bzw. keinem Störfaktor (Kontrollgruppe) ausgesetzt. Es trainierten immer nur Studierende der gleichen Studiengruppe miteinander. In diesem Training trainierten jeweils ein bis zwei Personen parallel an den verfügbaren Simulatoren. Die Teilnehmenden erhielten nach diesem Training ebenfalls ein Feedback.

Der oben beschriebene Termin wurde für alle Teilnehmenden in einem Drei-Monats-Rhythmus für insgesamt vier Durchgänge wiederholt, zu Studieneinschluss wurden

zudem demografische Daten mittels eines Fragebogens erhoben. Der Fragebogen umfasste Angaben zu Geschlecht, Alter, Körpergröße und -gewicht, Vorerfahrungen im notfallmedizinischen Bereich, Ausmaß der persönlichen sportlichen Aktivität und etwaigen körperlichen Einschränkungen, welche die Person bei der Ausübung der Reanimation behindern könnten.

Zum fünften Termin (zwölf Monate nach Einschluss) wurden die Teilnehmenden lediglich zu einer letzten Testung über drei Minuten gebeten, wiederum HDM ohne Beatmungen. Nach 90 Sekunden wurde hierbei ein für alle Teilnehmenden neuer Störfaktor in Form einer ins Zimmer stürmenden Oberärztin bzw. Oberarztes eingeführt, und die Reaktion der Studierenden auf die Störung wurde beobachtet (siehe auch *3.4 Abschlusstestung*). Nach gesamt 180 Sekunden Reanimation wurde die abschließende Testung beendet.

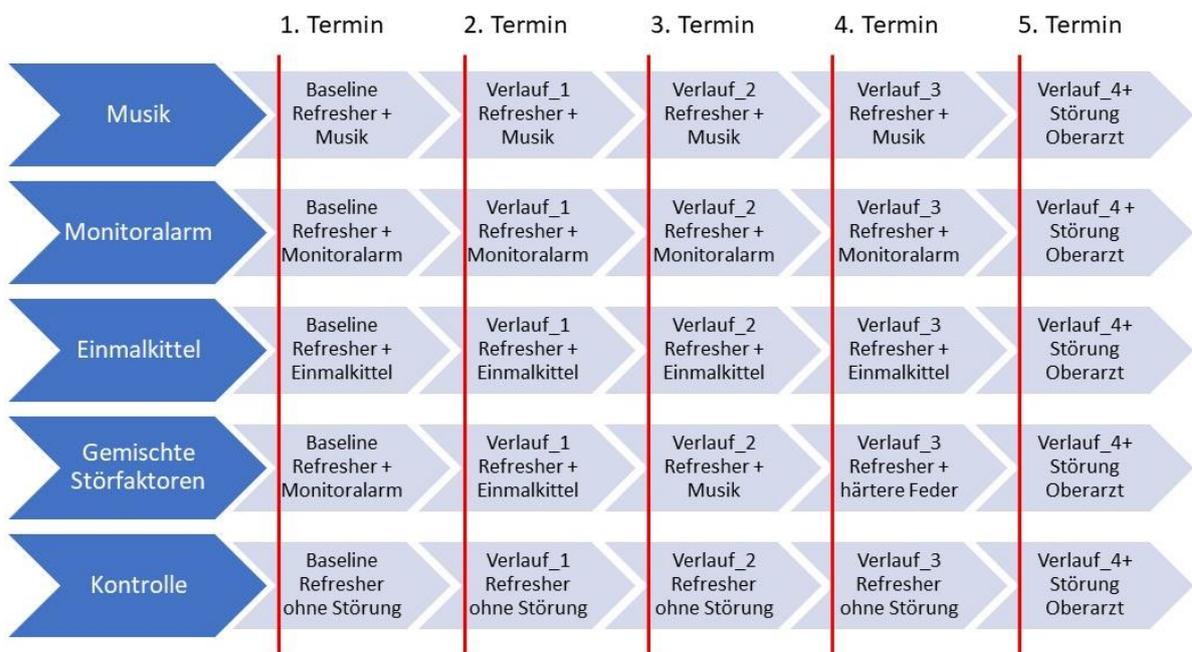


Abbildung 3: Schematische Darstellung des Studiendesigns

3.2. Wahl der Störfaktoren

Studiengruppen wurden in der Planung anhand der zugeordneten Störfaktoren definiert (siehe Abbildung 3). Die Teilnehmenden wurden diesen Störfaktoren im Training konstant von Anfang bis Ende der Herzdruckmassage ausgesetzt.

- Gruppe 1 = laute Musik (mit einer Frequenz > 160 Schlägen pro Minute)
- Gruppe 2 = kontinuierlicher Krisenalarm eines Patientenmonitors
- Gruppe 3 = Tragen eines virendichten Einmalkittels

- Gruppe 4 = keine Störfaktoren als Kontrollgruppe
- Gruppe 5 = ein pro Trainingstermin alternierender Störfaktor

Studierenden aus Gruppe 1 wurde bei jedem Training das Musikstück „Take on me“ von a-ha eingespielt, welches eine Frequenz von 168 beats per minute (bpm) besitzt. (99) In der Ausbildung von Reanimationsmaßnahmen ist die Verwendung von Musik als Gedächtnisstütze zum Einhalten der korrekten Kompressionsfrequenz weit verbreitet und praktikabel. (42, 100) Musikstücke wie beispielsweise „Highway to Hell“ (116 pm), „Yellow Submarine“ (111 bpm) oder „Stayin‘ Alive“ (103 bpm) sind hierfür besonders geeignet, da sie den Rhythmus der Kompressionsrate aufnehmen. (101-104) Um eine Ablenkung der Teilnehmenden zu erreichen, wurde für die Studie bewusst ein Musikstück mit einer Frequenz außerhalb des empfohlenen Bereiches von 100 – 120 bpm ausgewählt.

Studierenden der Gruppe 2 wurde im Training ein kontinuierlicher Krisenalarm durch Simulations-Patientenmonitore eingespielt. Mit diesem Alarm sollte die Geräuschkulisse eines Notfalles auf einer Intensivstation realitätsnah nachgestellt werden. Hierfür kamen Simulatoren der Firmen Laerdal Medical (Laerdal Patient Monitor, Version 8.0.0.25, Laerdal Medical SA, Stavanger, Norwegen) und TruMonitor (TruMonitor App for iOS, Version 3.4.4, TruCorp, Craigavon, Nordirland) zum Einsatz.

In Gruppe 3 wurde das Tragen eines virendichten Einmalkittels als Störfaktor gewählt. Durch diesen sollten die Studierenden einer höheren Wärmebelastung ausgesetzt werden, Bewegungseinschränkungen durch den Kittel sollten zudem ablenkend wirken.

Studierende der Gruppe 5 mit alternierenden Störfaktoren bekamen an ihrem ersten Termin einen Monitoralarm, zum zweiten einen Einmalkittel, zum dritten Termin Musik und zum vierten Termin Simulatoren mit einer härteren Kompressionsfeder als Störfaktor zugewiesen. Alle bis zu diesem Zeitpunkt verwendeten Simulatoren besaßen eine „retrosternale“ Kompressionsfeder, für welche eine Kraft² von 50 kg (48 kg ± 15%) aufgebracht werden musste, um die vom ERC empfohlene Drucktiefe von mindestens 50 mm zu erreichen. (42, 105) Die Federstärken basierten auf klinischen Studien und Messungen, welche erforderliche Kräfte in der HDM extrapoliert haben. Für einen durchschnittlichen europäischen Menschen wurde eine durchschnittliche Kraft von 40 kg

² Zur besseren allgemeinen Verständlichkeit werden nachfolgend Massen als Gewichtskraft dargestellt. Physikalisch sind zur Berechnung der gegen die Federsteifigkeit aufgebrauchten Kräfte die Massen mit der Erdbeschleunigung ($g = 9,81 \text{ m/s}^2$) zu multiplizieren.

errechnet, um eine suffiziente Drucktiefe in der HDM zu erreichen. Für die Subpopulation der männlichen Patienten betrug die erforderliche Kraft 50 kg. (106) Zu besagtem vierten Termin wurde die Messung eingangs weiterhin mit einer Standard-Feder (50 kg) durchgeführt, im Training unter Störfaktoren übten die Studierenden an Simulatoren, in denen eine Feder mit 60 kg Federstärke verbaut war.

3.3. Datenerhebung

Studierende des ersten Fachsemesters erhielten im Sommersemester 2020 im Rahmen ihres curricularen Unterrichts ein Training zur Basisreanimation erwachsener Patient:innen. Dieses Praktikum wurde in den vorherigen Semestern im Peer-Teaching-Format durch Studierende des sechsten Fachsemesters gehalten. Im Studienzeitraum musste dieses Konzept wegen infektiologischen Bedenken verlassen werden. Die Teilnehmenden der Studie wurden von Ärzt:innen unterrichtet, um den Kontakt zwischen Semesterkohorten zu minimieren.

Aufgrund der SARS-CoV-2-Pandemie und den damit verbundenen Einschränkungen im Präsenzunterricht im Studium war ein großer Teil der Zielgruppe nicht durchgängig im Studienzeitraum in Berlin erreichbar. Deshalb wurden Proband:innen nach ihrem curricularen BLS-Unterricht in zwei Rekrutierungsterminen eingeschlossen, Anfang August und Ende Oktober 2020. Zu diesen Terminen erhielten die Kohorten getrennte Kurse, im März und Mai 2021 konnten beide Kohorten aus den gleichen angebotenen Terminen wählen. Studierende der Studiengruppe mit alternierenden Störfaktoren erhielten nach Randomisierung keine gruppenspezifischen Termine, sondern absolvierten ihre Trainings jeweils zusammen mit Studierenden des für diesen Termin zugewiesenen Störfaktors. Der letzte Trainingstermin der Gruppe mit alternierenden Störfaktoren stellte hier eine Ausnahme dar, nachdem hier ein Simulator mit einer verringerten Compliance des knöchernen Thorax als Störfaktor benutzt wurde.

Trainings im Juli/August 2021 wurden wieder getrennt nach Kohorten durchgeführt, nachdem die Kohorte August ihre Abschlusstestung von drei Minuten absolvierte, während die Kohorte Oktober noch ein Training wie vorbeschrieben besuchen musste. Die finalen Erhebungen der zweiten Kohorte wurden Anfang November 2021 durchgeführt.

Auch musste wegen der Pandemielage das geplante Follow-Up Ende Januar 2021 modifiziert werden, da keine Präsenztermine in der Charité stattfinden durften. Um

dennoch eine wiederkehrende Wissensvermittlung zu gewährleisten, wurden seminaristisch gestaltete Online-Termine Ende Januar angeboten, dieses Angebot wurde von 99 Teilnehmer:innen angenommen. Nach Aufhebung einiger Beschränkungen konnte im März der Termin in Präsenz nachgeholt werden. Diese Termine wurden analog zu den in Präsenz stattfindenden Prüfungen geplant (bei denen eine Anwesenheit in Berlin erforderlich war), um unnötige Reisen unter den Studierenden zu vermeiden.

Im Mai 2021 wurde die ursprünglich geplante Abfolge der Termine wieder aufgenommen.

3.4. Abschlusstestung

Ende Juli 2021 wurde die Kohorte August zur Abschlusstestung gebeten. Diese fand in einem bisher für die Studie nicht genutzten Raum statt, der dem Patientenzimmer einer Bettenstation nachempfunden war. In einer Ecke dieses Raumes lag ein Simulator am Boden, es sollte der Anschein erweckt werden, dass die betreffende Person gerade aus dem Bett aufgestanden und anschließend unbemerkt kollabiert sei. Die Studierenden wurden einzeln aus einem abgetrennten Warteraum abgeholt und mit folgender Aufgabenstellung konfrontiert:

„Sie werden von der Stationsärztin in Zimmer 15 geschickt, dort liegt Herr Michael. Sie werden gebeten, bei Herrn Michael eine Anamnese zu erheben, im Raum liegt nur ein einziger Patient. Tätigen Sie alle Handlungen, die Sie für richtig erachten. Das Szenario wird mit den Worten „Danke, Sie können wegtreten“ und nur durch das Studienpersonal beendet.“

Nachdem die Studierenden den Raum betraten, arbeiteten sie ohne weitere Hinweise oder Hilfestellungen den Algorithmus für BLS am Erwachsenen ab und begannen nach ca. 20 – 30 Sekunden mit der HDM. Nach 60 – 90 Sekunden HDM betrat eine bis dahin den Studierenden unbekannt Person den Raum, die sich mit folgenden Worten als Oberärztin bzw. Oberarzt der Kardiologie vorstellte:

„Guten Tag, ... mein Name, Oberärztin/Oberarzt der Kardiologie. Was ist denn hier los? Wie heißt der/die Patient:in denn?“

Anschließend wurde auf die Reaktion der Studierenden gewartet und auf diese wie folgt reagiert:

„Okay, machen Sie hier weiter. Ich hole die Kolleg:innen und das Material.“

Die Oberärztin bzw. der Oberarzt wurde in seinem Verhalten neutral konzipiert, sie/er sollte den Studierenden weder zu viel Hilfe bieten, noch ihnen Angst machen. Durch eine Modellierung möglichst nahe am klinischen Alltag sollte eine Situation entstehen, in welcher die aufgestellten Hypothesen unter realistischen Bedingungen getestet werden können. Nach dem etwa 30 bis 45 Sekunden dauernden Auftritt des Störfaktors wurde das Szenario bis zur Vollendung der 180. Sekunde die HDM fortgeführt, bevor die Simulation beendet wurde. Den Studierenden wurde für ihre Mitarbeit über die vergangenen zwölf Monate gedankt und sie wurden verabschiedet. Nach dem Termin im Juli wurden die Abschlusstestungen Ende Oktober 2021 für die Kohorte aus Oktober 2020 fortgesetzt, die letzte Abschlusstestung fand am 03.11.2021 statt.

3.5. Outcome-Parameter

Exportierte Parameter der Simulatoren umfassten neben Datum und Uhrzeit der Trainingssession folgende Parameter:

Primärer Endpunkt

- Compression fraction der Trainingseinheit in %

Sekundäre Endpunkte

- Gesamtwertung und Wertung der HDM in %
- Durchschnittliche Drucktiefe der Kompressionen in Millimetern
- Durchschnittliche Kompressionsfrequenz in Kompressionen/Minute
- Anteil der Kompressionen mit korrekter Drucktiefe in %
- Anteil der Kompressionen mit korrekter Entlastung in %
- Anteil der Kompressionen mit korrektem Druckpunkt in % (hier Punktabzug bei zu kaudalem Druckpunkt)
- Durchschnittliche Unterbrechungsdauer in Sekunden

Zur Abschlusstestung wurde ein Reanimationssimulator verwendet, welche zudem für diesen Termin die Auswertung von zwei weiteren Parametern ermöglichte:

- verbleibende Drucktiefe bei Abschluss der Entlastungsphase in Millimetern
- durchschnittliche Länge der bei jeder Kompression zurückgelegten Strecke (relative Drucktiefe) in Millimetern

3.6. Reanimationssimulatoren

Parameter zur Qualität der HDM wurden bei allen Teilnehmenden automatisiert durch Laerdal Resusci Anne Simulator- und Laerdal Resusci Anne QCPR-Puppen (Laerdal Medical SA, Stavanger, Norwegen) aufgezeichnet.

Prozentwerte für die Wertung der Drucktiefe, Entlastung und des Druckpunktes wurden von der simulatoreigenen Software binär berechnet: Falls eine Kompression die jeweils empfohlenen Bereiche (Drucktiefe 50 – 60 mm, Entlastung < 5 mm, Druckpunkt über der unteren Hälfte des Sternums) erreichte, wurde diese als erfolgreich registriert. Die Prozentwerte errechneten sich aus dem Anteil der Kompressionen im Zielbereich an der Gesamtheit aller in der Session durchgeführten Kompressionen.

Die Prozentwerte der compression fraction beschreiben den Anteil der Reanimationszeit, in dem eine HDM stattgefunden hat. Abzüge hierbei würden durch Unterbrechungen für beispielsweise Beatmung, Helfer:innenwechsel oder Defibrillation entstehen. Eine komplett unterbrechungsfreie Reanimation würde folglich eine Wertung von 100% erreichen.

Die Anzahl der getätigten Kompressionen und Daten zu etwaigen Unterbrechungen während der HDM (Anzahl, durchschnittliche Länge und Dauer der längsten Unterbrechung in Sekunden) sowie Parameter zu Beatmungen wurden ebenfalls exportiert. Bewertungen von Beatmungsversuchen wurden aufgrund des Studiendesigns bereits durch vorausgewählte Algorithmen in der Software als nicht bewertet gespeichert und bei der Auswertung nicht beachtet. Durch die HDM ohne Beatmungen entsprachen sich auch die Gesamtwertung und die Wertung für HDM; erstere stellt eine kombinierte Kennzahl aus Thoraxkompressionen und Beatmungen dar. Aufgrund der resultierend identen Messwerte für Gesamtwertung und HDM-Wertung wurde zur Verhinderung von Redundanzen und zur eindeutigen Verständlichkeit nur die Wertung der HDM in die statistische Analyse aufgenommen.

Der Export der gewonnenen Datensätze geschah bei Laerdal Resusci Anne Simulator-Puppen (Software-Version 8.0.0.25) durch Umschreiben der generierten Datensätze auf dem Steuerungspad in Microsoft Excel-Tabellen (Microsoft Office 365, Redmont, WA: Microsoft Corp.).

Daten aus Laerdal Resusci Anne QCPR-Puppen wurden mithilfe einer App (Resusci Anne Skillmeter, Version 1.4.1, Stavanger, Norwegen: Laerdal Medical SA) auf einem iPad (Apple iPad mini 5. Generation, Cupertino, CA: Apple Inc.), welches per Bluetooth mit den Trainingsgeräten verbunden war, aufgezeichnet. Hier konnten abgespeicherte Ergebnisse im .csv-Format aus der App exportiert und in Excel-Tabellen eingepflegt werden.

3.7. Statistische Auswertung

Primärdaten aus den Simulatoren wurden in Microsoft Excel bearbeitet. Die Auswertung der Datensätze erfolgte mithilfe des Statistical Package for the Social Sciences (IBM SPSS Statistics for Windows, Version 28.0. Armonk, NY: IBM Corp.).

Die Testzeitpunkte wurden zur statistischen Auswertung aufsteigend durchnummeriert: Nachdem jeder Termin bis zur Abschlusstestung zwei Datenaufzeichnungen beinhaltete, wurden die Zeitpunkte mit T1 bis T8 durchnummeriert, ungerade Zeitpunkte signalisieren die Testungen zur Verlaufskontrolle und gerade Zeitpunkte wurden während des Trainings unter Störfaktoren aufgezeichnet. T9 ist der letzte Zeitpunkt und bezieht sich folglich auf die Abschlusstestung, an der wie bereits beschrieben nur eine Aufnahme erfolgte.

Nominal kodierte Variablen wurden in Anzahl und Anteil an der Gesamtheit angegeben, kontinuierliche Parameter wurden als Median (Md) und Interquartilabstand (IQR) berichtet. Die Angaben auf dem beim ersten Termin verteilten Fragebogen wurden bezüglich medizinischer Vorerfahrung und sportlicher Aktivität binär codiert: Jegliche positive Antwort auf diese Fragen wurde, ungeachtet ihres Kompetenzlevels bei medizinischer Vorerfahrung bzw. der Dauer des ausgeübten Sports, als positiv gewertet, eine negative Beantwortung wurde bei keiner Angabe zu diesen Fragen registriert.

Die Häufigkeiten nominal verteilter Variablen wurden mit dem Pearson-Chi-Quadrat-Test analysiert, zur Prüfung des primären Endpunktes wurde der Mann-Whitney-U-Test verwendet. Der Vergleich aller Studiengruppen zum Zeitpunkt der letzten Testung erfolgte mithilfe des Kruskal-Wallis-Tests, signifikante p-Werte dabei wurden post-hoc durch einen Dunn-Bonferroni-Test näher spezifiziert. Um bei der post-hoc-Untersuchung einen Fehler erster Art durch die vermehrte Testung zu vermeiden, wurden die Signifikanzen in der nachträglichen Auswertung nach der Bonferroni-Korrektur adjustiert.

Aufgrund des Studiendesigns wurden zur Analyse der Leistung der Studierenden in Bezug auf den Erfolg des differentiellen Lernens die Daten aus der Abschlusstestung (T9) verwendet. Für die Bewertung der Leistungsentwicklung wurden die Daten des Termins nach neun Monaten (T7) verwendet, da dieser Zeitpunkt die letzte standardisierte und ungestörte Verlaufstestung darstellte.

Zur Analyse von persönlichen Einflussfaktoren auf eine suffiziente HDM wurden anhand der Daten von T1, T7 und T9 lineare Regressionen berechnet.

