

Aus der Klinik für Anästhesiologie und Operative Intensivmedizin
der Universität zu Köln

Direktorin: Univ.-Prof. Dr. med. Andrea Ulrike Steinbicker

Analyse des Einflusses der Intubationserfahrung auf das Intubationsergebnis unter schwerelosigkeitsähnlichen Bedingungen anhand einer randomisierten Studie mit Rettungsdienstmitarbeitern

Inaugural-Dissertation zur Erlangung der Doktorwürde
der Medizinischen Fakultät
der Universität zu Köln

vorgelegt von
Christine Antwerber
aus Köln

promoviert am 07.01.2026

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der Universität zu Köln

2026

Dekan: Universitätsprofessor Dr. med. G. R. Fink

1. Gutachterin: Universitätsprofessorin Dr. med. A. U. Steinbicker

2. Gutachter: Professor Dr. med. F. Eifinger

Erklärung

Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Dissertationsschrift ohne unzulässige Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe; die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht.

Bei der Auswahl und Auswertung des Materials sowie bei der Herstellung des Manuskriptes habe ich Unterstützungsleistungen von Herrn Prof. Dr. Jochen Hinkelbein erhalten.

Weitere Personen waren an der geistigen Herstellung der vorliegenden Arbeit nicht beteiligt. Insbesondere habe ich nicht die Hilfe einer Promotionsberaterin / eines Promotionsberaters in Anspruch genommen. Dritte haben von mir weder unmittelbar noch mittelbar geldwerte Leistungen für Arbeiten erhalten, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertationsschrift stehen.

Die Dissertationsschrift wurde von mir bisher weder im Inland noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Der dieser Arbeit zugrunde liegende Datensatz wurde mit meiner Mitarbeit unter Herrn Prof. Dr. Hinkelbeins Anleitung erhoben, durch ihn zu Verfügung gestellt und von mir selbstständig ausgewertet. Es existiert bereits eine weitere Publikation zu diesem Datensatz.

Erklärung zur guten wissenschaftlichen Praxis:

Ich erkläre hiermit, dass ich die Ordnung zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis und zum Umgang mit wissenschaftlichem Fehlverhalten (Amtliche Mitteilung der Universität zu Köln AM 132/2020) der Universität zu Köln gelesen habe und verpflichte mich hiermit, die dort genannten Vorgaben bei allen wissenschaftlichen Tätigkeiten zu beachten und umzusetzen.

Köln, den 25.03.2025

Unterschrift

Danksagung

Im Folgenden möchte ich einigen Menschen danken, die wesentlich dazu beigetragen haben, dass diese Arbeit in dieser Form entstehen konnte.

Vor allem meiner Mutter Ulrike und meinem Vater Reinhold möchte ich für ihre Unterstützung und Förderung danken. Ich möchte ihnen für ihre Geduld, ihre Mühe und ihre Liebe danken, die sie mir entgegengebracht haben und weiterhin entgegenbringen.

Besonders bedanken möchte ich mich bei Herrn Professor Hinkelbein, dessen Betreuung und Förderung mir über die letzten fünf Jahre hinweg wertvolle Einblicke in die Forschung, insbesondere in die Luft- und Raumfahrtmedizin, ermöglicht hat. Durch sein Engagement hat er nicht nur maßgeblich zu dieser Arbeit beigetragen, sondern auch meinen Berufswunsch, Anästhesistin zu werden, entscheidend geprägt. Dass er diese Arbeit und meinen Dank nicht mehr lesen kann, bedauere ich sehr.

Mein besonderer Dank gilt auch der Unterstützung und dem professionellen Lektorat von Frau Professorin Steinbicker.

Zudem möchte ich Herrn Professor Böttiger für die Möglichkeit danken, die Arbeit in seiner Klinik durchführen zu dürfen.

Weiterhin danke ich der Arbeitsgruppe für die gute Zusammenarbeit.

Auch möchte ich mich bei Friederike, Tobias und Anna, die mich während meines gesamten Werdegangs emotional gestärkt und motiviert, herzlich bedanken.

Zu guter Letzt, danke ich Cora für ihre wertvolle Unterstützung in den vergangenen Jahren.

In Gedenken an Herrn Prof. Dr. Jochen Hinkelbein

Inhaltsverzeichnis

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	8
1. ZUSAMMENFASSUNG	9
2. EINLEITUNG	10
2.1 Einleitung	10
2.2 Kontextualisierung der Studie	11
2.3 Begründung der Studie	12
2.4 Erwartete Erkenntnisse/ Hypothesen	12
2.5 Zielsetzung der Arbeit	13
3. MATERIAL UND METHODEN	14
3.1 Studienplan	14
3.2 Zielsetzung der Studie	15
3.3 Studienmaterial	15
3.4 Auswahl der Probandengruppe	16
3.5 Randomisierung	18
3.5.1. Durchführung der Randomisierung	19
3.5.2. Einschlusskriterien	19
3.5.3. Ausschlusskriterien	19
3.6 Studienablauf	20
3.7 Fallzahlschätzung	22
3.7.1. Endpunkte	22
3.8 Statistische Analyse	23
3.9 Ethikvotum	23
4. ERGEBNISSE	24

4.1	Probandenpopulation	24
4.2	Analyse der endotrachealen Intubationserfahrung in simulierter Schwerelosigkeit	25
4.2.1.	Analyse der Versuchszahl und des Erfahrungsrangs	27
4.3	Analyse der endotrachealen Intubationserfahrung unter Normalbedingungen	28
4.3.1.	Analyse der Versuchszahl und des Erfahrungsrangs	29
4.4	Analyse der Erfahrung der Anwendung der Larynxmaske in simulierter Schwerelosigkeit	31
4.4.1.	Analyse der Versuchszahl und des Erfahrungsrangs	33
4.5	Analyse Erfahrung der Anwendung der Larynxmaske unter Normalbedingungen	33
4.5.1.	Analyse der Versuchszahl und des Erfahrungsrangs	34
4.6	Analyse der Erfahrung der Anwendung der Larynxtubus in simulierter Schwerelosigkeit	35
4.6.1.	Analyse der Versuchszahl und des Erfahrungsrangs	36
4.7	Analyse der Erfahrung der Anwendung des Larynxtubus unter Normalbedingungen	37
4.7.1.	Analyse der Versuchszahl und des Erfahrungsrangs	37
4.8	Analyse der Intubationserfahrung mittels Videolaryngoskop in simulierter Schwerelosigkeit	39
4.8.1.	Analyse der Versuchszahl und des Erfahrungsrangs	40
4.9	Analyse der Intubationserfahrung mittels Videolaryngoskop unter Normalbedingungen	41
4.9.1.	Analyse der Versuchszahl und des Erfahrungsrangs	42
4.10	Ergebniszusammenfassung	44
5.	DISKUSSION	47
5.1	Diskussion der Ergebnisse	47
5.1.1.	Kongruente Ergebnisse unter simulierter Schwerelosigkeit	50
5.1.2.	Dissonante Ergebnisse unter simulierter Schwerelosigkeit	54
5.1.3.	Kongruente Ergebnisse unter Normalbedingungen	57
5.1.4.	Dissonante Ergebnisse unter Normalbedingungen	64
5.2	Limitationen der Studie	67
5.3	Ausblick auf zukünftige Forschungsaufgaben	69

5.4	Zusammenfassung und Fazit	74
6.	LITERATURVERZEICHNIS	76
7.	ANHANG	82
7.1	Abbildungsverzeichnis	82
7.2	Tabellenverzeichnis	83
7.3	Fragebogen für Probanden	85
8.	VORABVERÖFFENTLICHUNGEN VON ERGEBNISSEN	87

Abkürzungsverzeichnis

BLS	Basic Life Support
CMAS	Confédération Mondiale des Activités Subaquatiques
CMO	Crew Medical Officer
COPA	Cuffed oropharyngeal airway
DGAI	Deutsche Gesellschaft für Anästhesiologie & Intensivmedizin
EMT-B	Emergency Medical Technician – Basic
ESA	European Space Agency
GKP	Gesundheits- und Krankenpfleger
ISS	International Space Station
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NEF	Notarzteinsatzfahrzeug
ÖGARI	Österreichische Gesellschaft für Anästhesiologie, Reanimation und Intensivmedizin
OHCA	Out of hospital cardiac arrest
PADI	Professional Association of Diving Instructors
RTW	Rettungswagen
SSI	Scuba Schools International