Untersuchungen zur Entwicklung der Ergebnisse der HDM der Gruppen wurden anhand der Datensätze der Testungen T1, T3, T5 und T7 durchgeführt. Hierzu wurde der Friedman-Test verwendet, Analysen wurden sowohl für die gesamte Kohorte wie auch für jede Studiengruppe einzeln vorgenommen. Signifikante Unterschiede wurden auch hier mittels Dunn-Bonferroni-Test durch paarweise Vergleiche mit adjustierten Signifikanzgrenzen näher beschrieben. Bei statistisch signifikanten Unterschieden in den post-hoc-Untersuchungen wurde außerdem die Effektstärke nach Cohen r berechnet. (107)

Zur Analyse des Einflusses persönlicher Einflussfaktoren wurden multiple lineare Regressionen berechnet. Hier wurden Ausreißer durch eine Abweichung größer als drei Standardabweichungen definiert, des Weiteren wurden studentisierte ausgeschlossene Residuen, Hebelwerte und Cook-Distanzen zum Ausschluss einzelner Datensätze evaluiert. Auf Auto-Korrelation wurde mittels Durbin-Watson-Statistik kontrolliert, Multikollinearität wurde durch die Pearson-Korrelation und den variance influence factor ausgeschlossen. Homoskedastizität der Residuen wurde grafisch kontrolliert. (108)

Alle weiteren Variablen wurden bezüglich der verschiedenen Interventions- und der Kontrollgruppen zu den jeweils verschiedenen Zeiten deskriptiv ausgewertet. Weiterführende Analysen und deren Ergebnisse wurden nicht-konfirmatorisch, explorativ interpretiert.

Statistische Signifikanz wurde bei einem 95-prozentigen Konfidenzintervall ($p < 0,05$) festgelegt und wird bei Erreichen in der Arbeit explizit erwähnt. Nicht angegebene p -Werte sind als insignifikante Ergebnisse zwischen den Gruppen anzusehen.

Zur Fallzahlenberechnung wurde der Parameter der compression fraction an T9 als primärer Endpunkt definiert. Basierend auf Daten von McCoy et al. (64) wurde vor

Rekrutierung der Teilnehmenden eine Fallzahlenplanung in Kooperation mit dem Institut für Biometrie und klinische Epidemiologie der Charité durchgeführt. Unter der Annahme eines klinisch signifikanten Effektes bei einer Differenz von 5% in der compression fraction zwischen Interventions- und Kontrollgruppe und Einberechnung einer Drop-Out-Rate von 10% wurde eine Gruppengröße von mindestens 33 Personen festgestellt, um eine 80-prozentige Power zu erreichen.

Die Satzung der Charité – Universitätsmedizin Berlin zur Sicherung der guten wissenschaftlichen Praxis wurde bei der Durchführung der Studie beachtet. Vor Beginn der Durchführung wurde zudem vom Promovenden eine Schulung zu den Prinzipien der guten wissenschaftlichen/klinischen Praxis besucht.

4. Ergebnisse

4.1. Anwesenheit

Zu den beiden Einschulsterminen wurden insgesamt 120 Studierende in die Studie aufgenommen, von denen 96 Teilnehmer:innen die Abschlusstestung (T9) absolvierten. Aufgrund des reduzierten Präsenzunterrichts im Wintersemester 2020/2021 schwankte die Anwesenheit bei den Messpunkten T3, T5 und T7. So erschienen etwa nur 89 Studierende zum zweiten und dritten Termin, der vierte Termin wurde lediglich von 88 Teilnehmer:innen wahrgenommen. Die genaue Verteilung der anwesenden Studierenden über die Termine und Studiengruppen ist in Abbildung 4 schematisch dargestellt, aufgrund der zum Studienzeitpunkt vorherrschenden Pandemiebedingungen konnte die vorab geplante Fallzahl in keiner Gruppe erreicht werden.

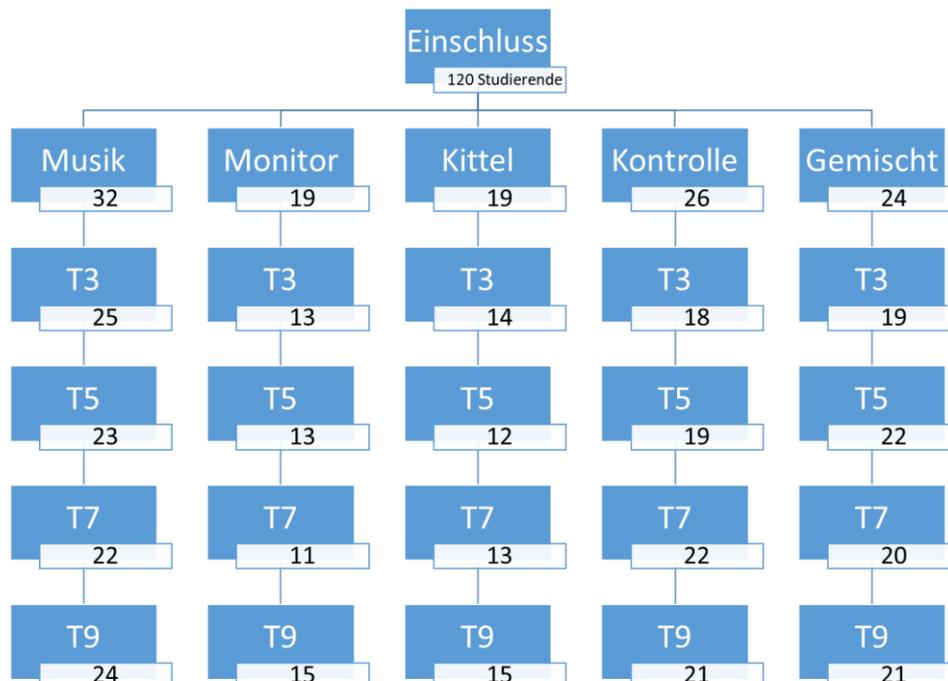


Abbildung 4: Anwesenheitszahlen zu allen Testungen

4.2. Studienkollektiv

Studierende der untersuchten Kohorte waren im Median 21 Jahre alt. Zwischen den Gruppen konnte ein signifikanter Unterschied im Alter der Teilnehmenden gefunden werden ($p = 0,028$). Post-hoc zeigte sich ein signifikanter Unterschied im Alter zwischen den Gruppen Kittel (Md = 23 Jahre) und Gemischt (Md = 20 Jahre) ($p = 0,018$). Der Body-Mass-Index (BMI) war über alle Gruppen vergleichbar und zeigte keine signifikanten Unterschiede, genauso konnten keine signifikanten Unterschiede in der

Geschlechterverteilung gefunden werden. Zudem war die Häufigkeit von Studierenden mit medizinischer bzw. mit regelmäßiger sportlicher Aktivität zwischen den Gruppen vergleichbar. Keine teilnehmende Person gab gravierende körperliche Hindernisse an, die sie bei der Ausübung einer Herzdruckmassage behindert hätte. Messwerte können Tabelle 1 entnommen werden.

	Musik (n = 32)	Monitor (n = 19)	Kittel (n = 19)	Kontrolle (n = 26)	Gemischt (n = 24)	p- Wert
Alter (Jahre)	21 (20-24)	21 (20-25)	23 (21-27)*	20 (19-23)	20 (19-22)*	0,028
BMI (kg/m ²)	22,7 (21,0- 23,5)	22,7 (21,3- 25,8)	21,2 (19,5- 23,6)	22,0 (20,6- 23,9)	21,8 (20,5- 25,6)	0,449
Geschlecht	♂ 37,5% ♀ 62,5%	♂ 36,8% ♀ 63,2%	♂ 15,8% ♀ 84,2%	♂ 19,2% ♀ 80,8%	♂ 16,7% ♀ 83,3%	0,190
Medizinische Vorerfahrung (ja)	13/32 (40,6%)	12/19 (63,2%)	8/19 (42,1%)	13/26 (50,0%)	10/24 (41,7%)	0,548
Sportliche Aktivität (ja)	28/32 (87,5%)	14/19 (73,7%)	12/19 (63,2%)	20/26 (76,9%)	21/24 (87,5%)	0,220

Tabelle 1: Demografische Daten der Gruppen

* = $p < 0,05$

4.3. Baseline-Testung (T1)

Die Leistungen der Studierenden zur ersten Testung dienten als Baseline für die Beobachtung des Lernfortschrittes im Verlauf (Tabelle 2). Die Bewertung der Herzdruckmassage sowie die durchschnittliche Drucktiefe unterschieden sich nicht signifikant voneinander. Die Wertungen für Drucktiefe (%) und Entlastung (%) zeigten große Streuungen, Unterschiede zwischen den Gruppen waren bei beiden Parametern nicht signifikant. Die Kompressionsfrequenz der Studierenden war im Schnitt bei allen Gruppen zu hoch, wiederum waren die Unterschiede statistisch nicht signifikant. Auch bei der Wertung des Druckpunktes waren keine Signifikanzen zu beobachten.

	Musik (n = 32)	Monitor (n = 19)	Kittel (n = 19)	Kontrolle (n = 26)	Gemischt (n = 24)	p-Wert
Wertung HDM (%)	75 (42-95)	64 (40-98)	64 (42-82)	77 (28-92)	46 (7-78)	0,177
Drucktiefe (mm)	54 (49,9-59)	59 (42,7-63)	52,4 (45-56,7)	54,5 (43,7-59)	50 (45-56,6)	0,119
Drucktiefe (%)	72 (30-98)	71 (5-100)	69 (27-89)	60 (14-77)	49 (26-88)	0,797
Entlastung (%)	67 (26-100)	77 (38-99)	72 (48-99)	92 (55-100)	56 (21-100)	0,822
Frequenz (bpm)	122 (113-127)	122 (117-135)	125 (117-134)	122 (111-128)	130 (113-138)	0,259
Druckpunkt (%)	100 (63-100)	100 (96-100)	100 (100-100)	100 (97-100)	99 (29-100)	0,121

Tabelle 2: detaillierte Messwerte zur Baseline-Testung (T1)

4.4. Primärer Endpunkt: compression fraction (T9)

4.4.1. Compression fraction (%) zwischen Musik und Kontrolle

Zur Abschlusstestung erreichten die Gruppe Musik und die Kontrollgruppe eine vergleichbare compression fraction, (Median 100%, IQR 97-100 vs. 100%, IQR 98-100; $p = 0,228$). Die Nullhypothese, wonach sich der erhobene Parameter nach differentiellem Training der Interventionsgruppe nicht verändert, bleibt bestehen.

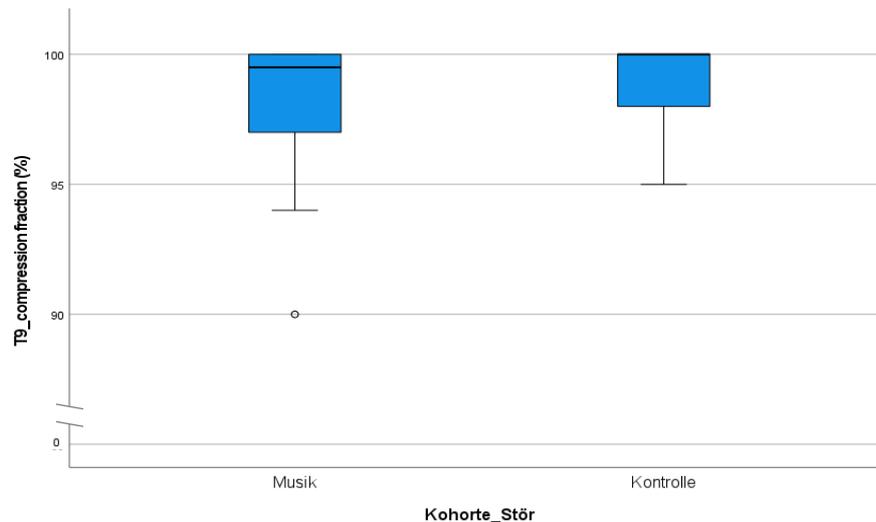


Abbildung 5: Box-Whisker-Plot compression fraction (%) an T9 Musik vs. Kontrolle

4.4.2. Compression fraction (%) alle Gruppen

Analog zur Untersuchung des primären Endpunktes wurden auch von den restlichen Gruppen eine sehr hohe compression fraction erreicht. Die Gruppe mit gemischten Störfaktoren zeigte hier die stabilste Leistung, ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen war jedoch nicht zu finden ($p = 0,700$).

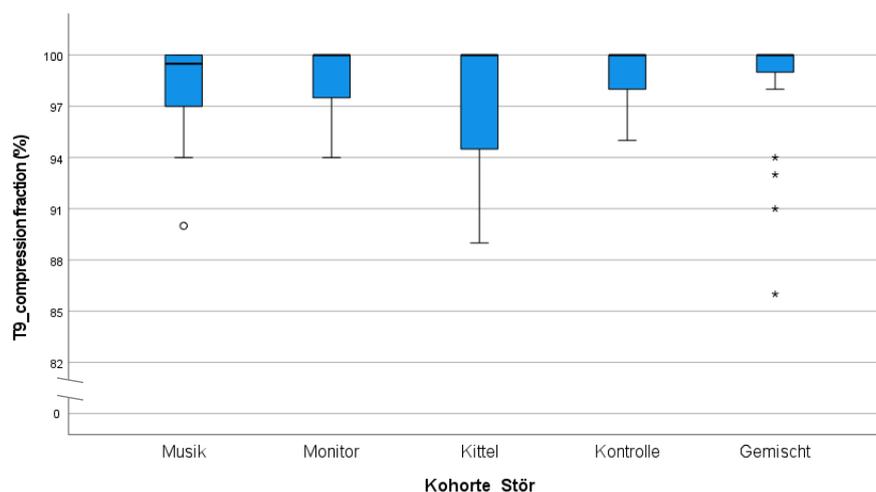


Abbildung 6: Box-Whisker-Plot compression fraction (%) an T9

4.5. Sekundäre Endpunkte (T9)

4.5.1. Wertung Herzdruckmassage (%)

Zur Analyse der Wertung der HDM wurden, wie für alle nachfolgenden Parameter, alle fünf Gruppen in die Berechnungen eingeschlossen. Die Gruppe mit gemischten Störfaktoren schloss hier am schlechtesten ab, auch die Schwankungsbreite ist in dieser Gruppe am höchsten (siehe Tabelle 3). Statistisch ist diese Differenz zwischen den Gruppen jedoch nicht signifikant ($p = 0,252$).

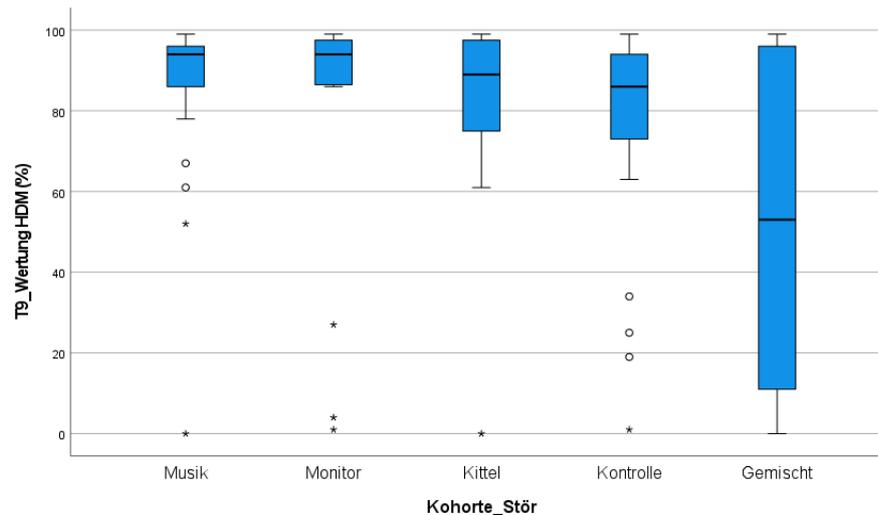


Abbildung 7: Box-Whisker-Plot Wertung HDM (%) an T9

4.5.2. Drucktiefe (mm)

Alle fünf Gruppen erreichten zur Abschlusstestung die von den Fachgesellschaften empfohlene durchschnittliche Drucktiefe von 50 bis 60 mm. Ähnlich der Wertung der HDM ist auch hier die größte Streuung bei der Gruppe mit gemischten Störfaktoren zu sehen. Statistisch war keine Signifikanz festzustellen ($p = 0,088$).

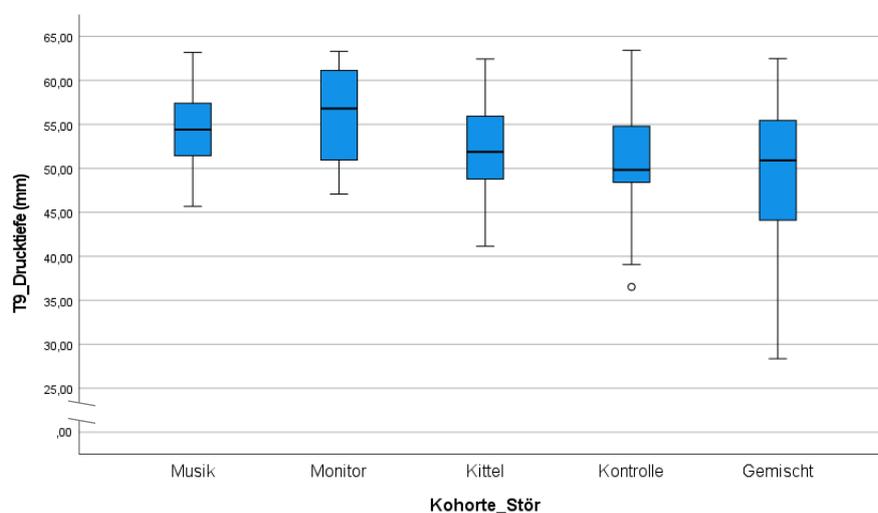


Abbildung 8: Box-Whisker-Plot Drucktiefe (mm) an T9

4.5.3. Kompressionsfrequenz (bpm)

Die Kompressionsfrequenzen aller Gruppen befinden sich bei T9 innerhalb des empfohlenen Bereiches von 100 bis 120 Kompressionen pro Minute, wobei die Gruppe Musik tendenziell dezent langsamer reanimiert hat als die anderen Gruppen. Signifikante Unterschiede konnten nicht gefunden werden ($p = 0,477$).

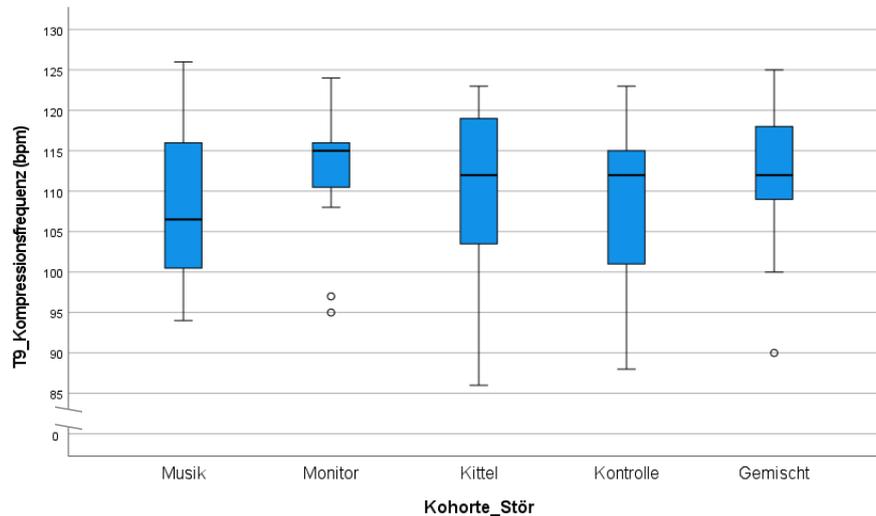


Abbildung 9: Box-Whisker-Plot Kompressionsfrequenz (bpm) an T9

4.5.4. Korrekter Druckpunkt (%)

Alle Gruppen erreichten im Median die maximale Druckpunktwertung, mitunter jedoch mit großen Streubereichen. Statistisch signifikant sind die Unterschiede nicht ($p = 0,382$).

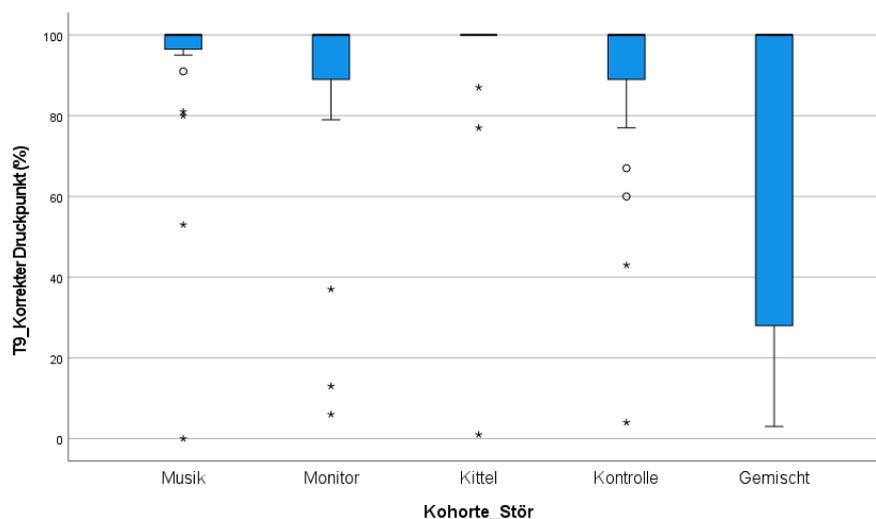


Abbildung 10: Box-Whisker-Plot Korrekter Druckpunkt (%) an T9

4.5.5. Weitere Parameter an T9

Die Messwerte der Parameter Entlastung (%), Entlastung (mm), Drucktiefe (%) und der durchschnittlichen Pausendauer unterschieden sich nicht signifikant zwischen den Gruppen. Exakte Messwerte sind in der unteren Tabelle zu finden. Beim Parameter der relativen Drucktiefe (mm) wird statistisch eine Signifikanz erreicht ($p = 0,028$), paarweise Vergleiche adjustiert auf multiples Testen konnten dies jedoch nicht bestätigen ($p > 0,05$).