1. Zusammenfassung

Mit Ausbau des Weltraumtourismus und weiter entfernten Weltraumreisen werden medizinische Notfälle immer präsenter. Die Atemwegssicherung nimmt hierbei eine besondere Stellung ein, da diese nicht telemedizinisch oder verzögert zu bewältigen ist. Um hierauf vorbereitet zu sein und herauszufinden, wie viel Übung zur suffizienten Atemwegssicherung ein Crewmitglied benötigt, wird in dieser Arbeit untersucht, wie eine Probandengruppe, bestehend aus 20 Rettungsdienstmitarbeitenden, in Abhängigkeit ihrer Vorerfahrung, im Umgang mit verschiedenen Atemwegshilfen abschneidet. In einer doppelt-randomisiert kontrollierten Studie wird sowohl die Anwendung einer Larynxmaske, eines Larynxtubus, als auch der endotrachealen Intubation mit einem konventionellen Laryngoskop und einem Videolaryngoskop unter Einfluss der Schwerkraft und in simulierter Schwerelosigkeit untersucht. Die Schwerelosigkeit wird durch einen frei-schwebenden Mannequin in einem Schwimmbecken simuliert. Jeder Proband erhält bis zu drei Versuchsdurchläufe, bei denen die Zeit bis zur erfolgreichen Einlage von Maske oder Tubus gemessen wird. Den primären Endpunkt stellt die erfolgreiche Anwendung der Atemwegshilfen dar. Der sekundäre Endpunkt ist durch die Limitation der Versuchsdurchläufe bedingt.

Die Probanden wurden anhand der angegebenen Vorerfahrung zur differenzierten Auswertung in drei bzw. vier verschiedene Erfahrungsstufen (sog. Erfahrungsränge) eingeteilt. Die größte Vorerfahrung besaßen sie durchschnittlich in der Anwendung der Larynxmaske sowie des Larynxtubus, dagegen gaben sie kaum Vorerfahrung in der Verwendung des Videolaryngoskops an, weswegen dieser Teil mit nur drei Erfahrungsstufen ausgewertet wurde. Die Larynxmaske und der Larynxtubus zeigten sich in beiden Versuchsteilen als am schnellsten anzuwenden. Die erhobenen Zeiten für die konventionelle endotracheale Intubation und die Anwendung des Videolaryngoskops liegen unter simulierter Schwerelosigkeit deutlich über den Zeiten der supraglottischen Atemwegshilfen. Beide zeigten in der Auswertung eine signifikante zeitliche Verbesserung bei größerer Erfahrung. Für die Larynxmaske ergaben sich in beiden Versuchsteilen keine deutlichen Differenzen in Abhängigkeit der Erfahrung. Die Auswertung des Larynxtubus zeigte unter simulierter Schwerelosigkeit ausschließlich für den mittleren Erfahrungsrang eine signifikante Verbesserung. Für alle Atemwegshilfen und beide Versuchsteile ergaben sich keine signifikanten Unterschiede in den benötigten Versuchsdurchläufen. Vor allem die Anwendung des Videolaryngoskops gestaltete sich für die Probanden als herausfordernd, da insgesamt 62,5% der Versuche unter Schwerelosigkeit nach dem dritten Durchlauf als insuffizient gewertet wurden. Da die Probanden dort allerdings auch die geringste Vorerfahrung aufwiesen, sind zukünftig Untersuchungen hierzu mit einer breiter verteilten Probandengruppe notwendig. Insgesamt zeigten sich die supraglottischen Atemwegshilfen als einfach und bereits ohne Vorerfahrung schnell und suffizient anwendbar.

2. Einleitung

2.1 Einleitung

Bisher haben ungefähr 600 Menschen die Erde verlassen und eine Reise in den Weltraum angetreten.¹ Beginnend mit Juri Gagarin, der 1961 eine Stunde und 48 Minuten im erdnahen Orbit verbrachte, wurde ein neues Zeitalter der bemannten Raumfahrt eingeleitet. Seitdem hat die Wissenschaft große Fortschritte gemacht, die in der seit dem 2. November 2000 durchgehend bewohnten Raumstation ISS gipfeln.² Die Dauer des Aufenthaltes auf der ISS beläuft sich heute nicht mehr auf wenige Stunden, sondern durchschnittlich auf 6 Monate. Allerdings gibt es auch heute nur wenige Astronauten, die die Erde länger als ein Jahr verlassen haben.³

Zukünftig sind weitaus mehr und vor allem längere Weltraummissionen geplant, etwa zum Mond oder zu unserem Nachbarplaneten Mars. Die NASA kalkuliert eine Marsmission mit 900 Tagen Reisedauer. Darin eingeschlossen sind ungefähr 500 Tage Aufenthalt auf dem Mars und jeweils sechs bis neun Monate Reisedauer für sechs Crewmitglieder.⁴ Mit der verlängerten Reisedauer steigt auch die Wahrscheinlichkeit für einen medizinischen Notfall. Berechnungen haben ein individuelles Risiko für einen medizinischen Notfall mit 0,06 Ereignissen/Person/Jahr ergeben. Rechnet man dieses Risiko nun auf eine sechsköpfige Crew und eine dreijährige Mission hoch, so ist auf dem kompletten Flug wahrscheinlich von einem medizinischen Notfall auszugehen.⁵⁻⁷ Eine weitere Studie von Komorowski *et al.* berechnet die Wahrscheinlichkeit für ein notfallmedizinisches Ereignis einer solchen Mission mit 90%.⁸

Aktuell existieren nur wenige Daten über medizinische Notfälle im Weltraum, da Astronauten im Voraus einer genauen Untersuchung ihres Gesundheitszustandes unterzogen und sehr selektiv ausgewählt werden.^{5,9,10} Zudem sind aufgrund der kurzen Distanz zwischen der ISS und der Erde ein durchgehender Kontakt und telemedizinische Unterstützung durch Mediziner möglich. Des Weiteren können erkrankte Astronauten notfalls innerhalb eines Tages in ein sich auf der Erde befindliches Krankenhaus überführt werden.¹¹ Auf der ISS gehört deswegen nicht durchgehend ein Mediziner zur Crew, sondern nur ein Crew Medical Officer. Hierbei handelt es sich um einen speziell medizinisch ausgebildeten Astronauten, dessen medizinische Ausbildung ungefähr mit der eines Paramedics, zu Deutsch mit einem nicht-ärztlichen Rettungsdienstmitarbeiter, vergleichbar ist.^{12,13}

Geht man nun von einer längeren Weltraummission, wie etwa zum Mars, aus, so ist eine schnelle Rückführung zur Erde unmöglich und auch die telemedizinische Unterstützung kann aufgrund der Distanz zur Erde bei einer Übertragungszeit von fünf bis 20 Minuten pro Richtung liegen oder in Abhängigkeit der Position gar nicht möglich sein.^{8,10} Ein notfallmedizinisches Ereignis kann allerdings zu einer Gefährdung der Mission führen.¹² Eine potenzielle Crew

muss ein notfallmedizinisches Ereignis demnach suffizient und autark bewältigen können. Die notfallmedizinische Atemwegssicherung ist dabei von besonders hohem Stellenwert, da die Crew nicht auf telemedizinische Instruktionen von der Erde warten kann, weil eine notwendige Atemwegssicherung im Notfall schnellstmöglich durchgeführt werden muss.¹²

In den letzten 60 Jahren ist eine Intubation in der Schwerelosigkeit bisher nicht notwendig gewesen. Die NASA zählt im Zeitraum 1961 - 2016 zwar insgesamt 2570 medizinische Ereignisse unter ihren Astronauten, darunter fallen allerdings 1874 Meldungen von Rücken- oder Kopfschmerzen, Insomnie, nasaler Kongestion oder der Weltraumkrankheit.¹⁴ Basierend auf den Daten traten mindestens 75 Ereignisse auf, die zu einer Intubation hätten führen können. Darunter werden 11 allergische Reaktionen, 3 obstruktive Atemwegsprobleme, 3 Rauchgasinhalationen, 15 intrakranielle Druckerhöhungen, 9 Verletzungen des Nackens sowie 33 respiratorische Infektionen und ein Influenzafall genannt.¹⁴ Das Risiko einer notwendigen Atemwegssicherung ist somit auch bei kürzeren Aufenthalten durchaus präsent.