4.5.6. Detaillierte Messwerte der Abschlusstestung

	Musik (n = 24)	Monitor (n = 15)	Kittel (n = 15)	Kontrolle (n = 21)	Gemischt (n = 21)	p-Wert
Wertung HDM (%)	94 (86-96)	94 (86-98)	89 (67-98)	86 (73-94)	53 (11-96)	0,252
Compression fraction (%)	100 (97-100)	100 (97-100)	100 (94-100)	100 (98-100)	100 (99-100)	0,700
Drucktiefe (mm)	54 (51-57)	57 (51-61)	52 (49-57)	50 (48-55)	51 (44-55)	0,088
Drucktiefe (%)	87 (67-97)	98 (59-99)	78 (39-99)	50 (35-93)	71 (11-94)	0,157
Entlastung (mm)	4 (3-5)	5 (4-6)	5 (4-6)	5 (4-6)	5 (4-6)	0,500
Entlastung (%)	86 (55-99)	69 (34-96)	75 (54-94)	63 (33-89)	72 (41-90)	0,497
Frequenz (bpm)	107 (101-116)	115 (110-116)	112 (102-119)	112 (101-115)	112 (109-118)	0,477
Druckpunkt (%)	100 (97-100)	100 (79-100)	100 (100-100)	100 (89-100)	100 (28-100)	0,382
Rel. Drucktiefe (mm)	51 (47-54)	50 (46-58)	47 (44-52)	46 (43-50)	45 (40-50)	0,028
Pausendauer (sec)	1 (0-3)	0 (0-4)	0 (0-4)	0 (0-3)	0 (0-2)	0,811

Tabelle 3: detaillierte Messwerte zur Abschlusstestung

4.6. Lernerfolg von T1 bis T7

4.6.1. Allgemeiner Lernerfolg

Um die Fortschritte durch regelmäßiges Training zu zeigen, wurden alle Datensätze analysiert, welche von T1 bis T7 vollständig vorlagen. Eine genauere Analyse, aufgeteilt nach Studiengruppen, ist im nächsten Kapitel beschrieben.

4.6.1.1. Wertung Herzdruckmassage (%)

Über die Termine T1, T3, T5 und T7 ist eine deutliche Verbesserung der Kohorte zu sehen, welche in Abbildung 11 visualisiert ist. Dieser Zuwachs der Wertung ist statistisch signifikant ($p < 0,001$), post-hoc war ein signifikanter Zuwachs zwischen T1 und den Terminen T5 ($p < 0,001$, $r = 0,11$) bzw. T7 ($p < 0,001$, $r = 0,13$) zu sehen.

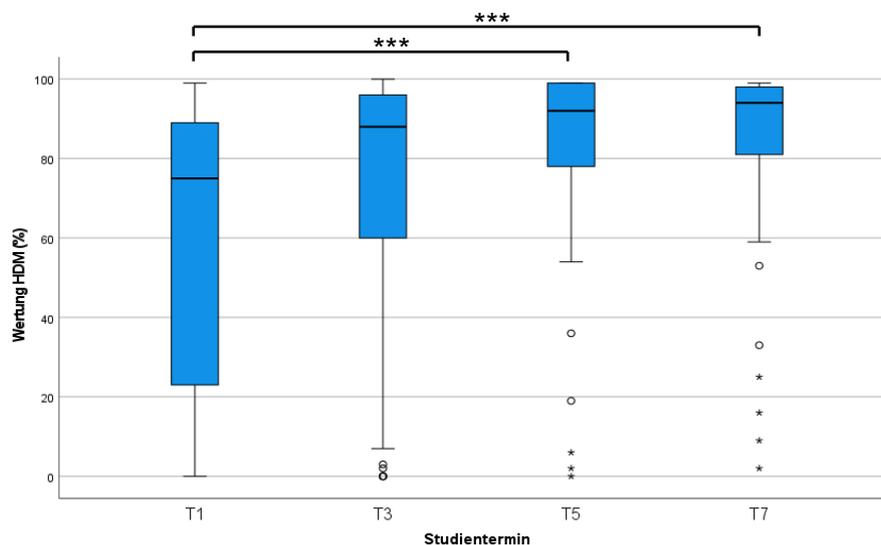


Abbildung 11: Box-Whisker-Plot Lernerfolg allgemein Wertung HDM (%)
 *** = $p < 0,001$

4.6.1.2. Drucktiefe (mm)

Die Studienkohorte erreichte bereits zur Baseline-Testung zu einem großen Teil die empfohlene Drucktiefe von 50 bis 60 mm (Md = 53 mm). Diese Drucktiefe konnte im Verlauf gehalten werden, Differenzen zwischen den Terminen waren statistisch nicht signifikant ($p = 0,485$).

4.6.1.3. Entlastung (%)

Zur Baseline-Testung (T1) erreichte die Kohorte im Durchschnitt gute Werte zur Entlastung, diese waren jedoch sehr breit gestreut (siehe Abbildung 12). Die Studierenden konnten sich im Verlauf verbessern, vor allem nahm die Streuung ab. Der Fortschritt war statistisch signifikant ($p < 0,001$), post-hoc-Messungen konnten zwischen T1 und T3 ($p < 0,01$, $r = 0,09$) sowie T1 und T7 ($p < 0,001$, $r = 0,12$) signifikante Unterschiede zeigen.

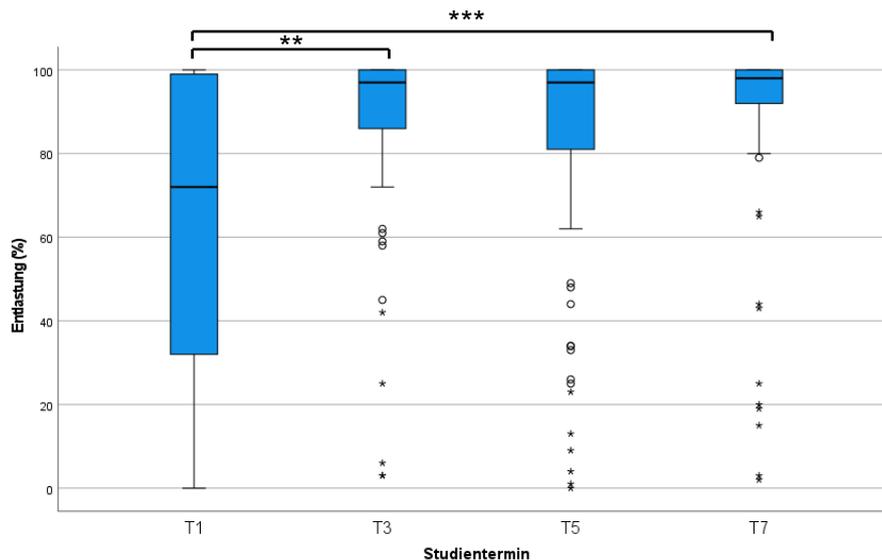


Abbildung 12: Box-Whisker-Plot Lernerfolg allgemein Entlastung (%)
 ** = $p < 0,01$, *** = $p < 0,001$

4.6.1.4. Drucktiefe (%)

Der Anteil an suffizient tiefen Kompressionen zeigt anders als die durchschnittliche Drucktiefe in Millimetern ein sehr heterogenes Bild. Die Teilnehmer:innen erreichten zu T1 und T5 Werte im Median von 72 bzw. 74%, an T3 und T7 aber lediglich 57 bzw. 56%. Unterschiede zwischen den Terminen waren statistisch nicht signifikant ($p = 0,542$).

4.6.1.5. Kompressionsfrequenz (bpm)

Die Studierenden reanimierten in der Baseline-Testung im Schnitt schneller als empfohlen (Md = 124 bpm), in den nächsten Testungen konnten sie ihre Frequenz auf die empfohlenen 100 – 120 bpm reduzieren. Der Fortschritt war statistisch signifikant ($p < 0,001$), eine post-hoc-Analyse konnte relativ zu T1 ebenso statistische Signifikanzen zu T3 ($r = 0,16$), T5 ($r = 0,13$) und T7 ($r = 0,17$) zeigen (jeweils $p < 0,001$).

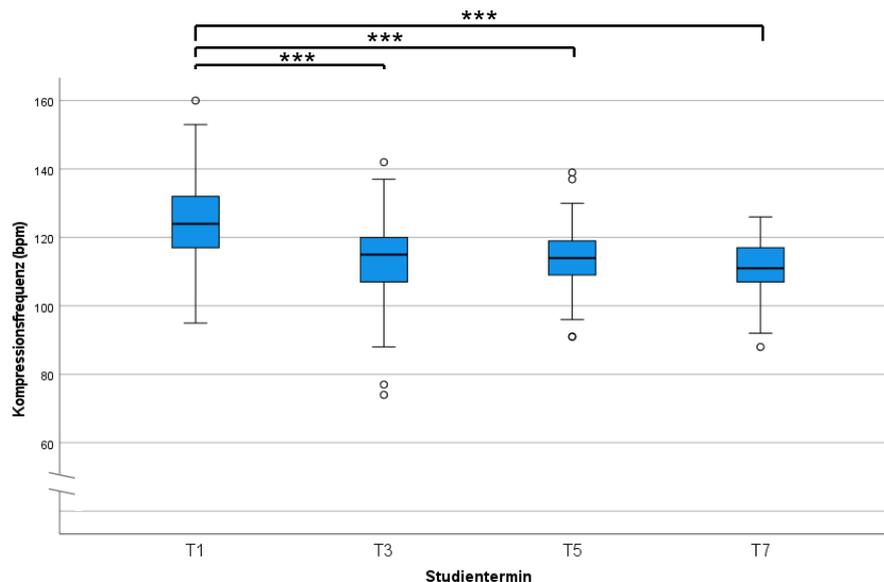


Abbildung 13: Box-Whisker-Plot Lernerfolg allgemein Kompressionsfrequenz (bpm)
*** = $p < 0,001$

4.6.1.6. Korrekter Druckpunkt (%)

Die Wertungen des Druckpunktes hatten bis T7 Ausreißer, im Durchschnitt wurden dennoch gute Leistungen erzielt (Md = 100%). Fortschritte der Proband:innen zu diesem Parameter erreichten statistische Signifikanz ($p < 0,001$), post-hoc in paarweisen Vergleichen konnten dieses Ergebnis jedoch nicht bestätigen ($p > 0,05$).

4.6.2. Lernerfolg aufgeteilt nach Studiengruppen

4.6.2.1. Wertung Herzdruckmassage (%)

Im Verlauf der Studie zeigte sich eine allgemeine Verbesserung der Scores zur Herzdruckmassage in allen Gruppen. Von diesen Verbesserungen waren die der Untergruppe mit gemischten Störfaktoren statistisch signifikant ($p = 0,011$). Post-hoc-Tests zeigten hier eine signifikante Differenz zwischen T1 und T7 ($p = 0,007$, $r = 0,35$). Die anderen Gruppen zeigten auch deutliche Leistungszuwächse, jedoch erreichten diese keine statistische Signifikanz.

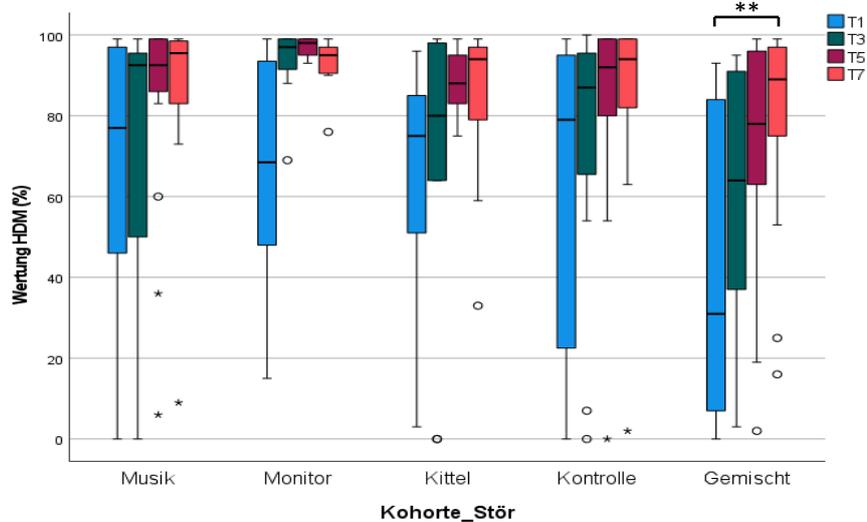


Abbildung 14: Gruppierter Box-Whisker-Plot Lernerfolg Studiengruppen Wertung HDM (%) ** = $p < 0,01$

4.6.2.2. Drucktiefe (mm)

Bereits bei der ersten Testung befand sich ein großer Anteil der Studierenden im von den Leitlinien vorgegebenen Zielkorridor von 50 bis 60 mm Drucktiefe. Diese Tiefe konnten sie auch zu den darauffolgenden Testungen reproduzieren, die Gruppe Monitor erreichte ab T3 – nach initial zu tiefen Kompressionen – auch die empfohlenen Werte. Innerhalb der Studiengruppen erreichten keine Vergleiche zwischen den Testterminen statistische Signifikanz.

4.6.2.3. Entlastung (%)

Alle Studiengruppen konnten bezüglich Entlastung ihre Leistungen sichtlich verbessern (Abbildung 15). Änderungen waren vor allem zwischen T1 und T3 zu beobachten, mit einer Bestleistung aller Gruppen an T7. Statistische Signifikanz erreichte jedoch nur die

Gruppe mit gemischten Störfaktoren ($p = 0,006$). Post-hoc konnte ein signifikanter Unterschied zwischen den Terminen T1 und T7 gezeigt werden ($p = 0,011$, $r = 0,34$).

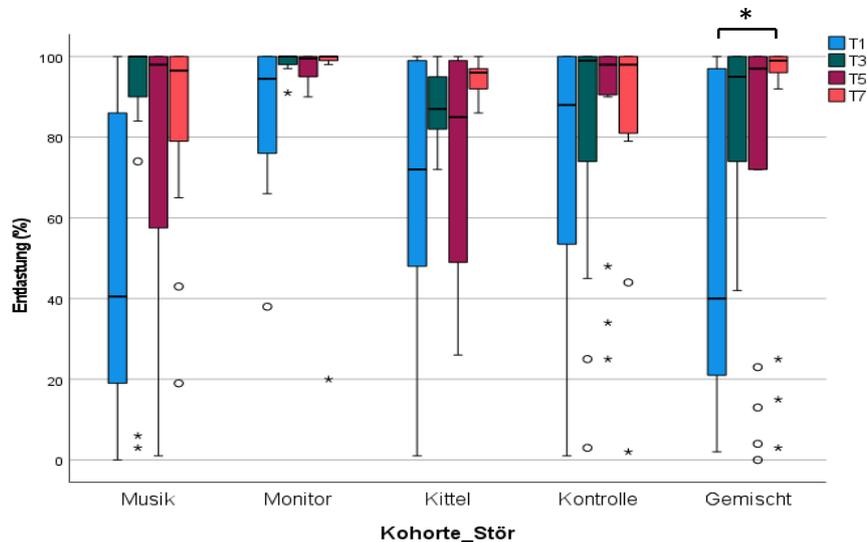


Abbildung 15: Gruppiertes Box-Whisker-Plot Lernerfolg Studiengruppen Entlastung (%) * = $p < 0,05$

4.6.2.4. Kompressionsfrequenz (bpm)

In der Baseline-Testung zeigten alle Gruppen eine hohe Kompressionsfrequenz von über 120 bpm, diese senkte sich über alle Gruppen in den nachfolgenden Terminen (siehe auch Abbildung 16). Die Fortschritte der Gruppen Musik ($p = 0,001$) und Gemischt ($p < 0,001$) waren jeweils statistisch signifikant, die Gruppen Monitor und Kontrolle erreichten knapp keine Signifikanz ($p = 0,080$ bzw. $p = 0,074$; siehe auch Abbildung 16).

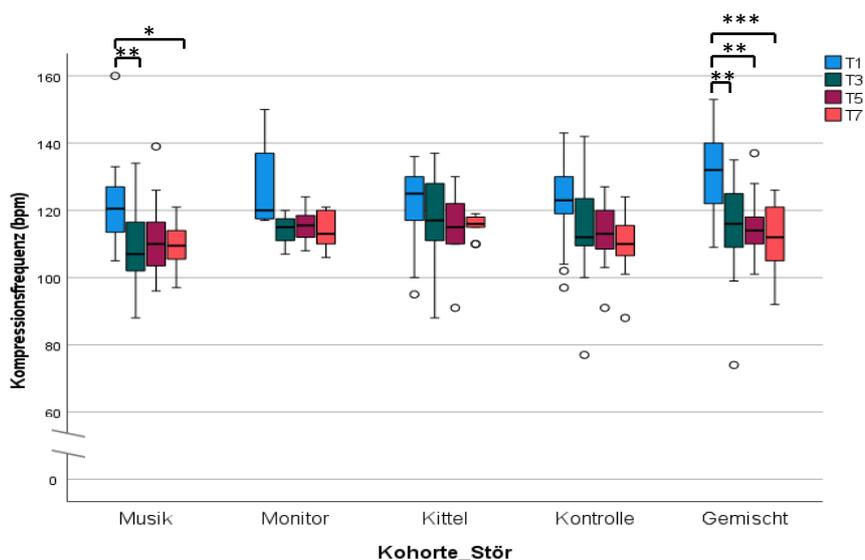


Abbildung 16: Gruppiertes Box-Whisker-Plot Lernerfolg Studiengruppen Frequenz (bpm) * = $p < 0,05$. ** = $p < 0,01$. *** = $p < 0,001$.

4.6.2.5. Drucktiefe (%)

Zur Baseline-Testung erreichten die Gruppen Monitor, Kittel und Gemischt ihre besten Wertungen, in nachfolgenden Testungen war kein Trend zu einer Verbesserung oder Verschlechterung zu erkennen. Die beiden verbleibenden Gruppen Musik und Kontrolle erreichten zu T5 bzw. T3 ihre besten Werte, auch hier waren keine Trends zu beobachten.

4.6.2.6. Korrekter Druckpunkt (%)

Die Wertung des Druckpunktes änderte sich über die Laufzeit der Studie kaum, jedoch waren Lernerfolge in einer Reduktion der Streuung der Messergebnisse auch hier zu sehen (s. Abbildung 17). In der Gruppe mit gemischten Störfaktoren zeigte sich eine Signifikanz ($p = 0,009$), welche in der post-hoc-Analyse jedoch keine weiteren adjustierten Signifikanzen zeigen konnte ($\text{adj. } p > 0,05$).

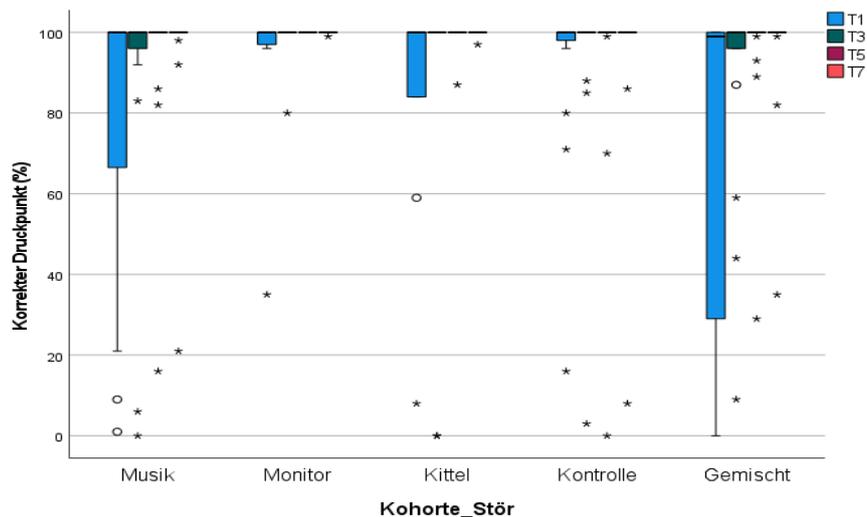


Abbildung 17: Gruppiertes Box-Whisker-Plot Lernerfolg Studiengruppen Druckpunkt (%)

4.7. Persönliche Einflussfaktoren der Herzdruckmassage

Zur Auswertung von persönlichen Einflussfaktoren auf die Herzdruckmassage wurden exemplarisch die Herzdruckmassage-Wertungen an T1, T7 und T9 analysiert. Außerdem wurden die Einflüsse auf die compression fraction an T9 berechnet. Als unabhängige Variablen wurden Geschlecht, BMI, sportliche Aktivität und Vorerfahrungen untersucht.

4.7.1. Wertung HDM T1

Eine multiple lineare Regression zeigte, dass eine eventuelle Vorerfahrung der Studierenden einen Einfluss auf die Wertung HDM an T1 hat ($p = 0,044$). Die Varianzaufklärung ist mit einem R^2 von 0,05 nur schwach, aber das Vorhandensein von medizinischer Vorerfahrung konnte den Score in der Trainingssession statistisch signifikant vorhersagen. Die anderen untersuchten Faktoren konnten die Ergebnisse des Trainings nicht signifikant vorhersagen (siehe auch Tabelle 4).

4.7.2. Wertung HDM T7

Die Wertung HDM T7 wurde ausgewertet, um Rückschlüsse auf die Auswirkungen auf den ungestörten Lernprozess ziehen zu können. Das Modell zu T7 erreichte statistisch keine Signifikanz ($p = 0,909$). Explorativ jedoch verringerte sich der Korrelationskoeffizient der medizinischen Vorerfahrung deutlich von 17,0 (T1) auf 3,8 (T7; siehe Tabelle 5).

4.7.3. Compression fraction T9

Als Erfolgskontrolle unseres Ausbildungsprogrammes wurden auch die Einflüsse auf die compression fraction in der Abschlusstestung untersucht. Das resultierende Modell erreichte statistische Signifikanz ($p = 0,036$). Mit einem korrigierten R^2 von 0,041 hat auch dieses Modell eine sehr begrenzte Varianzauflösung. Medizinische Vorerfahrung als Einflussfaktor konnte dennoch die compression fraction signifikant vorhersagen. Andere untersuchte Faktoren erreichten keine Signifikanz (siehe auch Tabelle 6).

4.7.4. Wertung HDM T9

Zur Abschlusstestung T9 erreichte das Modell wiederum keine Signifikanz ($p = 0,100$). Es konnte dennoch ein erneuter Anstieg des Korrelationskoeffizienten des Einflussfaktors medizinische Vorerfahrung gesehen werden. Wiederum konnte anhand der Faktoren Geschlecht, BMI und sportlicher Aktivität keine Vorhersage von Werten getroffen werden (siehe Tabelle 7).

Einfluss auf Wertung HDM T1				
Variable	Unstandardisiert	Standardisiert	Std.-Fehler	p-Wert
Konstante	72,090		25,108	0,005
Geschlecht	-6,403	-0,083	7,197	0,376
BMI	-0,404	-0,037	0,998	0,686
Sport	-10,312	-0,123	7,702	0,183
Vorerfahrung	17,073	0,249	6,332	0,008
R ²	0,083			
korr. R ²	0,050			
F (4, 112)	2,532			0,044

Tabelle 4: Einflussfaktoren Wertung HDM T1

Einfluss auf Wertung HDM T7				
Variable	Unstandardisiert	Standardisiert	Std.-Fehler	p-Wert
Konstante	81,903		23,481	0,001
Geschlecht	-3,579	-0,063	6,497	0,583
BMI	0,006	0,001	0,942	0,995
Sport	0,558	0,009	7,206	0,939
Vorerfahrung	3,835	0,076	5,672	0,501
R ²	0,012			
korr. R ²	-0,036			
F (4, 83)	0,250			0,909

Tabelle 5: Einflussfaktoren Wertung HDM T7

Einfluss auf compression fraction T9				
Variable	Unstandardisiert	Standardisiert	Std.-Fehler	p-Wert
Konstante	96,214		2,204	0,000
Geschlecht	0,758	0,116	0,663	0,256
BMI	0,046	0,052	0,090	0,607
Sport	-0,524	-0,073	0,724	0,471
Vorerfahrung	1,676	0,293	0,582	0,005
R ²	0,105			
korr. R ²	0,066			
F (4, 91)	2,682			0,036

Tabelle 6: Einflussfaktoren compression fraction T9

Einfluss auf Wertung HDM T9				
Variable	Unstandardisiert	Standardisiert	Std.-Fehler	p-Wert
Konstante	95,641		25,616	0,000
Geschlecht	-7,391	-0,099	7,704	0,340
BMI	-1,311	-0,128	1,046	0,213
Sport	8,374	0,102	8,414	0,322
Vorerfahrung	14,067	0,214	6,764	0,040
R ²	0,081			
korr. R ²	0,041			
F (4, 91)	2,009			0,100

Tabelle 7: Einflussfaktoren Wertung HDM T9

5. Diskussion

Diese Studie hatte sich zum Ziel gesetzt, das Konzept des differentiellen Lernens erstmals in der humanmedizinischen Ausbildung im Rahmen des BLS-Trainings anzuwenden. Hierzu wurden fünf Studiengruppen unter Studierenden des ersten Fachsemesters Humanmedizin rekrutiert, welche sich weder in demografischen Gesichtspunkten noch in ihren Fertigkeiten im BLS relevant unterschieden. Nach insgesamt vier Trainingsterminen mit zugeordneten Störfaktoren im Vergleich zu keinem Störfaktor in der Kontrollgruppe wurden die Studierenden in der Abschlusstestung einem komplett neuen Störfaktor konfrontiert. Die Chronologie der Diskussion richtet sich thematisch nach dem Einfluss der wichtigsten Umweltfaktoren auf die Güte der Reanimation, die bereits vorab vorhanden waren oder im Rahmen der Studie eingeführt wurden.

5.1. Zusammenfassung der Ergebnisse

Die Leistungen der Studierenden in der Abschlusstestung waren in Hinsicht auf den untersuchten Endpunkt „compression fraction“ überwiegend sehr gut mit voller Punktzahl, auch die Streuung war in allen Gruppen sehr gering. Es konnte kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen im primären Endpunkt compression fraction gefunden werden. Auch die Messwerte der übrigen Parameter (vor allem Drucktiefe, Entlastungsrate und Frequenz der HDM) waren zwischen den Gruppen vergleichbar, wobei die Ergebnisse in diesen Kategorien deutlich größere Streuungen aufwiesen als der primäre Endpunkt. Training nach den Prinzipien des differentiellen Lernens erbrachte im untersuchten Setting keinen Unterschied in der Ablenkbarkeit der Studierenden.

Im Verlauf der Studie verbesserten alle Studierenden merklich die Qualität ihrer HDM. Verbesserungen wurden für die gesamte Studienkohorte und die einzelnen Studiengruppen einzeln ausgewertet. Signifikante Verbesserungen konnten bei beiden Analysen vor allem zwischen den ersten und letzten Trainingsterminen (T1 bzw. T7) gefunden werden. In der Auswertung getrennt nach Studiengruppe fanden sich signifikante Verbesserungen vor allem in der Gruppe mit gemischten Störfaktoren. Diese Unterschiede konnten wieder zwischen T1 und T7 beobachtet werden.

Körperliche Determinanten schienen in der untersuchten Kohorte keinen Einfluss auf die HDM zu haben, allein eine medizinische Vorerfahrung konnte einen positiven Effekt auf

die Reanimationsleistung zeigen. Dieser Effekt zeigte sich jedoch nicht in den Verlaufstestungen, konnte aber in der Abschlusstestung mit ihrem veränderten Ablauf wieder reproduziert werden.

5.2. Einfluss von differentiellem Lernen auf die HDM

5.2.1. Abschlusstestung T9

Durch die ausbleibende Unterbrechung der Reanimation muss die Tauglichkeit der Oberärzt:innen als Störfaktor diskutiert werden. Im Kontext der Abschlusstestung hatten die Studierenden nach Feststellung des HKS die klare Aufgabe, eine Reanimation durchzuführen. Das menschliche Arbeitsgedächtnis ist erstaunlich resistent gegenüber äußeren Ablenkungen, wenn es mit einer klaren Aufgabe konfrontiert wird. (109) Der präfrontale Cortex scheint die Verarbeitung von Distraktoren zu behindern, während das Striatum als Eintrittstor zum Arbeitsgedächtnis die Kodierung von Ablenkung ganz verhindern kann. Diese Prozesse zur Fokuso Optimierung können besonders gut rekrutiert werden, wenn die Ablenkung durch die Betroffenen antizipiert wird. (109, 110) Diese Habituation von Distractionen kann in den Daten der compression fraction an T9 gesehen werden. Medizinische Vorerfahrung konnte diesen Parameter in der Abschlusstestung signifikant beeinflussen. Das Wissen bzw. die Erfahrung, dass Ablenkung im Verlauf einer Reanimation durch herbeigerufene Kolleg:innen droht, kann den Effekt einer Ablenkung reduzieren. Dies kann eine mögliche Erklärung sein, warum die primäre Hypothese der Studie nicht gezeigt werden konnte. Abgesehen davon muss aber festgehalten werden, dass auf Basis der vorliegenden Daten der konzipierte Störfaktor als nicht disruptiv genug einzustufen ist, nachdem auch die Kontrollgruppe die HDM nicht unterbrach.

Die Annahme bei Konzeption der Studie war, dass Studierende der Kontrollgruppe durch das Eintreten der Oberärztin bzw. des Oberarztes abgelenkt oder gar aufgeschreckt würden. Neurophysiologisch lässt sich das Erschrecken als Reaktion des menschlichen Körpers auf einen unbekanntem Reiz beschreiben. Die Reaktion bereitet den Menschen auf eine Abwehr von adversen Situationen vor. Nach dem initialen Schrecken folgt eine Orientierungsreaktion, um die nun veränderte Umgebung neu zu erfassen. (111, 112) Diese Reaktionen sind plastisch, ein Lebewesen in einer lauten Umgebung wird auf unerwartete akustische Reize also weniger stark reagieren als auf taktile oder visuelle Reize. (112) Der Störfaktor Oberärztin bzw. Oberarzt hat keine oder nur sehr kurze

Unterbrechungen verursacht. Auch die Orientierungsreaktion konnte die Teilnehmer:innen nicht so weit von der HDM ablenken, dass diese mehrheitlich unterbrochen wurde. Während im klinischen Alltag die meisten Unterbrechungen nicht zu vermeiden sind (Defibrillation, Rhythmusanalyse, ev. Beatmungen), konnten Jones et al. in Simulationstrainings fünf Sekunden Unterbrechungszeit allein durch Ablenkung feststellen. (113) Ein solcher Zeitverlust konnte bei unseren Studierenden nicht gesehen werden, wobei Jones et al. eine erweiterte Reanimation simuliert hatten, während die Studierenden eine Basisreanimation allein durchführen mussten.

Die Oberärztin bzw. der Oberarzt unterschied sich deutlich von allen Störfaktoren, denen die Studierenden in den Trainingsterminen ausgesetzt waren: Bis zu diesem Zeitpunkt wurden statische, passive Distraktoren eingesetzt. Die Oberärztin bzw. der Oberarzt stellte einen dynamischen Faktor dar. Die Studierenden mussten aktiv mit ihr/ihm interagieren, bevor die Person den Raum wieder verließ. Diese erhöhte kognitive Arbeitslast hätte auf Seiten der Studierenden eine Minderung der Performance hervorgerufen können. (72) Ablenkung von einer primären Aufgabe konnte in simulierten Herz-Kreislauf-Stillständen die Leistungen der Teilnehmenden negativ beeinflussen. (114) Effekte der vermehrten kognitiven Arbeitslast werden sichtbar, wenn die Daten von T7 mit denen von T9 verglichen werden. Es stellten sich, wenn auch nicht signifikant, Verschlechterungen aller Messwerte ein. Die compression fraction wurde durch die Interaktion mit dem aktiven Störfaktor Oberärztin bzw. Oberarzt beeinflusst, die Wertung HDM als zusammenfassender Score wurde dadurch auch schlechter. Aber auch Parameter wie die Entlastungs- oder Druckpunktwertung verschlechterten sich. Diese Änderungen können als Resultat einer höheren mentalen Arbeitsbelastung während der aktiven Störung erklärt werden. Im Szenario wurde von den Studierenden abverlangt, eine einwandfreie CPR durchzuführen, während sie mit dem Störfaktor interagierten; sie sollten „multi-tasking“ betreiben. Das Bearbeiten mehrerer Aufgaben auf einmal ist ein intensiv erforschtes Thema der Neurowissenschaften: Was für den Menschen wie ein simultanes Abarbeiten mehrerer Aufgaben erscheint, ist auf neurophysiologischer Ebene ein schnelles Wechseln zwischen diesen Aufgaben. (115) Dieses Wechseln beeinträchtigt jedoch die Leistung des Gehirns in dieser Situation, die Leistungsminderung wird als „switch cost“ bezeichnet. (116) „Switch costs“ konnten in Form von Reaktionszeiten auf neuropsychologische Testsysteme gemessen werden und können vom Grad an Variation während eines wiederholten Übens beeinflusst

werden. (117) In der Abschlusstestung muss davon ausgegangen werden, dass sich hier mehrere Effekte überlagert haben. „Switch costs“ könnten die Leistungen der Studierenden zumindest kurzfristig negativ beeinflusst haben. Dieser Effekt wurde aber durch den Lernerfolg, die Automatisierung der HDM nach repetitivem Training und ersten Effekten des differentiellen Lernens größtenteils ausgeglichen.

5.2.2. Lernerfolg im Verlauf der Studie

Explorativ ist bei den einzelnen Studiengruppen ein Trend zu sehen, der dem allgemeinen Lernerfolg folgt. Die Gruppen verbesserten ihre Performance in allen Parametern mit Ausnahme der Drucktiefe, welche bereits bei T1 innerhalb der empfohlenen Grenzen lag.

Die Gruppe mit gemischten Störfaktoren bildete mit ihren wechselnden Distraktoren am ehesten die Prinzipien des differentiellen Trainings ab. Die Verbesserungen bei Wertung HDM und Entlastung werden aber, anders als der allgemeine Lernerfolg, erst bei der letzten Verlaufstestung (T7) signifikant. Die Kompressionsfrequenz verbesserte sich analog zum allgemeinen Lernerfolg von T1 zu allen weiteren Testungen. Ob das differentielle Training erst einen verzögerten, dann aber verstärkten Effekt hinsichtlich der Lernleistung verursacht, wurde bisher nicht untersucht. Bestehende Studien evaluierten das Konzept meistens anhand einer abschließenden Testung im Vergleich mit einer konventionell trainierten Kohorte, Lernerfolge in dieser Tiefe wurden bislang nicht analysiert. (75, 77, 78, 82, 83, 118)

Die verzögerten Lerneffekte der Studiengruppe mit gemischten Störfaktoren könnten über die Cognitive Load Theory erklärt werden. Der „intrinsic cognitive load“ wird durch das wiederholte Üben der HDM symbolisiert, die Störfaktoren sind dem „extraneous cognitive load“ zuzuordnen. Durch immer neue Störfaktoren in der Gruppe Gemischt bleibt hier – im Gegensatz zu den anderen Gruppen – eine mögliche Gewöhnung an diese aus, der „extraneous cognitive load“ ist mutmaßlich höher als in den anderen Gruppen. Dadurch bliebe weniger Kapazität für die genuinen Lernprozesse („germane cognitive load“) übrig, was mehr Übungssitzungen zum Erreichen der gleichen Leistungen erfordern würde. (119)

Dieser Effekt wird jedoch zumindest durch die mit jedem Training steigende Erfahrung zur HDM ausgeglichen. Je besser die Studierenden die Reanimation als Bewegungsablauf automatisieren können, desto mehr Kapazität wird für Lernprozesse

wieder frei. (73) Variabilität im Training kann den „germane cognitive load“ optimieren, wodurch die Studierenden besser Schemata für sich konstruieren und irrelevante Fakten ausblenden können. (74) Der Lernerfolg der Gruppe mit gemischten Störfaktoren kann Ausdruck besserer Automatisierung durch mentale Schemata sein, wodurch sich diese Studiengruppe besser auf die HDM konzentrieren konnte.

5.2.3. Anwendung von differentiellem Lernen im Basic Life Support

Transferleistungen spielen im differentiellen Lernen eine zentrale Rolle. (60) Während eine verbesserte Reaktion auf neue, bisher unbekannte Stimuli von Schöllhorn postuliert und von James et al. gezeigt wurde, war sie anhand der vorliegenden Daten nicht zu beobachten. (82) Vielmehr konnte gezeigt werden, dass Studierende ohne Vorerfahrungen sich im Laufe der Studie an wiederkehrende Störfaktoren gewöhnen können, dieser Lerneffekt aber nicht auf neue Störfaktoren übertragen werden konnte. Während an T1 noch die medizinische Vorerfahrung ein zuverlässiger Prädiktor für eine bessere HDM-Wertung war, konnte dies bei T7 nicht mehr gezeigt werden. Bei Konfrontation mit einem neuen Störfaktor an T9 stellten sich wieder die Verhältnisse von T1 ein, die erfahrenen Kommiliton:innen reanimierten wieder signifikant besser als Studierende ohne medizinische Vorerfahrung (siehe Kapitel 4.7 *Persönliche Einflussfaktoren der Herzdruckmassage*). Dieser Vorteil konnte bereits durch andere Studien gezeigt werden, wobei hier meistens nach Erfahrungen in HDM gefragt wurde. (120, 121) Differentielles Training bei „Erfahrungs-naiven“ Studierenden konnte nicht den Vorteil von vorbestehendem Wissen ausgleichen, eine Transferleistung blieb aus. Hier muss hinterfragt werden, ob das Studienkonzept die Grundsätze des differentiellen Lernens ausreichend abbilden konnte.

Training nach den Grundsätzen des differentiellen Lernens zeichnet sich durch kleine Veränderungen der zu lernenden Bewegung aus, wobei keine Variation zweimal wiederholt wird. Feedback und Instruktionen sind dabei erlaubt. (76) Neben Variationen kann auch noch „Rauschen“, zum Beispiel in Form von Augenbinden, elastischen Bändern, unterschiedlichen Übungsobjekten oder unterschiedlichen Spielfeldformen eingeführt werden. (77) Ein Großteil der Studien wurde im Bereich der Sportforschung, oft auch im Leistungssport, durchgeführt. Damit verbunden waren intensive Trainingsprogramme, welche beispielsweise bei Santos et al. 40 Sitzungen über fünf Monate beinhalteten, Repšaitė et al. trainierten ihre Kohorte fünf Mal pro Woche für einen Monat. (75, 83) Diese Intensität konnte durch unsere Studie nicht erreicht werden, das

Intervall von drei Monaten erwies sich in Studien dennoch einem Intervall von sechs Monaten zwischen Trainingseinheiten überlegen. (61) Gleichzeitig ist dieses Trainingsintervall zur Verbesserung der CPR-Skills einem intensivierten Programm mit Intervallen von Tagen bis Wochen unterlegen. (122)

Unsere Studie mit Störfaktoren konnte nur eine der beiden Komponenten des differentiellen Lernens (Rauschen) einsetzen. Nur die Gruppe mit gemischten Störfaktoren hatte ein Regime, das mit der Variation vergangener Studien vergleichbar war. (123) Durch die immer neuen Störfaktoren mussten sich die Studierenden jeweils auf eine neue Umgebung einstellen. Fluktuationen, welche in den Bewegungsabläufen auftreten, sind auch bei der HDM aufgetreten, sie konnten aber – im Gegensatz zu anderen Studien – nicht aktiv von den Tutor:innen instruiert oder verstärkt werden. Der Einsatz von Störfaktoren wurde bereits in mehreren Studien untersucht, jedoch immer mit Fokus auf die Beeinflussung der schwer zu quantifizierenden Team-Performance. Meistens wurden hierfür Hintergrundlärm und simulierte Familienangehörige gewählt, welche die Teams ablenken sollten. (87, 92, 114, 124) Während Hintergrundlärm ein häufiger Distraktor sein kann, greifen Angehörige im Setting einer präklinischen Reanimation nur sehr selten in die Behandlung ein oder lenken die Rettungskräfte aktiv ab. (90) Weitere Untersuchungen sind nötig, um den unmittelbaren Einfluss der statischen, von uns eingesetzten Störfaktoren, wie Musik in einem „falschen“ Rhythmus, auf die Reanimation zu untersuchen.

Die von Schöllhorn beschriebene Variation des Bewegungsablaufes ist in der HDM schwer umzusetzen. Bisherige Studien zum differentiellen Lernen bezogen sich auf Handlungen oder Bewegungen, die eine Variation des Ablaufs zulassen, ohne dass das Resultat der Bewegung (Wurf von Bällen, Fußball-Taktik) beeinflusst wird. (77, 80) Die Herzdruckmassage als Produkt von jahrzehntelanger Forschung und Leitlinien lässt eine solche Variation nur in sehr engen Korridoren zu. Mögliche Variationen des CPR-Trainings wären die Änderung der Knieposition bei der Reanimation am Boden (125), das Reanimieren bei Patient:innen in einem hohen oder niedrigen Bett (126) oder auch das Wechseln der dominanten und nicht-dominanten Hand als untere Hand beim Reanimieren. (127) Über diese kleinen Modifikationen hinaus sind neue Ausführungen der HDM schwer zu argumentieren, ohne die Durchführung einer leitliniengerechten Reanimation zu behindern.

Die Einführung von aktiven Ausführungsfehlern in Trainings könnte zudem, im Kontext der HDM, zu einer insuffizienten Ausführung im klinischen Alltag führen. Die Leistungen der Teilnehmenden sind stark von den beteiligten Instruktor:innen abhängig, wie unter anderem Kaye et al. zeigen konnten. (128) Würden nun Variationen eines streng reglementierten und optimierten Handlungsablaufes, wie bei der HDM der Fall, in den Alltag übernommen, stünde das Trainingskonzept dabei in direktem Gegensatz zum Nichtschadensprinzip der ärztlichen Berufsethik, eine Patientengefährdung könnte nicht ausgeschlossen werden. (129) Während in chirurgischen Disziplinen die Anwendung von differentiellem Lernen demonstriert werden konnte und als gut durchführbar angesehen werden kann, (130) erscheint die HDM als eine zu starr definierte Handlung für differentielles Lernen.

Meta-Analysen und Übersichtsarbeiten zeigen zudem, dass differentielles Lernen sich vor allem positiv auf die Kreativität der Teilnehmenden bei Mannschaftssportarten auswirkt. (131, 132) Im Gegensatz dazu wurde in der Konzeption und der Abschlusstestung die Resilienz der Studierenden geprüft, erhöhte Kreativität hätte hier keinen zusätzlichen Benefit. Resilienz gegenüber Störfaktoren wurde bisher im Kontext von differentiellem Lernen nicht untersucht, in unserer Studie konnte kein Einfluss des Trainings auf diese Resilienz gezeigt werden. Zudem kritisieren Bergmann et al., dass differentielles Lernen bis heute keine Resultate im Alltag erbringen konnte. Alle Studien untersuchten als Endpunkte Leistungstests in stabilen Umgebungen, beurteilten die Leistungen der Teilnehmenden jedoch nicht unter beispielsweise Wettkampfbedingungen. (132)

Zusammenfassend kann keine abschließende Bewertung abgegeben werden, ob differentielles Lernen im Basic Life Support einen Vorteil erbringt. Einerseits sind klare Lernerfolge in der Untergruppe der gemischten Störfaktoren zu sehen, gleichzeitig scheint das Trainingsregime keinen Einfluss auf die Resilienz der Studierenden zu haben.