Auch im Hinblick auf den zunehmenden Weltraumtourismus und Weltraum-Laboren, die an eventuell weniger gut selektierte und medizinisch ausgebildete Forscher ausgeliehen werden sollen, ist es von großer Bedeutung, ein Konzept für eine schnelle Reaktion auf ein notfallmedizinisches Ereignis, wie etwa eine Atemwegssicherung, zu haben.¹⁵

Auch auf der ISS ist es nicht möglich, eine Intubation durch Ärzte auf der Erde durchzuführen, sondern muss direkt durch einen Crew Medical Officer (CMO) geschehen. Diesbezüglich ist es interessant, ob Helfer mit wenig praktischer Übung ausreichend Erfahrung besitzen, um eine erfolgreiche Atemwegssicherung in angemessener Zeit sicher durchführen zu können und somit auch einen Notfall auf längeren Reisen bewältigen könnten, wenn etwa der Arzt selbst betroffen sein sollte oder ein CMO die medizinisch höchstqualifizierte Kraft darstellt.

2.2 Kontextualisierung der Studie

In der vorliegenden Studie wurde an einer Kohorte, bestehend aus freiwilligen Probanden aus dem Bereich des Rettungsdiensts, untersucht, wie sich die vorab erlangte Intubationserfahrung in Abhängigkeit des Intubationsergebnisses verhält. Dies geschah als randomisiert, kontrollierte Studie und wurde sowohl unter Einfluss der Schwerkraft als auch in simulierter Schwerelosigkeit untersucht.

Die Aufnahme der Daten erfolgte im Rahmen einer Studie, zu der bereits eine wissenschaftliche Arbeit veröffentlicht wurde.¹² Abbildungen und Ergebnisse, die in der Publikation bereits gezeigt wurden, sind gesondert mit dem Zitat 12 und einem * gekennzeichnet. Über die Publikation hinausgehend, werden in dieser Arbeit die Aspekte der

Kapitel 4.2 bis 4.9 dargestellt. Die Studie wurde in einem zweiten Teil analog mit 20 Anästhesisten von Warnecke *et al.* durchgeführt.¹⁶

2.3 Begründung der Studie

Es existiert bisher keine randomisierte Vergleichsstudie, bei der eine Probandengruppe aus Rettungsdienstmitarbeitern frei-schwebend und ohne zeitliche Limitierung in simulierter Schwerelosigkeit intubiert, die mit dem Fokus auf die Auswirkung der Intubationserfahrung auf das Intubationsergebnis ausgewertet wird. Zudem werden in dieser Untersuchung vier verschiedene Möglichkeiten der Atemwegssicherung, sowohl supraglottische, als auch endotracheale Atemwegshilfen, verwendet. Untersucht wurden der Larynxtubus, die Larynxmaske sowie die konventionelle und videolaryngoskopische endotracheale Intubation.

Gerade Rettungsdienstmitarbeiter eignen sich für eine solche Studie, da diese, genau wie die CMOs, nicht auf die Intubation spezialisiert sind und somit auch keine relevante Routineerfahrung in dem Umfang mitbringen, wie sie etwa bei Anästhesisten oder Notfallmedizinern vorhanden ist. Zudem befindet sich die Erfahrung, die Rettungsanitäter und Rettungsassistenten durch ihre Ausbildung und Arbeit mitbringen, in einem Übungsbereich, den CMOs in der Vorbereitung auf eine Langzeitmission durchaus realistisch absolvieren könnten. Demnach können durch die Durchführung und Analyse einer Studie, die das Intubationsergebnis in Abhängigkeit der Erfahrung untersucht, potenziell viele neue Erkenntnisse generiert werden.

2.4 Erwartete Erkenntnisse/ Hypothesen

Erwartet wird, einen Überblick zu erlangen, wie sich das Intubationsergebnis in Abhängigkeit von der Variable „Erfahrung“ unter Schwerelosigkeit verhält, durch diese beeinflusst wird und sich somit als am geeignetsten für den Einsatz unter Schwerelosigkeit darstellt. Zudem soll auch herausgestellt werden, welche Intubationsoptionen hinsichtlich der Beeinflussung durch die Erfahrung herausfordernder sind und warum diese als weniger oder besser geeignet gelten.

Zur Analyse wird die angegebene Erfahrung in Gruppen unterteilt, die im Folgenden als „Erfahrungsränge“ bezeichnet werden.

Als Nullhypothese (H₀) soll gelten, dass sich keine signifikanten Differenzen zwischen den gebildeten Erfahrungsrängen ergeben.

Weiterhin soll die Alternativhypothese (H1), dass sich signifikante Differenzen zwischen den gebildeten Erfahrungsrängen ergeben, überprüft werden.

Zudem soll untersucht werden, ob sich Unterschiede in der notwendigen Intubationserfahrung, die man unter Normalbedingungen und in Schwerelosigkeit benötigt, ergeben.

Als besonders geeignet sollen diejenigen Intubationsoptionen definiert werden, bei denen in möglichst kurzer Zeit und wenigen Versuchsanläufen sowie einer geringen Anzahl Intubationen vorab, eine positive Ventilation erreicht werden kann.

Es wird vermutet, dass zur Handhabung der supraglottischen Atemwegshilfsmittel unter schwerelosen Bedingungen weniger Erfahrung notwendig ist als zur Anwendung der endotrachealen Intubation, da sich bereits in früheren Studien herausgestellt hat, dass unter normalen Bedingungen die Anwendung des Laryngoskops mit suffizienter Intubation in mindestens 90% der Versuche eine Erfahrung von mindestens 50 Intubationen vorab benötigt.¹⁷

Zudem ist die endotracheale Intubation durch unerfahrene Anwender fünfzehn Mal häufiger erfolglos, als die Verwendung eines supraglottischen Atemwegshilfsmittels (z.B. des Larynxtubus).¹⁸ Und auch die Anwendung der Larynxmaske zeigt sich als schneller zu erlernen als die endotracheale Intubation.¹⁹ Weiterhin ist die endotracheale Intubation in der Schwerelosigkeit komplexer, da die durch das Laryngoskop nach anterior ausgeübte Kraft auf den Patienten eine Bewegung des Kopfes in die gleiche Richtung verursacht, weil das Eigengewicht des Kopfes durch die fehlende Gravitation zu vernachlässigen ist. Außerdem wird der Anwender nach dem dritten Newtonschen Axiom bei jeder auf den Patienten ausgeübten Kraft, eine entgegengesetzte gleichwertige Kraft erfahren, die sich nachteilig auf das Ergebnis auswirken könnte.²⁰

2.5 Zielsetzung der Arbeit

Ziel dieser Arbeit ist, zu analysieren, welche Erfahrung ein CMO benötigt, um eine Intubation in der Schwerelosigkeit mit den vier verschiedenen Optionen zur Atemwegssicherung erfolgreich und in angemessener Zeit durchführen zu können. Zudem soll daraus geschlossen werden, wie herausfordernd eine Intubation mit den verschiedenen Atemwegshilfen für wenig erfahrene Helfer ist und wie viel Erfahrung ein CMO benötigt, um einen solchen Notfall sicher bewältigen zu können. Hierzu sollen die im Abschnitt 2.4 benannten Hypothesen H0 sowie H1 getestet werden.

3. Material und Methoden

3.1 Studienplan

Die Durchführung der doppelt randomisierten Cross-over Studie verwendete drei verschiedene supra- sowie subglottische Atemwegshilfen und zwei unterschiedliche Laryngoskope zur Atemwegssicherung, die im Folgenden ausgewertet werden. Die verschiedenen Optionen der Atemwegshilfsmittel beliefen sich auf die Anwendung einer Larynxmaske, Larynxtubus oder die endotracheale Intubation durch ein reguläres oder ein Videolaryngoskop.

Aufgabe war die Intubation in simulierter Schwerelosigkeit sowie zum Vergleich auch unter Einfluss der Schwerkraft. Die Probanden führten in beiden Versuchsteilen jeweils mit den vier verschiedenen Atemwegshilfen eine Intubation durch, die bei fehlerhafter Lage und nicht suffizienter Beatmung bis zu drei Mal wiederholt wurde. Pro Proband ergeben sich hieraus mindestens vier bis maximal zwölf Einführungsversuche für beide Versuchsteile.

Es erfolgte zur besseren Objektivierbarkeit eine Randomisierung der Reihenfolge der Atemwegshilfsmittel durch vorbereitete Karten mit verschiedenen Abfolgen. Da es insgesamt vier verschiedene Atemwegshilfen und Intubationsoptionen gab, standen 24 mögliche Reihenfolgen zur Option. Diese wurden für jeden Probanden in den beiden zu durchlaufenden Situationen separat gezogen. Zudem wurden die Intubationsbedingungen durch das Werfen einer Münze randomisiert. Dabei stand die Intubation in simulierter Schwerelosigkeit und die Intubation bei normaler Schwerkraft zur Wahl. Es mussten beide Situationen durchlaufen werden, lediglich die Reihenfolge wurde durch den Münzwurf entschieden. Zwölf Studienteilnehmer, der insgesamt 20 freiwilligen Probanden, intubierten erst unter schwerelosen Bedingungen und acht Teilnehmer begannen die Versuchsreihe unter Normalbedingungen.