5.3. Einfluss von Repetition auf die HDM

Studien zu Retraining-Intervallen von BLS-Trainings untersuchten bisher nur unterschiedliche Intervalle (inklusive des 3-Monat-Intervalls dieser Studie) in Bezug auf eine abschließende Testung, nicht aber auf die Entwicklungen im Laufe des Programms. (58, 122, 133) Eine Verschlechterung der Leistungen nach drei Monaten, wie sie von

Hernandez-Padilla et al. bei Studierenden der Krankenpflege gezeigt werden konnte, ist in der vorliegenden Kohorte nicht aufgetreten. (134) Dies kann an der Natur unserer Studie gelegen haben, die nach der Testung zu T1/3/5/7 anschließend an die Theorie-Einheit eine zweite Übungsmöglichkeit für die Studierenden vorsah. Hier konnten diese das Feedback aus der ersten „Runde“ zeitnah anwenden und festigen. Ein kognitiver Bias auf Seiten der Teilnehmenden kann sich hier auch positiv ausgewirkt haben, nachdem die Studie als Trainingsprogramm verstanden wurde. Die fehlende Verschlechterung der Studierenden kann auch durch die Wahl des zu trainierenden Modus der CPR beeinflusst worden sein: Daten von Hsieh et al. legen nahe, dass bei der Retention von CPR-Fertigkeiten eine Hierarchie besteht. Skills in der Mund-zu-Mund-Beatmung müssten alle drei Monate, Skills der HDM nur alle sechs Monate trainiert werden, um weiterhin gute Ergebnisse zu erzielen. (61) Basierend auf diesen Erkenntnissen wurden die trainierten Fertigkeiten in der Studie aufgefrischt, bevor eine Verschlechterung eintreten konnte.

Entwicklungen im Sinne eines Lernerfolges durch wiederholtes Training sind bei den Parametern Entlastung, Kompressionsfrequenz und Druckpunkt zu sehen. Der Anteil der korrekt entlasteten Kompressionen näherte sich im Verlauf der Studie der optimalen Wertung von 100 % an, eine ähnliche Entwicklung konnten bereits Anderson et al. und Oermann et al. zeigen. (122, 133) Aufgrund des Studiendesigns konnte keine Musik in korrektem Takt als Hilfestellung angeboten werden. Dennoch gelang es den Studierenden, die Frequenz an den folgenden Terminen T3, T5 und T7 zu senken. Aus einer Studie von Bae et al. ist bekannt, dass eine Verringerung der Kompressionsfrequenz im Gegenzug die Drucktiefe erhöhen kann. (135) Dieses Phänomen war in unserer Studie nicht zu erkennen und könnte durch das engmaschige Feedback nach jeder Trainingseinheit erklärt werden. Dadurch wussten die Teilnehmenden immer um ihre Leistung und konnten eventuelle Defizite ausgleichen.

Verbesserungen konnten außerdem bei den Raten an suffizient entlasteten Kompressionen gesehen werden. Während die aktuelle Forschung vor allem einen positiven Effekt von Echtzeit-Feedbacksystemen auf die Entlastung einer HDM zeigen konnte, wurde in der vorliegenden Studie nur mündliches Feedback nach der Trainingssitzung eingesetzt. (136) Dieses scheint elektronischem Echtzeit-Feedback zumindest in einem begrenzten Anwendungsrahmen ebenbürtig zu sein. (137)

Vor allem Personen ohne medizinische Vorerfahrung haben Schwierigkeiten, den korrekten Druckpunkt einer HDM auf einem menschlichen Thorax zu finden. (138) Die Studienkohorte konnte, wahrscheinlich auch wegen des hohen Anteils an medizinischer Vorerfahrung, bereits zur ersten Testung den korrekten Druckpunkt zuverlässig auffinden und treffen. Koyama et al. berichten jedoch, dass die verwendeten Sensoren zur Bestimmung des Druckpunktes des verwendeten Herstellers Laerdal Medical eine Unschärfe besitzen: Bei Verwendung eines 5x5 cm-Rasters mit feinen Drucksensoren fand die Arbeitsgruppe, dass 80% der Proband:innen den Druckpunkt nicht exakt trafen. (139)

Die klinische Relevanz des exakten Druckpunktes ist mit dem Verständnis der zugrundeliegenden Mechanismen der CPR verbunden. Neue Erkenntnisse deuten darauf hin, dass der mechanische Effekt der CPR nicht nur auf das Komprimieren des linken Ventrikels zurückzuführen ist. Diskutiert werden neben der Kompression des Herzens („cardiac pump“) eine Sogwirkung durch wechselnde intrathorakale Drücke („thoracic pump“), eine primäre Zirkulation durch Kompression der Lungenstrukturen („lung pump“) sowie weitere Mechanismen. Am wahrscheinlichsten ist eine Kombination aller Modelle, wobei der relative Anteil der Modelle am Blutfluss von Patient:in und Dauer der CPR abhängig ist. (140) Im Kontext der „cardiac pump theory“ hat die Handposition einen Einfluss auf die komprimierten Regionen des Herzens. Echokardiographische Studien konnten zeigen, dass bei einer CPR die maximale Kompression bei 60% der Patient:innen über der Aortenwurzel stattfand. Ein Druckpunkt näher am linken Ventrikel korrelierte positiv mit dem Schlagvolumen unter CPR. (141) Radiologische Studien deuten darauf hin, dass ein Druckpunkt am linken Sternalrand auf Höhe des 6. Intercostalraumes effizienter den linken Ventrikel komprimieren könnte. (142) Falls kommende Guidelines den linken Sternalrand als optimalen Druckpunkt identifizieren, wäre die Messunschärfe der in unserer Studie verwendeten Simulatoren klinisch relevant.

5.4. Einfluss von körperlichen Determinanten auf die HDM

Das Studienkollektiv ist mit der Gesamtheit an deutschen Medizinstudierenden gut vergleichbar: Sowohl an der Charité – Universitätsmedizin Berlin als auch beispielsweise an der Justus-Liebig-Universität Gießen waren Erstsemester-Studierende im Durchschnitt 21 bis 23 Jahre alt, wobei der Anteil an weiblichen Studierenden in der

Studienkohorte merklich größer war. Studieneingangsbefragungen ergaben hier nur Anteile von 64% bis 66% Frauen in drei aufeinanderfolgenden Jahren von 2018 bis 2020. (143-145) Verglichen mit der deutschen Gesamtbevölkerung zeigte die Studienkohorte zudem einen niedrigeren Body-Mass-Index von $22,13 \text{ kg/m}^2$, während der Durchschnitt der zugehörigen Altersklasse in Deutschland $23,5 \text{ kg/m}^2$ beträgt. (146) Befragungen von Studierenden der Medizin in Großbritannien und Rumänien in ähnlichen Altersklassen ergaben jedoch ebenso Body-Mass-Indizes von $22,4$ bzw. $22,1 \text{ kg/m}^2$. (147, 148) Das Körpergewicht der Helfer:innen kann die Qualität der HDM beeinflussen. Ein höheres Körpergewicht führt zwar zu einer größeren Drucktiefe, gleichzeitig aber entlasten schwerere Ersthelfer:innen deutlich weniger. (149, 150) In unserer Studie konnte kein Einfluss des BMI auf die Qualität der HDM nachgewiesen werden.

Laut Studien kann auch dem Geschlecht der Helfer:innen ein Einfluss zugeschrieben werden. Studien unter Krankenpfleger:innen ergaben, dass Frauen eine höhere Frequenz in der HDM erreichten, die Drucktiefe verglichen zu Männern aber geringer wurde. (151) Unterschiede in den HDM-Parametern bezogen auf das Geschlecht konnten in unserer Studie nicht reproduziert werden. Der fehlende Einfluss von BMI und Geschlecht kann am untersuchten Parameter liegen. Die linearen Regressionen wurden nur auf Basis des zusammenfassenden Parameters Wertung HDM berechnet. In der Bewertung könnten sich die Leistungen in den einzelnen Unterkategorien wie z. B. einer niedrigeren Drucktiefe mit einer besseren Entlastung und höheren Frequenz ausgeglichen haben. Gleichzeitig muss betont werden, dass das eine Eigenheit der verwendeten Algorithmen ist, beim Menschen ist ein hier beobachtetes „Ausgleichen“ oder „Kompensieren“ in der HDM nicht möglich.

Sportliche Aktivität scheint keinen großen Effekt auf die Güte der HDM zu haben, bereits ein niedriger Grad an Fitness ist für die Durchführung einer hochqualitativen CPR ausreichend. (152) Daten aus unserer Studie bestätigen diese Annahme.

5.5. Einfluss von Vorerfahrungen auf die HDM

Neben körperlichen Faktoren ist vorhandene Erfahrung mit Reanimationen ein entscheidender Prädiktor einer suffizienten HDM. (121) Dieser Vorteil kann durch unsere Daten bestätigt werden. Hinsichtlich der Vorerfahrungen besaß unsere Kohorte mit 46,67% der Proband:innen unverhältnismäßig viele Personen mit beruflicher

Vorerfahrung im akutmedizinischen Bereich. In Studieneingangsbefragungen der Charité gaben im Sommersemester 2018 17,5% an, eine berufliche Ausbildung begonnen oder abgeschlossen zu haben, im Wintersemester 2020/21 wurde diese Antwort von 24,7% der Studierenden gegeben. Eine Spezifizierung der Qualifikation wurde in den Befragungen nicht verlangt. (143, 145) Bei der Diskussion von Vorerfahrungen der Studierenden ist zu beachten, dass zum Sommersemester 2020 neue Studienzulassungskriterien an der Charité implementiert wurden. Den Kriterien zufolge können in der Quote „Auswahlverfahren der Hochschulen“ 20% der erreichbaren Punkte nur durch ehrenamtliche Tätigkeiten (z. B. in Hilfsorganisationen) oder außerschulische Leistungen erreicht werden. Außerdem löste eine „zusätzliche Eignungsquote“ die Quote der Wartezeit ab. Hier können 50% der möglichen Punkte nur durch berufliche Vorerfahrung erreicht werden. (153) Durch diese Kriterien werden Anwärter:innen mit Vorerfahrung (beispielsweise in der Notfallmedizin) gegenüber Personen ohne Erfahrungen in diesen beiden Quoten zumindest teilweise bevorzugt. Das „Auswahlverfahren der Hochschulen“ und die „zusätzliche Eignungsquote“ stellen zusammen 70% der verfügbaren Studienplätze pro Semester. (154) Neben den Aufnahmekriterien muss die spezielle Situation der Charité als medizinische Universität in Betracht gezogen werden. Für das Sommersemester 2020 bewarben sich über 15.000 Personen auf 377 Studienplätze. (155) Durch diese massive Zahl an Bewerber:innen zusammen mit den Aufnahmekriterien entstand sehr wahrscheinlich eine hochselektierte Kohorte aus „High-Performern“, welche sich dann durch die offene Rekrutierung weiter selektiert hat (siehe unten). Dadurch ist diese Studienkohorte für die Allgemeinbevölkerung nicht repräsentativ, wahrscheinlich bildet sie auch die Studierendenschaft der Humanmedizin nicht vollumfänglich ab.

Diese neuen Zulassungsmodalitäten mit stärkerer Einbeziehung der Vorerfahrungen können die Zunahme im Vergleich zu 2018 erklären. Diskrepanzen zur Berliner Studieneingangsbefragung zum Wintersemester 2020/21 können dadurch aber nicht erklärt werden. Diese Befragung wurde bereits unter den neuen Zulassungskriterien durchgeführt. (145) Ein Selektions-Bias muss damit bei der rekrutierten Kohorte diskutiert werden (siehe auch Kapitel 5.8. *Stärken und Limitationen der Studie*). Diese Vorselektion durch die Studierenden selbst kann durch die Erkenntnisse von Dunning und Kruger erklärt werden. Neben der Tatsache, dass sich Ungeübte in ihren Fähigkeiten oft über- und Geübte sich unterschätzen, sind Vorerfahrungen in der Selbstreflektion der

Leistungen elementar. Solange ungeübte Personen nicht das Wissen erlangen, um eine gute HDM durchzuführen, können sie auch ihre (inferioren) Leistungen nicht einordnen. (156) Deswegen könnten an unserer Studie ungeübte Studierende anteilig seltener teilgenommen haben, da sie ohne Übung auch ihre Fertigkeiten nicht einschätzen konnten.

5.5.1. Leistungen der Baseline-Testung T1

Die Leistungen der Studierenden sind im Vergleich zu einer Kohorte Zehntsemester einer assoziierten Studie im gleichen Zeitraum (Januar 2021) einzuordnen: Dabei erreichten Studierende des 10. Fachsemester mit mehr Erfahrung und engerem Abstand zum letzten Unterricht vergleichbare Drucktiefen und Entlastungsraten, hatten aber eine signifikant niedrigere Kompressionsfrequenz. (157)

Auch andere Studien berichteten von niedrigeren Frequenzen bei Baseline-Testungen: Griffin et al. untersuchten medizinische Fachkräfte und Medizinstudierende, diese erreichten eine Frequenz von durchschnittlich 115,3 bpm, Oermann et al. gaben bei Studierenden der Krankenpflege den Anteil an Kompressionen im optimalen Fenster mit 44,6% an. Dieser Anteil wurde ungefähr auch von den Studierenden der vorliegenden Studie erreicht. Auffallend ist zudem der Anteil an suffizient entlasteten Kompressionen. Hier wurden bei Griffin et al. ähnliche Entlastungswerte, bei Oermann et al. bessere Werte (83% bzw. 98%) – bei jedoch deutlich kürzerer Reanimationsdauer (60 bzw. 30 Sekunden) – erreicht. (63, 122)

Eine suboptimale Kompressionsfrequenz während der Reanimation wirkt sich negativ auf die Überlebenschancen der Patient:innen aus. Sowohl eine zu niedrige als auch eine zu hohe Frequenz sind in einer Registerstudie von Idris et al. mit einem schlechteren Outcome assoziiert. (158) Abweichungen von den offiziellen Empfehlungen sind auch bei professionellen Rettungskräften zu finden: Daten eines NAWs aus Ghent in den Niederlanden zeigten, dass 36% aller Kompressionen zu schnell waren, nur 30% der Kompressionen erfüllten hinsichtlich Drucktiefe und Frequenz die Vorgaben der Leitlinien, welche zu diesem Zeitpunkt eine niedrigere Drucktiefe von 38 bis 51 mm empfahlen. Hier konnte zudem gezeigt werden, dass bei Frequenzen über 120 bpm die Drucktiefe sinkt und so die Wahrscheinlichkeit eines Return of spontaneous circulation (ROSC) verringert wird. (38, 159)

Neben Abweichungen von den empfohlenen Frequenzen wirken sich unzureichend entlastete Kompressionen negativ auf die Reanimation aus. Beobachtungsstudien berichten, dass bei Reanimationen von Erwachsenen in 91% der Fälle Kompressionen mit unzureichender Entlastung zu beobachten waren, bei Kinderreanimationen waren 89% aller Kompressionen nicht vollständig entlastet. In beiden Fällen wurden Feedback-Systeme benutzt, welche dem medizinischen Personal Rückmeldungen zu Drucktiefe und Frequenz gaben. (136, 160) Die unzureichenden Entlastungen haben messbare hämodynamische Folgen. Eine verbleibende Kraft im Umfang von 10 bis 20% des Körpergewichts (am Ende der Entlastungsphase) auf dem Thorax verringerte den koronaren Perfusionsdruck und den systolischen Blutdruck bei gesunden Kindern im Rahmen von Herzkatheteruntersuchungen. (161)

Die beobachtete bereits suffiziente mittlere Drucktiefe kann teilweise den im initialen curricularen Training verwendeten Simulatoren zugeschrieben werden: Die dort verwendeten Simulatoren (Little Anne, Laerdal Medical SA, Stavanger, Norwegen) besitzen einen mechanischen Klicker, welcher bei Erreichen der korrekten Drucktiefe ein hörbares Klicken mit einer Lautstärke von 75 dB abgibt. (162) Dadurch bekamen die Studierenden beim Üben immer eine Rückmeldung zur isolierten Drucktiefe, welche bereits zu einer Verbesserung der CPR-Performance führen kann. (163)

Die in der Baseline-Testung beobachteten Abweichungen von den Leitlinien können mehrere Ursachen haben: Das im Curriculum verankerte Training der Studierenden vor der Studie musste aufgrund der SARS-CoV-2-Pandemie verändert werden. Ein normalerweise vorgesehenes Peer-Teaching war nicht möglich. Eine einheitliche Durchführung der Lehreinheiten durch wechselnde Dozierende unter Verwendung von audiovisuellen Hilfsmitteln (in Simulatoren integrierte Feedback-Systeme oder Musik im empfohlenen Takt von 100 – 120 bpm) kann nicht sicher angenommen werden. Die Abwesenheit dieser beiden Hilfsmittel, welche nachweislich die Performance einer CPR verbessern können und von Fachgesellschaften empfohlen werden, könnte die Leistungen in der Baseline-Testung zumindest teilweise erklären. (11, 62, 64, 104)

Neben den spezifischen Einflüssen der Situation und der Helfer:innen muss auch die Ermüdung der Proband:innen einbezogen werden. Eine HDM ist körperlich anstrengend, bereits nach einer Minute HDM sinkt der Anteil an effizienten Kompressionen auf 92% ab. Nach der zweiten Minute werden weniger als 70% der Kompressionen noch suffizient

durchgeführt. Die ausführenden Personen berichten aber erst nach über drei Minuten über Ermüdung. (164) Aus diesem Grund wird in den Leitlinien zum BLS zu einem Helfer:innen-Wechsel nach spätestens zwei Minuten geraten. (43) Durch die Reanimationsdauer von drei Minuten in der Studie sowie die Anwendung von compression-only CPR kann die initial niedrige Wertung HDM erklärt werden. Ermüdung tritt bei compression-only CPR durch die höhere Anzahl an Kompressionen nachgewiesenermaßen schneller auf. (165) Autor:innen plädieren deswegen teilweise dafür, bei dieser Form der Reanimation ein Abwechseln der Helfenden bereits nach einer Minute zu erwägen. (165, 166)

5.6. Lerntheoretische Aspekte

Bezogen auf die Prinzipien von „active learning“ und OTL bot das Konzept der Studie den Teilnehmer:innen – unabhängig von nicht beeinflussbaren Faktoren hervorgerufen durch die Covid-19-Pandemie – sehr gute Bedingungen für einen Lernfortschritt.

Im Kontext von OTL wurde die persönliche Begabung der Studierenden nicht erhoben oder gemessen. Die restlichen vier Faktoren konnten dennoch gute Voraussetzungen für einen Lernerfolg bieten. Die Beharrlichkeit („perseverance“) kann als hoch eingeschätzt werden, ein Großteil der Studierenden hatte Vorerfahrungen im Notfallmedizinischen Bereich und erschien verlässlich zu den Trainingsterminen. (siehe auch Kapitel 5.5 *Einfluss von Vorerfahrungen auf die HDM*)

Alle Teilnehmenden konnten regelmäßig die HDM trainieren und erhielten semi-strukturiertes, engmaschiges Feedback. Die zur Verfügung stehende Zeit zum Lernen wird durch die Trainingszeit an den Reanimationssimulatoren symbolisiert. Hier wurde mit drei Minuten zu Beginn und Ende des Studientermins ein Kompromiss zwischen maximalem Training und progressiver Ermüdung gewählt. Länger dauernde oder häufigere Trainings in den Studienterminen hätten wahrscheinlich vor allem einen ermüdenden Effekt gehabt. Bereits nach 90 Sekunden kann eine HDM durch Ermüdung insuffizient werden. (164)

Bezogen auf die Kriterien des „active learning“ konnte dieses vor allem in den Praxiseinheiten der Studientermine stattfinden. Zur idealen Länge der Praxiseinheit ist wenig bekannt. Sowohl ERC als auch AHA geben in ihren Leitlinien zur Ausbildung der HDM keine Empfehlungen ab, wie lange ein Kurs zum BLS dauern sollte oder welchen Anteil am Kurs praktische Übungen haben sollten. (11, 167) In Deutschland wird BLS vor

allem in Erste-Hilfe-Kursen von Hilfsorganisationen gelehrt. Inhaltliche Vorgaben für deutsche Kurse werden vom Spitzenverband der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung erstellt. In diesen Ausführungen werden zwar Lernziele und klare Vorgaben für praktische Übungen gemacht, zeitliche Vorgaben wie lange oder oft eine HDM in Erste-Hilfe-Kursen geübt werden soll werden aber nicht gesetzt. (168) Die durchschnittliche Übungsdauer in einem Erste-Hilfe-Kurs scheint nahe an der Dauer einer Trainingseinheit in unserer Studie zu liegen, Breckwoldt et al. berichteten 2011 von durchschnittlich drei Minuten pro Teilnehmer:in in Berliner Erste-Hilfe-Kursen. (169) Die optimale Länge einer Trainingseinheit ist unbekannt, gleichzeitig scheint es viel wichtiger, dass ein BLS-Training in regelmäßigen Abständen wiederholt wird, um einer Verschlechterung der Fertigkeiten entgegenzuwirken. (11)

Unsere Studie konnte einen positiven Effekt von wiederholtem Training auf die Fertigkeiten in der HDM bei Studierenden zeigen. Im Rahmen der Trainings erhielten die Studierenden Feedback von den durchführenden Tutor:innen. Dieses scheint essenziell für den Lernerfolg zu sein. (170) Menschen können an sich nur schlecht ihre eigenen Leistungen bewerten, sie bewerten diese allgemein viel optimistischer als sie in Realität sind. (156, 171) Eine solche Überschätzung konnte bei britischen Assistenzärzt:innen gezeigt werden. Weder die persönliche Einschätzung noch die der Vorgesetzten korrelierte mit den realen Fertigkeiten in praktischen Prüfungen, darunter auch die der HDM. (172, 173) Dieser Umstand macht Rückmeldungen von außen nötig, um Leistungen effizient zu reflektieren und daraus Schlüsse für kommende Ereignisse zu ziehen. (171, 174) Aus diesen Gründen ist im Training der CPR auch eine alleinige Demonstration nicht ausreichend. Ein zumindest automatisiertes Feedback ist nötig, um den Teilnehmenden eine Verbesserung der Fertigkeiten zu ermöglichen. (175) In Hinblick auf eine Verstetigung von Trainingsprogrammen wie unserem sollte daher angedacht werden, Simulatoren mit integriertem, automatischem Feedback zu evaluieren. Solche Systeme wurden bereits im Bereich der medizinischen Ausbildung erprobt und konnten ähnliche Lernerfolge wie in unserer Studie erzielen. (122)

5.7. Einfluss der Corona-Pandemie auf die Studie

Der Studienzeitraum zwischen 2020 und 2021 fiel unter anderem in die Kontaktbeschränkungen der zweiten und dritten Welle der SARS-CoV-2-Pandemie in Deutschland. Diese Umstände haben die Studie in unterschiedlichen Gesichtspunkten

mit beeinflusst. Die Rekrutierung der Studierenden nach dem ersten Fachsemester wurde durch die Tatsache erschwert, dass einige Studierende durch Online-Lehre (noch) keinen Wohnsitz im Großraum Berlin hatten und im Rekrutierungszeitraum nicht vor Ort waren. Außerdem litt die Anwesenheit zu den Verlaufskontrollen unter der weitgehend online abgehaltenen Lehre, wodurch manche Studierende große Teile ihres zweiten und dritten Fachsemesters zuhause außerhalb Berlins absolvierten. Dadurch konnten wir weniger „Gelegenheits“-Teilnehmende rekrutieren, welche eventuell weniger Vorerfahrungen hatten als die Studienkohorte.

Gleichzeitig stellte die Studie für die rekrutierten Studierenden einen der wenigen Präsenztermine dar, den sie um universitären Betrieb hatten. Das stellte eine wichtige Motivation dar, regelmäßig zu den Verlaufsterminen zu erscheinen. Ohne die Corona-Beschränkungen hätten wir wahrscheinlich mehr Studierende erreichen können, diese Kohorte hätte aber voraussichtlich nicht die Compliance gezeigt, die unsere Kohorte schlussendlich bei den Verlaufstestungen hatte.

5.8. Stärken und Limitationen der Studie

5.8.1. Stärken

Die vorliegende Studie untersucht zum ersten Mal die Anwendung des differentiellen Lernens in der ärztlichen Ausbildung. Es konnte gezeigt werden, dass sich differentielles Lernen positiv auf die Entwicklung der Fertigkeiten im BLS auswirken kann, eine Transferleistung konnte jedoch nicht gezeigt werden. Die Studie konnte demonstrieren, dass ein kurzes Training von weniger als einer Stunde Dauer alle drei Monate die Skills im BLS zuverlässig erhalten oder sogar verbessern kann.

5.8.2. Limitationen

5.8.2.1. Bias

Die untersuchte Kohorte bestand zu einem überproportional hohen Anteil aus Personen mit notfallmedizinischer Vorerfahrung. Diese Verteilung kann auf einen Selektionsbias zurückzuführen sein: Personen mit notfallmedizinischer Vorerfahrung wissen eher um die Wichtigkeit eines regelmäßigen Trainings der HDM und könnten sich so häufiger zu dieser Studie gemeldet haben als Personen ohne Vorerfahrungen. (176) Dadurch darf die Baseline-Testung nicht vollumfänglich als repräsentative Leistung des gesamten Studiengangs angesehen werden. Studien von Santos et al. sowie Coutinho et al.

konnten zudem zeigen, dass im direkten Vergleich von U13- und U15- bzw. U15- und U17-Fußballspielern die jeweils jüngeren Kohorten den Älteren im Lernfortschritt überlegen waren. (75, 77) Hier kann das Alter der Fußballer mit Vorerfahrungen der Proband:innen gleichgesetzt werden, da beides im Kontext der jeweiligen Studien eine vorgegangene Exposition und Erfahrung mit dem grundlegenden Thema bedeutet (Fußball bzw. BLS). Es muss dementsprechend davon ausgegangen werden, dass die hohe Rate an Vorerfahrungen (siehe auch Kapitel 5.5. *Einfluss von Vorerfahrungen auf die HDM*) einen mindernden Effekt auf den Lernerfolg des differentiellen Trainings hatte.

5.8.2.2. *Feedback*

Die Studierenden erhielten nach jedem Training der HDM ein Feedback von den durchführenden Tutor:innen. Dieses orientierte sich zwar an der eben erzielten Leistung, welche auf einem iPad ausgelesen werden konnten, folgte jedoch darüber hinaus keinem standardisierten Format. Durch diese semi-strukturierten Nachbesprechungen ist davon auszugehen, dass Studierende zu den einzelnen Terminen gering unterschiedliches Feedback erhielten. Studien zu BLS-Trainings konnten zeigen, dass die Bewertungen von Software und Trainer:innen unterschiedlich sein können, auch zwischen den Bewertungen verschiedener Trainer:innen waren Unterschiede festzustellen. (177, 178)

5.8.2.3. *Fallzahl*

Die Aussagekraft der Ergebnisse wird außerdem durch die Zahl an Proband:innen beschränkt: Bei Planung der Studie wurde eine Gruppengröße von mindestens 32 Teilnehmer:innen pro Gruppe errechnet, um eine Power von 80% zu erreichen. Diese Nummer wurde schon initial nur in der Gruppe Musik erreicht, zu den Verlaufs- und Abschlusstestungen erreichte auch diese Gruppe die Zielwerte nicht mehr. Gesamt wurde die Abschlusstestung von 96 aus 120 Studierenden besucht, vollständige Datensätze zur Analyse der Lernverläufe lagen am Ende nur von 65 Studierenden vor.

5.8.2.4. *Methodische Vorgaben der Messwerte*

Unsere Studie wertete beide Parameter der Drucktiefe aus. Während die durchschnittliche Drucktiefe über den Studienzeitraum hinweg innerhalb der Leitlinien lag und durch Feedback gefestigt werden konnte, lag der mediane Anteil der suffizient tiefen Kompressionen zu allen Trainingsterminen unter 75%. Diese Diskrepanz zwischen den Parametern kann durch die Berechnung dieses Parameters „Drucktiefe (%)“ erklärt werden. Wenn Studierende beispielsweise eine Drucktiefe von durchschnittlich 49 mm

erreichen und diese bei jeder einzigen Kompression gehalten wird, werden sie zwei sehr unterschiedliche Messwerte erhalten. Die durchschnittliche Drucktiefe wird folglich 49 mm betragen, doch der Anteil an suffizient tiefen Kompressionen wird bei 0% liegen, weil keine Kompression eine Tiefe von 50 – 60 mm hatte. (179) Ein solches Messverhalten konnte mit den Primärdaten gut nachgestellt und auch in anderen Studien beobachtet werden. (59, 62, 65) Durch das Feedback auf Basis des besser fassbaren Messwertes der Drucktiefe in Millimetern konnte beim Anteil der suffizient tiefen Kompressionen auch kein Lernerfolg erzielt werden.

Studien zur Ausbildung der HDM sind bezüglich der erhobenen Parameter heterogen und schlecht vergleichbar. Um die Forschung in diesem Bereich nachhaltig weiterzuentwickeln und die Vergleichbarkeit unterschiedlicher Arbeiten zu verbessern, sollte unter Einbeziehung aller Akteure ein einheitlicher Rahmen zur Berichterstattung von CPR-Leistungen erarbeitet werden, in Anlehnung an den uniformen Rahmen für die Erhebung von Daten zu Herz-Kreislauf-Stillständen („Utstein style“). (180)

Die Leistungen der Studierenden in der Abschlusstestung wurden anhand von summativen Parametern bewertet. Diese Werte sind über die Dauer des gesamten Szenarios gemittelt worden und geben somit nur einen indirekten Einblick, ob und wie sich die CPR-Performance während der Interaktion mit der Oberärztin bzw. Oberarzt verändert hat. Weitere Untersuchungen mit einer Auswertung von Kompression zu Kompression sind nötig, um den genauen Effekt des Störfaktors in der Abschlusstestung zu quantifizieren.

Trainings in der Studie wurden (bis auf die Abschlusstestung) in einem Seminarraum ohne viel „Alltagsbezug“ abgehalten, um Einflussfaktoren auf die Güte der HDM zu verringern. Dieser von uns gewählte Ansatz eines „low-fidelity trainings“ kann Auswirkungen auf den Wissenstransfer in den klinischen Alltag haben. Eine Studie von Rodgers et al. konnte Vorteile von Trainings in hochrealistischen Umgebungen zeigen. Studierende, welche ein „high-fidelity training“ erhielten, schnitten in einem Reanimationsszenario besser ab als Teilnehmende, welche „low-fidelity training“ erhielten. (181)

5.9. Schlussfolgerung

Die vorliegende Studie konnte keinen Vorteil des differentiellen Lernens in der Ausbildung der Herzdruckmassage zeigen. Alle Gruppen reagierten zur Abschlusstestung auf die Einführung eines neuen Störfaktors ähnlich, ohne die HDM erheblich zu unterbrechen. Differentielles Lernen hatte keinen Effekt auf die Resilienz der Studierenden in der getesteten Situation. Die Gründe für dieses Ergebnis scheinen vielfältig, die Studienkohorte hatte überproportional viel medizinische Vorerfahrung und das Konzept des differentiellen Lernens konnte nur teilweise umgesetzt werden. Zur effektiveren Anwendung wären engere Trainingsintervalle und die Einführung von Bewegungsvariationen nötig gewesen.

Ungeachtet dessen konnte das engmaschige BLS-Training im Intervall von drei Monaten die Fertigkeiten von Medizinstudierenden in der HDM aufrechterhalten und verbessern. Erste Anzeichen eines verbesserten Lernerfolges durch differentielles Training waren in der Verlaufsbeobachtung der Studierenden in Form von Verbesserungen zur Baseline dennoch zu sehen.

Im Studienverlauf gewöhnten sich die Studierenden an wiederkehrende Störfaktoren, ein „Startvorteil“ von medizinisch erfahrenen Teilnehmer:innen verschwand im Rahmen des regelmäßigen Training. Bei Konfrontation mit einer neuen Situation konnten erfahrene Studierende aber wiederum deutlich besser reagieren. Der Wissensvorsprung durch medizinische Vorerfahrung kann durch differentielles Lernen alleine scheinbar nicht ausgeglichen werden.

5.10. Ausblick

Resilienz gegenüber externen Störfaktoren kann in akutmedizinischen Situationen entscheidend sein. Auch wenn diese Studie keinen sichtlichen Effekt des differentiellen Lernens zeigen konnte, sollte der gewonnene Datensatz weiter untersucht werden, um die Effekte der aktiven Distraction in der Abschlusstestung besser zu verstehen.

Die Ergebnisse der Abschlusstestung werfen zudem die Frage auf, inwiefern die Dynamik von Störfaktoren Auswirkungen auf die Disruption während einer Reanimation hat. Weitere Studien wären notwendig, um diese Rolle der Störfaktoren zu untersuchen.

Die Studie konnte zeigen, dass ein regelmäßiges Training von Studierenden in der Herzdruckmassage gut durchführbar ist und nachhaltig die Fertigkeiten verbessern kann.

Studierende und Auszubildende in Gesundheitsberufen sollten ein regelmäßiges Training mindestens halbjährlich erhalten, um die Versorgung von Patient:innen im Herz-Kreislauf-Stillstand weiter zu verbessern.

Der langfristige Effekt von differentiellem Lernen auf erlernte Fertigkeiten ist bisher ungeklärt. Die untersuchte Studienkohorte wird im Laufe ihres Studiums weiterhin nachverfolgt, um die langfristigen Auswirkungen des differentiellen Lernens zu untersuchen.

Zur Weiterentwicklung und besseren Vergleichbarkeit von Simulatorstudien zur CPR sollte ein uniformer Rahmen zur Berichterstattung der Messwerte, analog zum „Utstein Style“ für Herz-Kreislaufstillstände, erarbeitet werden.

6. Literaturverzeichnis

1. Fischer M, Wnent J, Gräsner J-T, Seewald S, Brenner S, Bein B, Ristau P, Bohn A. Jahresbericht des Deutschen Reanimationsregisters: Außerklinische Reanimation im Notarzt- und Rettungsdienst 2022. *Anästh Intensivmed.* 2023;64(7-8-2023):V161-V9.
2. Grasner JT, Lefering R, Koster RW, Masterson S, Bottiger BW, Herlitz J, Wnent J, Tjelmeland IB, Ortiz FR, Maurer H, Baubin M, Mols P, Hadzibegovic I, Ioannides M, Skulec R, Wissenberg M, Salo A, Hubert H, Nikolaou NI, Loczi G, Svavarsdottir H, Semeraro F, Wright PJ, Clarens C, Pijls R, Cebula G, Correia VG, Cimpoesu D, Raffay V, Trenkler S, Markota A, Stromsoe A, Burkart R, Perkins GD, Bossaert LL, EuReCa ONEC. EuReCa ONE-27 Nations, ONE Europe, ONE Registry: A prospective one month analysis of out-of-hospital cardiac arrest outcomes in 27 countries in Europe. *Resuscitation.* 2016;105:188-95.
3. Grasner JT, Wnent J, Herlitz J, Perkins GD, Lefering R, Tjelmeland I, Koster RW, Masterson S, Rossell-Ortiz F, Maurer H, Bottiger BW, Moertl M, Mols P, Alihodzic H, Hadzibegovic I, Ioannides M, Truhlar A, Wissenberg M, Salo A, Escutnaire J, Nikolaou N, Nagy E, Jonsson BS, Wright P, Semeraro F, Clarens C, Beesems S, Cebula G, Correia VH, Cimpoesu D, Raffay V, Trenkler S, Markota A, Stromsoe A, Burkart R, Booth S, Bossaert L. Survival after out-of-hospital cardiac arrest in Europe - Results of the EuReCa TWO study. *Resuscitation.* 2020;148:218-26.
4. Riva G, Hollenberg J, Svensson L, Ring M, Rubertsson S, Nordberg P, Claesson A, Djärv T, Herlitz J. 11 Increase in BYSTANDER-CPR in sweden is associated with increased rates of compression-only CPR. *BMJ Open.* 2017;7(Suppl 3):A4-A.
5. Hirlekar G, Jonsson M, Karlsson T, Back M, Rawshani A, Hollenberg J, Albertsson P, Herlitz J. Comorbidity and bystander cardiopulmonary resuscitation in out-of-hospital cardiac arrest. *Heart.* 2020;106(14):1087-93.
6. Breckwoldt J, Schloesser S, Arntz HR. Perceptions of collapse and assessment of cardiac arrest by bystanders of out-of-hospital cardiac arrest (OOHCA). *Resuscitation.* 2009;80(10):1108-13.
7. Wagner P, Schloesser S, Braun J, Arntz HR, Breckwoldt J. In out-of-hospital cardiac arrest, is the positioning of victims by bystanders adequate for CPR? A cohort study. *BMJ Open.* 2020;10(9):e037676.
8. Brinkroff P, Metelmann B, Scharte C, Zarbock A, Hahnenkamp K, Bohn A. Bystander-witnessed cardiac arrest is associated with reported agonal breathing and leads to less frequent bystander CPR. *Resuscitation.* 2018;127:114-8.
9. Perman SM, Shelton SK, Knoepke C, Rappaport K, Matlock DD, Adelgais K, Havranek EP, Daugherty SL. Public Perceptions on Why Women Receive Less Bystander Cardiopulmonary Resuscitation Than Men in Out-of-Hospital Cardiac Arrest. *Circulation.* 2019;139(8):1060-8.
10. Becker TK, Gul SS, Cohen SA, Maciel CB, Baron-Lee J, Murphy TW, Youn TS, Tyndall JA, Gibbons C, Hart L, Alviar CL, Florida Cardiac Arrest Resource T. Public perception towards bystander cardiopulmonary resuscitation. *Emerg Med J.* 2019;36(11):660-5.
11. Greif R, Lockey A, Breckwoldt J, Carmona F, Conaghan P, Kuzovlev A, Pflanzl-Knizacek L, Sari F, Shammeth S, Scapigliati A, Turner N, Yeung J, Monsieurs KG. European Resuscitation Council Guidelines 2021: Education for resuscitation. *Resuscitation.* 2021;161:388-407.
12. Semeraro F, Greif R, Bottiger BW, Burkart R, Cimpoesu D, Georgiou M, Yeung J, Lippert F, A SL, Olasveengen TM, Ristagno G, Schlieber J, Schnaubelt S, Scapigliati A, K GM. European Resuscitation Council Guidelines 2021: Systems saving lives. *Resuscitation.* 2021;161:80-97.
13. Hobgood C, Anantharaman V, Bandiera G, Cameron P, Halpern P, Holliman CJ, Jouriles N, Kilroy D, Mulligan T, Singer A, International Federation for Emergency M. International Federation for Emergency Medicine model curriculum for medical student education in emergency medicine. *Int J Emerg Med.* 2010;3(1):1-7.
14. Aggarwal AR, Khan I. Medical students' experiences of resuscitation and discussions surrounding resuscitation status. *Adv Med Educ Pract.* 2018;9:31-7.
15. Baldi E, Contri E, Bailoni A, Rendic K, Turcan V, Donchev N, Nadareishvili I, Petrica AM, Yerolemidou I, Petrenko A, Franke J, Labbe G, Jashari R, Perez Dali A, Borg J, Hertenberger N,

- Bottiger BW. Final-year medical students' knowledge of cardiac arrest and CPR: We must do more! *Int J Cardiol.* 2019;296:76-80.
16. Drummond D, Arnaud C, Thouvenin G, Guedj R, Duguet A, de Suremain N, Petit A. [Newly formed French residents in pediatrics are not well prepared for conducting pediatric resuscitation after medical school]. *Arch Pediatr.* 2016;23(2):150-8.
 17. Gouda P, Kirk A, Sweeney AM, O'Donovan D. Attitudes of Medical Students Toward Volunteering in Emergency Situations. *Disaster Med Public Health Prep.* 2020;14(3):308-11.
 18. Lüscher F, Hunziker S, Gaillard V, Tschan F, Semmer NK, Hunziker PR, Marsch S. Proficiency in cardiopulmonary resuscitation of medical students at graduation: a simulator-based comparison with general practitioners. *Swiss Med Wkly.* 2010;140(3-4):57-61.
 19. Smith GB, Poplett N. Knowledge of aspects of acute care in trainee doctors. *Postgrad Med J.* 2002;78(920):335-8.
 20. Ochsmann EB, Zier U, Drexler H, Schmid K. Well prepared for work? Junior doctors' self-assessment after medical education. *BMC Med Educ.* 2011;11(1):99.
 21. Lindberg O. 'The next step'--alumni students' views on their preparation for their first position as a physician. *Med Educ Online.* 2010;15(1):4884.
 22. Tallentire VR, Smith SE, Wylde K, Cameron HS. Are medical graduates ready to face the challenges of Foundation training? *Postgrad Med J.* 2011;87(1031):590-5.
 23. Monrouxe LV, Grundy L, Mann M, John Z, Panagoulas E, Bullock A, Mattick K. How prepared are UK medical graduates for practice? A rapid review of the literature 2009-2014. *BMJ Open.* 2017;7(1):e013656.
 24. Ahmed N, Davids R. COVID 19: are South African junior doctors prepared for critical care management outside the intensive care unit? *Pan Afr Med J.* 2021;40:41.
 25. Baker DJ. A Brief History of Artificial Ventilation. In: Baker DJ, editor. *Artificial Ventilation.* Cham: Springer International Publishing; 2016. p. 1-24.
 26. Maass F. Die Methode der Wiederbelebung bei Herztod nach Chloroformeinatmung. *Berliner Klinische Wochenschrift.* 1892;29(12):265.
 27. Taw RL, Jr. Dr. Friedrich Maass: 100th anniversary of "new" CPR. *Clin Cardiol.* 1991;14(12):1000-2.
 28. Safar P. Initiation of closed-chest cardiopulmonary resuscitation basic life support. A personal history. *Resuscitation.* 1989;18(1):7-20.
 29. Kouwenhoven WB, Jude JR, Knickerbocker GG. Closed-chest cardiac massage. *JAMA.* 1960;173(10):1064-7.
 30. Cardiopulmonary resuscitation. *JAMA.* 1966;198(4):372-9.
 31. Standards for Cardiopulmonary Resuscitation (CPR) and Emergency Cardiac Care (ECC). *JAMA.* 1974;227(7):833-68.
 32. Standards and guidelines for cardiopulmonary resuscitation (CPR) and emergency cardiac care (ECC). *JAMA.* 1980;244(5):453-509.
 33. Standards and Guidelines for Cardiopulmonary Resuscitation (CPR) and Emergency Cardiac Care (ECC). *JAMA: The Journal of the American Medical Association.* 1986;255(21):2905-84.
 34. Wolfe JA, Maier GW, Newton JR, Jr., Glower DD, Tyson GS, Jr., Spratt JA, Rankin JS, Olsen CO. Physiologic determinants of coronary blood flow during external cardiac massage. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 1988;95(3):523-32.
 35. Weisfeldt ML, Kerber RE, McGoldrick RP, Moss AJ, Nichol G, Ornato JP, Palmer DG, Riegel B, Smith SC, Jr. Public access defibrillation. A statement for healthcare professionals from the American Heart Association Task Force on Automatic External Defibrillation. *Circulation.* 1995;92(9):2763.
 36. Part 3: Adult Basic Life Support. *Circulation.* 2000;102(suppl_1):I-22-I-59.
 37. Handley AJ, Monsieurs KG, Bossaert LL, European Resuscitation Council G. European Resuscitation Council Guidelines 2000 for Adult Basic Life Support. A statement from the Basic Life Support and Automated External Defibrillation Working Group(1) and approved by the Executive Committee of the European Resuscitation Council. *Resuscitation.* 2001;48(3):199-205.
 38. Handley AJ, Koster R, Monsieurs K, Perkins GD, Davies S, Bossaert L, European Resuscitation C. European Resuscitation Council guidelines for resuscitation 2005. Section 2.

- Adult basic life support and use of automated external defibrillators. *Resuscitation*. 2005;67 Suppl 1:S7-23.
39. International Liaison Committee on R. 2005 International Consensus on Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care Science with Treatment Recommendations. Part 2: Adult basic life support. *Resuscitation*. 2005;67(2-3):187-201.
40. Koster RW, Baubin MA, Bossaert LL, Caballero A, Cassan P, Castren M, Granja C, Handley AJ, Monsieurs KG, Perkins GD, Raffay V, Sandroni C. European Resuscitation Council Guidelines for Resuscitation 2010 Section 2. Adult basic life support and use of automated external defibrillators. *Resuscitation*. 2010;81(10):1277-92.
41. Berg RA, Hemphill R, Abella BS, Aufderheide TP, Cave DM, Hazinski MF, Lerner EB, Rea TD, Sayre MR, Swor RA. Part 5: adult basic life support: 2010 American Heart Association Guidelines for Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care. *Circulation*. 2010;122(18 Suppl 3):S685-705.
42. Olasveengen TM, Semeraro F, Ristagno G, Castren M, Handley A, Kuzovlev A, Monsieurs KG, Raffay V, Smyth M, Soar J, Svavarsdottir H, Perkins GD. European Resuscitation Council Guidelines 2021: Basic Life Support. *Resuscitation*. 2021;161:98-114.
43. Panchal AR, Bartos JA, Cabanas JG, Donnino MW, Drennan IR, Hirsch KG, Kudenchuk PJ, Kurz MC, Lavonas EJ, Morley PT, O'Neil BJ, Peberdy MA, Rittenberger JC, Rodriguez AJ, Sawyer KN, Berg KM, Adult B, Advanced Life Support Writing G. Part 3: Adult Basic and Advanced Life Support: 2020 American Heart Association Guidelines for Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care. *Circulation*. 2020;142(16_suppl_2):S366-S468.
44. Sayre MR, Berg RA, Cave DM, Page RL, Potts J, White RD, American Heart Association Emergency Cardiovascular Care C. Hands-only (compression-only) cardiopulmonary resuscitation: a call to action for bystander response to adults who experience out-of-hospital sudden cardiac arrest: a science advisory for the public from the American Heart Association Emergency Cardiovascular Care Committee. *Circulation*. 2008;117(16):2162-7.
45. Baldi E, Bertaia D, Savastano S. Mouth-to-mouth: an obstacle to cardiopulmonary resuscitation for lay-rescuers. *Resuscitation*. 2014;85(12):e195-6.
46. Nolan JP, Monsieurs KG, Bossaert L, Bottiger BW, Greif R, Lott C, Madar J, Olasveengen TM, Roehr CC, Semeraro F, Soar J, Van de Voorde P, Zideman DA, Perkins GD, European Resuscitation Council C-GWG. European Resuscitation Council COVID-19 guidelines executive summary. *Resuscitation*. 2020;153:45-55.
47. Gentile AM. A Working Model of Skill Acquisition with Application to Teaching. *Quest*. 1972;17(1):3-23.
48. Kotsis SV, Chung KC. Application of the "see one, do one, teach one" concept in surgical training. *Plast Reconstr Surg*. 2013;131(5):1194-201.
49. Bonwell CC, Eison JA. *Active Learning: Creating Excitement in the Classroom*. Washington, D.C.: The George Washington University, School of Education and Human Development; 1991.
50. Speirs C, Brazil V. See one, do one, teach one: Is it enough? *No. Emerg Med Australas*. 2018;30(1):109-10.
51. Rohrich RJ. "See one, do one, teach one": an old adage with a new twist. *Plast Reconstr Surg*. 2006;118(1):257-8.
52. Walker M, Peyton JWR. *Teaching in the Theatre*. In: Peyton JWR, editor. *Teaching & Learning in Medical Practice*. Rickmannsworth, UK: Manticore Europe Ltd.; 1998.
53. Krautter M, Weyrich P, Schultz JH, Buss SJ, Maatouk I, Junger J, Nikendei C. Effects of Peyton's four-step approach on objective performance measures in technical skills training: a controlled trial. *Teach Learn Med*. 2011;23(3):244-50.
54. Seifert LB, Schnurr B, Stefanescu MC, Sader R, Ruessler M, Sterz J. Comparing video-based versions of Halsted's 'see one, do one' and Peyton's '4-step approach' for teaching surgical skills: a randomized controlled trial. *BMC Med Educ*. 2020;20(1):194.
55. Munster T, Stosch C, Hindrichs N, Franklin J, Matthes J. Peyton's 4-Steps-Approach in comparison: Medium-term effects on learning external chest compression - a pilot study. *GMS J Med Educ*. 2016;33(4):Doc60.

56. Jenko M, Frangez M, Manohin A. Four-stage teaching technique and chest compression performance of medical students compared to conventional technique. *Croat Med J.* 2012;53(5):486-95.
57. Giacomino K, Caliesch R, Sattelmayer KM. The effectiveness of the Peyton's 4-step teaching approach on skill acquisition of procedures in health professions education: A systematic review and meta-analysis with integrated meta-regression. *PeerJ.* 2020;8:e10129.
58. Woollard M, Whitfield R, Newcombe RG, Colquhoun M, Vetter N, Chamberlain D. Optimal refresher training intervals for AED and CPR skills: a randomised controlled trial. *Resuscitation.* 2006;71(2):237-47.
59. Aranda-Garcia S, Herrera-Pedroviejo E, Abelairas-Gomez C. Basic Life-Support Learning in Undergraduate Students of Sports Sciences: Efficacy of 150 Minutes of Training and Retention after Eight Months. *Int J Environ Res Public Health.* 2019;16(23):4771.
60. Schollhorn WI. Individualität - ein vernachlässigter Parameter? *Leistungssport.* 1999;29(2):5-12.
61. Hsieh MJ, Chiang WC, Jan CF, Lin HY, Yang CW, Ma MH. The effect of different retraining intervals on the skill performance of cardiopulmonary resuscitation in laypeople-A three-armed randomized control study. *Resuscitation.* 2018;128:151-7.
62. Zhou XL, Wang J, Jin XQ, Zhao Y, Liu RL, Jiang C. Quality retention of chest compression after repetitive practices with or without feedback devices: A randomized manikin study. *Am J Emerg Med.* 2020;38(1):73-8.
63. Griffin P, Cooper C, Glick J, Terndrup TE. Immediate and 1-year chest compression quality: effect of instantaneous feedback in simulated cardiac arrest. *Simul Healthc.* 2014;9(4):264-9.
64. McCoy CE, Rahman A, Rendon JC, Anderson CL, Langdorf MI, Lotfipour S, Chakravarthy B. Randomized Controlled Trial of Simulation vs. Standard Training for Teaching Medical Students High-quality Cardiopulmonary Resuscitation. *West J Emerg Med.* 2019;20(1):15-22.
65. Mahling M, Munch A, Schenk S, Volkert S, Rein A, Teichner U, Piontek P, Haffner L, Heine D, Manger A, Reutershan J, Rosenberger P, Herrmann-Werner A, Zipfel S, Celebi N. Basic life support is effectively taught in groups of three, five and eight medical students: a prospective, randomized study. *BMC Med Educ.* 2014;14(1):185.
66. Cho Y, Je S, Yoon YS, Roh HR, Chang C, Kang H, Lim T. The effect of peer-group size on the delivery of feedback in basic life support refresher training: a cluster randomized controlled trial. *BMC Med Educ.* 2016;16(1):167.
67. Sopka S, Biermann H, Rossaint R, Rex S, Jager M, Skorning M, Heussen N, Beckers SK. Resuscitation training in small-group setting--gender matters. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med.* 2013;21:30.
68. Carroll JB. A Model of School Learning. *Teachers College Record.* 1963;64(8):723-33.
69. Seel NM. Carroll's Model of School Learning. In: Seel NM, editor. *Encyclopedia of the Sciences of Learning.* Boston, MA: Springer US; 2012. p. 501-3.
70. Opportunity to Learn [Internet]. Oxford University Press. 2016 [cited 2022-05-20]. Available from: <https://www.oxfordhandbooks.com/view/10.1093/oxfordhb/9780199935291.001.0001/oxfordhb-9780199935291-e-70>.
71. Miller GA. The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. *Psychol Rev.* 1956;63(2):81-97.
72. Sweller J. Cognitive Load During Problem Solving: Effects on Learning. *Cogn Sci.* 1988;12(2):257-85.
73. Young JQ, Van Merriënboer J, Durning S, Ten Cate O. Cognitive Load Theory: implications for medical education: AMEE Guide No. 86. *Med Teach.* 2014;36(5):371-84.
74. van Merriënboer JJ, Sweller J. Cognitive load theory in health professional education: design principles and strategies. *Med Educ.* 2010;44(1):85-93.
75. Santos S, Coutinho D, Goncalves B, Schollhorn W, Sampaio J, Leite N. Differential Learning as a Key Training Approach to Improve Creative and Tactical Behavior in Soccer. *Res Q Exerc Sport.* 2018;89(1):11-24.

76. Schollhorn WI, Beckmann H, Davids K. Exploiting system fluctuations. Differential training in physical prevention and rehabilitation programs for health and exercise. *Medicina (Kaunas)*. 2010;46(6):365-73.
77. Coutinho D, Santos S, Goncalves B, Travassos B, Wong DP, Schollhorn W, Sampaio J. The effects of an enrichment training program for youth football attackers. *PLoS One*. 2018;13(6):e0199008.
78. Poureghbali S, Arede J, Rehfeld K, Schollhorn W, Leite N. Want to Impact Physical, Technical, and Tactical Performance during Basketball Small-Sided Games in Youth Athletes? Try Differential Learning Beforehand. *Int J Environ Res Public Health*. 2020;17(24).
79. Henz D, Schollhorn WI. Differential Training Facilitates Early Consolidation in Motor Learning. *Front Behav Neurosci*. 2016;10:199.
80. Wagner H, Muller E. The effects of differential and variable training on the quality parameters of a handball throw. *Sports Biomech*. 2008;7(1):54-71.
81. Henz D, John A, Merz C, Schollhorn WI. Post-task Effects on EEG Brain Activity Differ for Various Differential Learning and Contextual Interference Protocols. *Front Hum Neurosci*. 2018;12(19):19.
82. James EG. Short-term differential training decreases postural sway. *Gait Posture*. 2014;39(1):172-6.
83. Repsaite V, Vainoras A, Berskiene K, Baltaduoniene D, Daunoraviciene A, Sendzikaite E. The effect of differential training-based occupational therapy on hand and arm function in patients after stroke: Results of the pilot study. *Neurol Neurochir Pol*. 2015;49(3):150-5.
84. Hunziker S, Laschinger L, Portmann-Schwarz S, Semmer NK, Tschan F, Marsch S. Perceived stress and team performance during a simulated resuscitation. *Intensive Care Med*. 2011;37(9):1473-9.
85. Vincent A, Semmer NK, Becker C, Beck K, Tschan F, Bobst C, Schuetz P, Marsch S, Hunziker S. Does stress influence the performance of cardiopulmonary resuscitation? A narrative review of the literature. *J Crit Care*. 2021;63:223-30.
86. Lee K, Kim MJ, Park J, Park JM, Kim KH, Shin DW, Kim H, Jeon W, Kim H. The effect of distraction by dual work on a CPR practitioner's efficiency in chest compression: A randomized controlled simulation study. *Medicine (Baltimore)*. 2017;96(43):e8268.
87. Krage R, Zwaan L, Tjon Soei Len L, Kolenbrander MW, van Groenigen D, Loer SA, Wagner C, Schober P. Relationship between non-technical skills and technical performance during cardiopulmonary resuscitation: does stress have an influence? *Emerg Med J*. 2017;34(11):728-33.
88. Folscher LL, Goldstein LN, Wells M, Rees D. Emergency department noise: mental activation or mental stress? *Emerg Med J*. 2015;32(6):468-73.
89. Porter JE, Cooper SJ, Sellick K. Family presence during resuscitation (FPDR): Perceived benefits, barriers and enablers to implementation and practice. *Int Emerg Nurs*. 2014;22(2):69-74.
90. Jabre P, Belpomme V, Azoulay E, Jacob L, Bertrand L, Lapostolle F, Tazarourte K, Bouilleau G, Pinaud V, Broche C, Normand D, Baubet T, Ricard-Hibon A, Istria J, Beltramini A, Alheritiere A, Assez N, Nace L, Vivien B, Turi L, Launay S, Desmaizieres M, Borron SW, Vicaut E, Adnet F. Family presence during cardiopulmonary resuscitation. *N Engl J Med*. 2013;368(11):1008-18.
91. Oczkowski SJ, Mazzetti I, Cupido C, Fox-Robichaud AE. The offering of family presence during resuscitation: a systematic review and meta-analysis. *J Intensive Care*. 2015;3(1):41.
92. Bjorshol CA, Myklebust H, Nilsen KL, Hoff T, Bjorkli C, Illguth E, Soreide E, Sunde K. Effect of socioemotional stress on the quality of cardiopulmonary resuscitation during advanced life support in a randomized manikin study. *Crit Care Med*. 2011;39(2):300-4.
93. Hong S-H, Yang Yeun S, Han S-K. [Effect of level D personal protective equipment on chest compression for pre-hospital arrest patients with suspected or confirmed COVID-19: A randomized crossover simulation trial.]. *The Korean Journal of Emergency Medical Services*. 2021;25(1):23-36.

94. Rauch S, van Veelen MJ, Oberhammer R, Dal Cappello T, Roveri G, Gruber E, Strapazzon G. Effect of Wearing Personal Protective Equipment (PPE) on CPR Quality in Times of the COVID-19 Pandemic-A Simulation, Randomised Crossover Trial. *J Clin Med.* 2021;10(8).
95. Malysz M, Smereka J, Jaguszewski M, Dabrowski M, Nadolny K, Ruetzler K, Ladny JR, Sterlinski M, Filipiak KJ, Szarpak L. An optimal chest compression technique using personal protective equipment during resuscitation in the COVID-19 pandemic: a randomized crossover simulation study. *Kardiol Pol.* 2020;78(12):1254-61.
96. Chen J, Lu KZ, Yi B, Chen Y. Chest Compression With Personal Protective Equipment During Cardiopulmonary Resuscitation: A Randomized Crossover Simulation Study. *Medicine (Baltimore).* 2016;95(14):e3262.
97. Kienbacher CL, Grafeneder J, Tscherny K, Krammel M, Fuhrmann V, Niederer M, Neudorfsky S, Herbich K, Schreiber W, Herkner H, Roth D. The use of personal protection equipment does not impair the quality of cardiopulmonary resuscitation: A prospective triple-cross over randomised controlled non-inferiority trial. *Resuscitation.* 2021;160:79-83.
98. LLP - Lehrveranstaltung - Praktikum Notfall 2, als Helfer, M01, 1.FS, WiSe2021, MSM2 [Internet]. Lehrveranstaltungs- und Lernzielplattform. [cited 2022-01-27]. Available from: <https://lernziele.charite.de/zend/studentenlvelist/lve/lve/76889>.
99. a-ha. Take on me. *Hunting High and Low*: Warner Bros.; 1984.
100. Hafner JW, Jou AC, Wang H, Bleess BB, Tham SK. Death before disco: the effectiveness of a musical metronome in layperson cardiopulmonary resuscitation training. *J Emerg Med.* 2015;48(1):43-52.
101. AC/DC. *Highway to Hell*. Highway to Hell: Atlantic Records; 1979.
102. Beatles T. *Yellow Submarine*. Revolver: Sony/ATV Music Publishing LLC; 1966.
103. Gees B. *Stayin' Alive*. Saturday Night Fever: RSO Records; 1977.
104. Hafner JW, Sturgell JL, Matlock DL, Bockewitz EG, Barker LT. "Stayin' alive": a novel mental metronome to maintain compression rates in simulated cardiac arrests. *J Emerg Med.* 2012;43(5):e373-7.
105. Pawloy K, Hansen F. personal communication with Frederik Hansen, Design Manager Laerdal Medical. 2020.
106. Tomlinson AE, Nysaether J, Kramer-Johansen J, Steen PA, Dorph E. Compression force-depth relationship during out-of-hospital cardiopulmonary resuscitation. *Resuscitation.* 2007;72(3):364-70.
107. Cohen J. A power primer. *Psychol Bull.* 1992;112(1):155-9.
108. Hemmerich W. StatistikGuru: Multiple Lineare Regression in SPSS [Internet]. 2019 [cited 2022-07-15]. Available from: <https://statistikguru.de/spss/multiple-lineare-regression/einleitung-2.html>.
109. Lorenc ES, Mallett R, Lewis-Peacock JA. Distraction in Visual Working Memory: Resistance is Not Futile. *Trends Cogn Sci.* 2021;25(3):228-39.
110. van Moorselaar D, Slagter HA. Inhibition in selective attention. *Ann N Y Acad Sci.* 2020;1464(1):204-21.
111. Thompson P. Startled People. In: Schapira AHV, Lang AET, Fahn S, editors. *Movement Disorders 4*. Blue Books of Neurology. 34: Butterworth-Heinemann; 2010. p. 622-9.
112. Fetcho JR, McLean DL. Startle Response. In: Squire LR, editor. *Encyclopedia of Neuroscience*. Oxford: Academic Press; 2009. p. 375-9.
113. Jones SI, Jeffers JM, Perretta J, Stella A, Sorcher JL, Hunt EA, Duval-Arnould JM. Closing the Gap: Optimizing Performance to Reduce Interruptions in Cardiopulmonary Resuscitation. *Pediatr Crit Care Med.* 2020;21(9):e592-e8.
114. Bjorkli CA, Overgard KI, Bjorshol CA, Myklebust H, Hoff T. Effects of socio-emotional stressors on ventilation rate and subjective workload during simulated CPR by lay rescuers. *Appl Ergon.* 2012;43(4):799-802.
115. Madore KP, Wagner AD. Multicosts of Multitasking. *Cerebrum.* 2019;2019.
116. Lahnakoski JM, Jaaskelainen IP, Sams M, Nummenmaa L. Neural mechanisms for integrating consecutive and interleaved natural events. *Hum Brain Mapp.* 2017;38(7):3360-76.
117. Zhuo B, Zhu M, Cao B, Li F. More change in task repetition, less cost in task switching: Behavioral and event-related potential evidence. *Eur J Neurosci.* 2021;53(8):2553-66.

118. Gaspar A, Santos S, Coutinho D, Goncalves B, Sampaio J, Leite N. Acute effects of differential learning on football kicking performance and in countermovement jump. *PLoS One*. 2019;14(10):e0224280.
119. Sweller J, van Merriënboer JJG, Paas FGWC. Cognitive architecture and instructional design. *Educ Psychol Rev*. 1998;10(3):251-96.
120. Kessler DO, Lemke DS, Jani P, Dewan ML, Moore-Clingenpeel M, Chang TP, Pirie J, Lovett ME, Harwayne-Gidansky I, Wolfe HA, Quality Cardiopulmonary Resuscitation leaderboard investigators of the International Network for Simulation-based Pediatric Innovation R, Education. Caregiver Characteristics Associated With Quality of Cardiac Compressions on an Adult Mannequin With Real-Time Visual Feedback: A Simulation-Based Multicenter Study. *Simul Healthc*. 2020;15(2):82-8.
121. Ballesteros-Pena S, Vallejo-de la Hoz G, Fernandez-Aedo I, Etayo-Sancho A, Berasaluze-Sanz L, Dominguez-Garcia J. Rescuers' characteristics associated with the correct chest compression during cardiopulmonary resuscitation. *Enferm Intensiva (Engl Ed)*. 2021.
122. Oermann MH, Krusmark MA, Kardong-Edgren S, Jastrzembski TS, Gluck KA. Training interval in cardiopulmonary resuscitation. *PLoS One*. 2020;15(1):e0226786.
123. Apidogo JB, Burdack J, Schollhorn WI. Repetition without Repetition or Differential Learning of Multiple Techniques in Volleyball? *Int J Environ Res Public Health*. 2021;18(19).
124. Demaria S, Jr., Bryson EO, Mooney TJ, Silverstein JH, Reich DL, Bodian C, Levine AI. Adding emotional stressors to training in simulated cardiopulmonary arrest enhances participant performance. *Med Educ*. 2010;44(10):1006-15.
125. Hyun SH, Han JH, Ryew CC. Effect of knee positions on cardiac compression variables in cardiopulmonary resuscitation of rescuer; Manikin study. *J Exerc Rehabil*. 2018;14(3):530-5.
126. Chi CH, Tsou JY, Su FC. Effects of rescuer position on the kinematics of cardiopulmonary resuscitation (CPR) and the force of delivered compressions. *Resuscitation*. 2008;76(1):69-75.
127. Jiang C, Jiang S, Zhao Y, Xu B, Zhou XL. Dominant hand position improves the quality of external chest compression: a manikin study based on 2010 CPR guidelines. *J Emerg Med*. 2015;48(4):436-44.
128. Kaye W, Rallis SF, Mancini ME, Linhares KC, Angell ML, Donovan DS, Zajano NC, Finger JA. The problem of poor retention of cardiopulmonary resuscitation skills may lie with the instructor, not the learner or the curriculum. *Resuscitation*. 1991;21(1):67-87.
129. Hoffmann M. Nichtschadensprinzip (Principle of Nonmaleficence). In: Lenk C, Duttge G, Fangerau H, editors. *Handbuch Ethik und Recht der Forschung am Menschen*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2014. p. 201-5.
130. Pabel SO, Pabel AK, Schmickler J, Schulz X, Wiegand A. Impact of a Differential Learning Approach on Practical Exam Performance: A Controlled Study in a Preclinical Dental Course. *J Dent Educ*. 2017;81(9):1108-13.
131. Rico-Gonzalez M, Pino-Ortega J, Praca GM, Clemente FM. Practical Applications for Designing Soccer' Training Tasks From Multivariate Data Analysis: A Systematic Review Emphasizing Tactical Training. *Percept Mot Skills*. 2022;129(3):892-931.
132. Bergmann F, Gray R, Wachsmuth S, Honer O. Perceptual-Motor and Perceptual-Cognitive Skill Acquisition in Soccer: A Systematic Review on the Influence of Practice Design and Coaching Behavior. *Front Psychol*. 2021;12:772201.
133. Anderson R, Sebaldt A, Lin Y, Cheng A. Optimal training frequency for acquisition and retention of high-quality CPR skills: A randomized trial. *Resuscitation*. 2019;135:153-61.
134. Hernandez-Padilla JM, Suthers F, Granero-Molina J, Fernandez-Sola C. Effects of two retraining strategies on nursing students' acquisition and retention of BLS/AED skills: A cluster randomised trial. *Resuscitation*. 2015;93:27-34.
135. Bae J, Chung TN, Je SM. Effect of the rate of chest compression familiarised in previous training on the depth of chest compression during metronome-guided cardiopulmonary resuscitation: a randomised crossover trial. *BMJ Open*. 2016;6(2):e010873.
136. Niles D, Nysaether J, Sutton R, Nishisaki A, Abella BS, Arbogast K, Maltese MR, Berg RA, Helfaer M, Nadkarni V. Learning is common during in-hospital pediatric CPR, and decreased with automated corrective feedback. *Resuscitation*. 2009;80(5):553-7.

137. Sarac L, Ok A. The effects of different instructional methods on students' acquisition and retention of cardiopulmonary resuscitation skills. *Resuscitation*. 2010;81(5):555-61.
138. Ostergaard AMH, Grove EL, Lauridsen KG, Lofgren B. Different perceptions of thorax anatomy and hand placement for chest compressions among healthcare professionals and laypersons: Implications for cardiopulmonary resuscitation. *Resusc Plus*. 2021;7:100138.
139. Koyama Y, Matsuyama T, Kainoh T, Hoshino T, Nakao J, Shimojo N, Inoue Y. Adequacy of hand positioning by medical personnel during chest compression in a simulation study. *Acute Med Surg*. 2021;8(1):e658.
140. Cipani S, Bartolozzi C, Ballo P, Sarti A. Blood flow maintenance by cardiac massage during cardiopulmonary resuscitation: Classical theories, newer hypotheses, and clinical utility of mechanical devices. *J Intensive Care Soc*. 2019;20(1):2-10.
141. Hwang SO, Zhao PG, Choi HJ, Park KH, Cha KC, Park SM, Kim SC, Kim H, Lee KH. Compression of the left ventricular outflow tract during cardiopulmonary resuscitation. *Acad Emerg Med*. 2009;16(10):928-33.
142. Olszynski PA, Bryce R, Hussain Q, Dunn S, Blondeau B, Atkinson P, Woods R. A Novel Anatomic Landmark to Target the Left Ventricle During Chest Compressions in Cardiac Arrest. *Cureus*. 2021;13(3):e13652.
143. Studieneingangsbefragung SoSe 2018. Charité Universitätsmedizin Berlin: Bereich Qualitätssicherung; 2018.
144. Studieneingangsbefragung WS 2019/20. Justus-Liebig-Universität Gießen: Stabsabteilung Studium, Lehre, Weiterbildung, Qualitätssicherung; 2020.
145. Studieneingangsbefragung WiSe 2020/21. Charité Universitätsmedizin Berlin: Bereich Qualitätssicherung; 2021.
146. Body-Mass-Index (im Durchschnitt und Verteilung der Bevölkerung auf Body-Mass-Index-Gruppen (in Prozent)). Gliederungsmerkmale: Jahre, Deutschland, Alter, Geschlecht, Body-Mass-Index [Internet]. Gesundheitsberichtserstattung des Bundes; 2017 [cited 2018-08-01]. Available from: https://www.gbe-bund.de/gbe/pkg_isgbe5.prc_menu_olap?p_uid=gastd&p_aid=84290465&p_sprache=D&p_hel p=2&p_indnr=434&p_indsp=&p_ityp=H&p_fid=.
147. Fan LM, Collins A, Geng L, Li JM. Impact of unhealthy lifestyle on cardiorespiratory fitness and heart rate recovery of medical science students. *BMC Public Health*. 2020;20(1):1012.
148. Pop LM, Iorga M, Sipos LR, Iurcov R. Gender Differences in Healthy Lifestyle, Body Consciousness, and the Use of Social Networks among Medical Students. *Medicina (Kaunas)*. 2021;57(7).
149. Oh JH, Kim CW. Relationship between chest compression depth and novice rescuer body weight during cardiopulmonary resuscitation. *Am J Emerg Med*. 2016;34(12):2411-3.
150. Contri E, Cornara S, Somaschini A, Dossena C, Tonani M, Epis F, Zambaiti E, Fichtner F, Baldi E. Complete chest recoil during laypersons' CPR: Is it a matter of weight? *Am J Emerg Med*. 2017;35(9):1266-8.
151. Peberdy MA, Silver A, Ornato JP. Effect of caregiver gender, age, and feedback prompts on chest compression rate and depth. *Resuscitation*. 2009;80(10):1169-74.
152. Ippolito M, Cortegiani A, Ferraro OE, Borrelli P, Contri E, Burkart R, Baldi E, Investigators M-C. Physical activity and quality of cardiopulmonary resuscitation: A secondary analysis of the MANI-CPR trial. *Am J Emerg Med*. 2021;50:330-4.
153. Amtliches Mitteilungsblatt 237 [Internet]. Charité – Universitätsmedizin Berlin; 2019 [cited 2022-05-17]. Available from: https://www.charite.de/fileadmin/user_upload/portal/charite/presse/publikationen/amtli-mitteilungsblatt/2019/AMB191211-237.pdf.
154. Hinweise zur Bewerbung für die Studiengänge [Internet]. Charité Universitätsmedizin Berlin: Prodekanat für Studium und Lehre, Referat für Studienangelegenheiten; 2022 [cited 2022-05-17]. Available from: https://www.charite.de/fileadmin/user_upload/portal/relaunch/studium/dokumente_downloads/C210_D_Hinweise_Bewerbung_AdH_3.0_01.pdf.

155. Gut 60 Prozent weibliche Studienanfänger an der Charité [Internet]. *Ärztezeitung.de*; 2020 [cited 2022-10-16]. Available from: <https://www.aerztezeitung.de/Nachrichten/Gut-60-Prozent-weibliche-Studienanfaenger-an-der-Charite-412833.html>.
156. Kruger J, Dunning D. Unskilled and unaware of it: how difficulties in recognizing one's own incompetence lead to inflated self-assessments. *J Pers Soc Psychol.* 1999;77(6):1121-34.
157. Pawloy K, Dohle N, Treskatsch S, Degel A. Kampf der Kompressionen: Wer reanimiert besser – 1. oder 10. Semester? Jahrestagung der Gesellschaft für Medizinische Ausbildung (GMA); 2021-09-15; Zürich: German Medical Science GMS Publishing House; 2021. p. DocV26-03.
158. Idris AH, Guffey D, Pepe PE, Brown SP, Brooks SC, Callaway CW, Christenson J, Davis DP, Daya MR, Gray R, Kudenchuk PJ, Larsen J, Lin S, Menegazzi JJ, Sheehan K, Sopko G, Stiell I, Nichol G, Aufderheide TP, Resuscitation Outcomes Consortium I. Chest compression rates and survival following out-of-hospital cardiac arrest. *Crit Care Med.* 2015;43(4):840-8.
159. Monsieurs KG, De Regge M, Vansteelandt K, De Smet J, Annaert E, Lemoyne S, Kalmar AF, Calle PA. Excessive chest compression rate is associated with insufficient compression depth in prehospital cardiac arrest. *Resuscitation.* 2012;83(11):1319-23.
160. Fried DA, Leary M, Smith DA, Sutton RM, Niles D, Herzberg DL, Becker LB, Abella BS. The prevalence of chest compression leaning during in-hospital cardiopulmonary resuscitation. *Resuscitation.* 2011;82(8):1019-24.
161. Glatz AC, Nishisaki A, Niles DE, Hanna BD, Eilevstjonn J, Diaz LK, Gillespie MJ, Rome JJ, Sutton RM, Berg RA, Nadkarni VM. Sternal wall pressure comparable to leaning during CPR impacts intrathoracic pressure and haemodynamics in anaesthetized children during cardiac catheterization. *Resuscitation.* 2013;84(12):1674-9.
162. How does compression clicker function for Little Anne and Little Junior? [Internet]. Laerdal Medical [cited 2022-03-22]. Available from: <https://laerdal.force.com/HelpCenter/s/article/How-does-compression-clicker-function-for-Little-Anne-and-Little-Junior>.
163. Goharani R, Vahedian-Azimi A, Farzanegan B, Bashar FR, Hajiesmaeili M, Shojaei S, Madani SJ, Gohari-Moghaddam K, Hatamian S, Mosavinasab SMM, Khoshfetrat M, Khabiri Khatir MA, Miller AC, Collaborative M. Real-time compression feedback for patients with in-hospital cardiac arrest: a multi-center randomized controlled clinical trial. *J Intensive Care.* 2019;7(1):5.
164. Hightower D, Thomas SH, Stone CK, Dunn K, March JA. Decay in quality of closed-chest compressions over time. *Ann Emerg Med.* 1995;26(3):300-3.
165. Ashton A, McCluskey A, Gwinnutt CL, Keenan AM. Effect of rescuer fatigue on performance of continuous external chest compressions over 3 min. *Resuscitation.* 2002;55(2):151-5.
166. Nishiyama C, Iwami T, Kawamura T, Ando M, Kajino K, Yonemoto N, Fukuda R, Yuasa H, Yokoyama H, Nonogi H. Effectiveness of simplified chest compression-only CPR training program with or without preparatory self-learning video: a randomized controlled trial. *Resuscitation.* 2009;80(10):1164-8.
167. Cheng A, Magid DJ, Auerbach M, Bhanji F, Bigham BL, Blewer AL, Dainty KN, Diederich E, Lin Y, Leary M, Mahgoub M, Mancini ME, Navarro K, Donoghue A. Part 6: Resuscitation Education Science: 2020 American Heart Association Guidelines for Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care. *Circulation.* 2020;142(16_suppl_2):S551-S79.
168. Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (DGUV). DGUV Grundsatz 304-001 Ermächtigung von Stellen für die Aus- und Fortbildung in der Ersten Hilfe. Berlin 2022.
169. Breckwoldt J, Lingemann C, Wagner P. [Resuscitation training for lay persons in first aid courses: Transfer of knowledge, skills and attitude]. *Anaesthesist.* 2016;65(1):22-9.
170. Harvey PR, Higenbottam CV, Owen A, Hulme J, Bion JF. Peer-led training and assessment in basic life support for healthcare students: synthesis of literature review and fifteen years practical experience. *Resuscitation.* 2012;83(7):894-9.
171. Eva KW, Regehr G. "I'll never play professional football" and other fallacies of self-assessment. *J Contin Educ Health Prof.* 2008;28(1):14-9.

172. Fox RA, Ingham Clark CL, Scotland AD, Dacre JE. A study of pre-registration house officers' clinical skills. *Med Educ.* 2000;34(12):1007-12.
173. Barnsley L, Lyon PM, Ralston SJ, Hibbert EJ, Cunningham I, Gordon FC, Field MJ. Clinical skills in junior medical officers: a comparison of self-reported confidence and observed competence. *Med Educ.* 2004;38(4):358-67.
174. Davis DA, Mazmanian PE, Fordis M, Van Harrison R, Thorpe KE, Perrier L. Accuracy of physician self-assessment compared with observed measures of competence: a systematic review. *JAMA.* 2006;296(9):1094-102.
175. Mpotos N, De Wever B, Calle PA, Valcke MA, Peersman W, Monsieurs KG. Acquiring basic life support skills in a self-learning station: video alone is not enough. *Eur J Emerg Med.* 2013;20(5):315-21.
176. Lund-Kordahl I, Mathiassen M, Melau J, Olasveengen TM, Sunde K, Fredriksen K. Relationship between level of CPR training, self-reported skills, and actual manikin test performance-an observational study. *Int J Emerg Med.* 2019;12(1):2.
177. Gonzalez BS, Martinez L, Cerda M, Piacentini E, Trenado J, Quintana S. Assessing practical skills in cardiopulmonary resuscitation: Discrepancy between standard visual evaluation and a mechanical feedback device. *Medicine (Baltimore).* 2017;96(13):e6515.
178. Hansen C, Bang C, Rasmussen SE, Nebsbjerg MA, Lauridsen KG, Bjornshave Bomholt K, Krogh K, Lofgren B. Basic life support training: Demonstration versus lecture - A randomised controlled trial. *Am J Emerg Med.* 2020;38(4):720-6.
179. Laerdal Medical. CPR scoring explained [Internet]. [cited 2021-12-21]. Available from: <https://laerdal.com/de/support/scoring/>.
180. Cummins RO, Chamberlain DA, Abramson NS, Allen M, Baskett PJ, Becker L, Bossaert L, Deloof HH, Dick WF, Eisenberg MS, et al. Recommended guidelines for uniform reporting of data from out-of-hospital cardiac arrest: the Utstein Style. A statement for health professionals from a task force of the American Heart Association, the European Resuscitation Council, the Heart and Stroke Foundation of Canada, and the Australian Resuscitation Council. *Circulation.* 1991;84(2):960-75.
181. Rodgers DL, Securro S, Jr., Pauley RD. The effect of high-fidelity simulation on educational outcomes in an advanced cardiovascular life support course. *Simul Healthc.* 2009;4(4):200-6.

7. Eidesstattliche Versicherung

„Ich, Klemens Pawloy, versichere an Eides statt durch meine eigenhändige Unterschrift, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Thema: „Differenzielles Lernen im BLS – Einfluss von Umweltfaktoren auf die Güte der Reanimation“ / „Differential Learning in BLS – Influence of distractors on the performance of chest compressions“ selbstständig und ohne nicht offengelegte Hilfe Dritter verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel genutzt habe.

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

Ich versichere ferner, dass ich die in Zusammenarbeit mit anderen Personen generierten Daten, Datenauswertungen und Schlussfolgerungen korrekt gekennzeichnet und meinen eigenen Beitrag sowie die Beiträge anderer Personen korrekt kenntlich gemacht habe (siehe Anteilserklärung). Texte oder Textteile, die gemeinsam mit anderen erstellt oder verwendet wurden, habe ich korrekt kenntlich gemacht.

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

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

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

Datum

Unterschrift

8. Anteilserklärung an etwaigen erfolgten Publikationen

Klemens Pawloy hatte folgenden Anteil an den folgenden Publikationen:

Pawloy K, Dohle N, Treskatsch S, Degel A. Kampf der Kompressionen: Wer reanimiert besser – 1. oder 10. Semester? GMA Jahrestagung 2021, Zürich, 09/2021

Anteil: Verfassen des Ethikantrags, Erhebung und Bereitstellung der Vergleichskohorte des ersten Semesters, statistische Analyse der Epidemiologie, Präsentation mit N. Dohle auf der GMA Jahrestagung

Unterschrift, Datum und Stempel des erstbetreuenden Hochschullehrers

Unterschrift des Doktoranden

9. Lebenslauf

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

PUBLIKATIONSLISTE

Originalarbeiten

Gintrowicz R, Pawloy K, Richter J, Degel A. Can we adequately teach ethics and ethical decision making via distant learning? A pandemic pilot. **GMS J Med Educ.** 2020;37(7).

Gintrowicz R, Pawloy K, Degel A. Social distancing in advanced emergency medicine courses - can it work? **GMS J Med Educ.** 2021;38(1):Doc22-Doc.

Vorträge

Pawloy K, Buchmann M, Penders D, Machner M. Pop oder Rock – Beeinflusst das Musikgenre die Herzdruckmassage? 15. Internationales Skills Lab Symposium 2021, Krems, 03/2021

Pawloy K, Dohle N, Treskatsch S, Degel A. Kampf der Kompressionen: Wer reanimiert besser – 1. oder 10. Semester? GMA Jahrestagung 2021, Zürich, 09/2021

Poster

Pawloy K, Gintrowicz R, Richter J, Degel A. Can we adequately teach ethics and ethical decision making via distant learning? A pandemic pilot. AMEE 2021, Glasgow, 08/2021

10. Danksagung

Mein erster Dank gilt den Proband:innen dieser Studie, welche mir, ohne finanzielle oder sonstige Anreize, über ein ganzes Jahr die Treue gehalten haben und regelmäßig zu den Trainings erschienen sind.

Ein weiterer, ebenso großer Dank gilt meinen beiden Betreuern Dr. Antje Degel und Prof. Sascha Treskatsch. Dr. Degel für die Überlassung des Themas und den intensiven, vor allem fachdidaktischen Input, und Prof. Treskatsch für eine Betreuung und Erreichbarkeit als Doktorvater, von der andere Kommiliton:innen nur träumen konnten.

Bei einer solchen, groß angelegten Studie gilt ein herzliches Dankeschön auch den Helfer:innen, ohne die dieses Projekt nicht möglich gewesen wäre. Danke an Robert Gintrowicz, Niklas Dohle, Jonas Woamey und Hannes Fichtner, die mich als Tutoren unterstützt haben und an Dr. Mareen Machner und Dr. Dorothea Penders für die Bereitstellung von Material und Räumlichkeiten im Lernzentrum.

Für ihre Darbietungen als Oberärztin und Oberarzt in der Abschlusstestung möchte ich mich außerdem bei Uwe Reisner, Henning Sudau, Marc-Julien Brüggemann, Dr. Mareen Machner und Jana Maertz bedanken.

Für die statistische Betreuung vom Entwurf des Ethikantrages bis zur Datenauswertung möchte ich mich auch herzlich bei Kerstin Rubarth bedanken.

Ein letzter Dank gilt meinen Freunden und meiner Familie, die immer ein offenes Ohr für meinen gelegentlichen Frust und Verzweiflung hatten und mich auf dem gesamten Weg dieser Arbeit begleitet haben.

11. Bescheinigung über die statistische Beratung



CharitéCentrum für Human- und Gesundheitswissenschaften

Charité | Campus Charité Mitte | 10117 Berlin

Institut für Biometrie und Klinische Epidemiologie (iBikE)

Direktor: Prof. Dr. Frank Konietzke

Postanschrift:

Charitéplatz 1 | 10117 Berlin

Besucheranschrift:

Reinhardtstr. 58 | 10117 Berlin

Tel. +49 (0)30 450 562171

frank.konietzke@charite.de

<https://biometrie.charite.de/>



Name, Vorname: Pawloy, Klemens
 Emailadresse:
 Matrikelnummer:
 Promotionsbetreuerin: Prof. Dr. Sascha Treskatsch
 Promotionsinstitution / Klinik: Klinik für Anästhesiologie mit
 Schwerpunkt operative Intensivmedizin (CBF)

Bescheinigung

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

- Termin 1: 03.02.2020
- Termin 2: 12.01.2022
- Termin 3: 26.04.2023

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

- Fokus der Arbeit sollte auf Deskription der Daten liegen, Ergebnisse von Hypothesentests nur explorativ (hypothesengenerierend) interpretieren
- Verwendung von nichtparametrischen Analysen, z.B. Kruskal-Wallis-Test (auch ANOVA on ranks genannt)
- Nicht-signifikante paarweise Vergleiche sind möglich, auch wenn Globaltest (z.B. Kruskal-Wallis) signifikant ist.
- Verwendung von Regressionsanalysen, adjustiert für Alter, Geschlecht und BMI

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

Datum: 27.04.2023

Name des Beraters\ der Beraterin:

Kerstin Rubarth

Unterschrift Beraterin, Institutsstempel

CHARITÉ
 UNIVERSITÄTSMEDIZIN BERLIN
 Institut für Biometrie und
 Klinische Epidemiologie
 Campus Charité Mitte
 Charitéplatz 1 | D-10117 Berlin
 Sitz: Reinhardtstr. 58