Für die vier Anwendungen mit jeder der untersuchten Tuben und Masken hatten die Probanden maximal drei Versuche. Ein erneuter Versuch wurde begonnen, nachdem überprüft wurde, ob die Lage des Tubus korrekt und die suffiziente Beatmung damit möglich war. War die Beatmung insuffizient, startete ein weiterer Versuch. Bei den für die Auswertung relevanten Zeiten handelt es sich somit um jene, bei denen die Einbringung des Atemwegshilfsmittels als erfolgreich gewertet wurde.

Die Probandengruppe bildeten 20 Mitarbeiter des Rettungsdienstes, die zudem eine gültige Tauchlizenz vorweisen konnten. Hinkelbein *et al.* haben bereits in einer Veröffentlichung einen Teil der Daten aus dieser Studie verarbeitet.¹² Zudem bestand die gesamte Studie noch aus einem weiteren Teil, bei der sich die Probandengruppe aus 20 Anästhesisten zusammensetzte. Der Studienplan von Warnecke *et al.* war analog zu dem beschriebenen

Studiendesign.¹⁶ Da dieser zweite Studienteil in keiner Abhängigkeit mit dem in dieser Arbeit ausgewerteten Teil steht, wird auch die Arbeit von Warnecke *et al.* im Weiteren zum Vergleich genutzt.¹⁶

3.2 Zielsetzung der Studie

Die Datenaufnahme erfolgte im Rahmen einer Studie, die den Untersuchungsfokus auf die Intubationszeit sowie die Erfolgsrate bei der Anwendung verschiedener Atemwegshilfen in einem schwerelosigkeitsähnlichen Zustand legte.¹² Die dort generierten Daten werden in dieser Arbeit nun im Hinblick auf die Erfolgsrate in Abhängigkeit der Erfahrung in der Anwendung der Atemwegshilfen durch die Probanden ausgewertet, um zu eruieren, welcher Erfahrung es für eine bestimmte Erfolgsrate und Intubationszeit bedarf.

3.3 Studienmaterial

Zur Atemwegssicherung kamen in randomisierter Reihenfolge verschiedene Tuben, Masken und Materialien zur Anwendung. Zur endotrachealen Intubation wurde ein orotrachealer Tubus vom Magill Typ der Firma P. J. Dahlhausen Ltd. (Köln, Deutschland) genutzt. Zur Einführung dessen gab es zwei Laryngoskope, zum einen wurde ein direktes Laryngoskop mit MacIntosh Spatel der Firma Heine Optotechnik GmbH (Gilching, Deutschland) genutzt, zum anderen nutzten die Probanden ein Pentax Airway Scope Videolaryngoskopie (Ricoh Imaging, Tokio, Japan). Des Weiteren verwendete das Studienteam eine AURAGAIN Larynxmaske der zweiten Generation (Ambu Ltd., Bad Nauheim, Deutschland). Zudem kam ein LTS-D Larynxtubus der zweiten Generation von VBM Medizintechnik Ltd. (Sulz am Neckar, Deutschland), zur Verwendung.

Da das Videolaryngoskop nicht wasserfest war, befand sich dieses in einer Schutzkonstruktion. Die Schutzhülle besteht aus Hartplastik und schützt die Elektronik. Es handelt sich hierbei um ein PELICAN 1050 Micro Case der Firma Peli products aus Glossop in Großbritannien. Der Bildschirm



Abbildung 1: Schutzhülle des Videolaryngoskops^{12*}

Die Abbildung zeigt die in der Studie verwendete Schutzhülle, die das Videolaryngoskop vor dem Eindringen von Wasser schützte.

selbst lässt sich durch die durchsichtige Klappe einsehen. Auch der Laryngoskopspatel wird durch eine gesonderte Konstruktion mitgeschützt, um ein Eintreten von Wasser durch diesen zu verhindern. Rechtsseitig befindet sich außerdem eine Führung für den Tubus. Diese ist in Abbildung 1 zu sehen.¹² Bei dem verwendeten Mannequin handelt es sich um einen AMBUMAN Airway Wireless der Marke Ambu Ltd (Bad Nauheim, Deutschland).

Die Beobachtungseinheit stellte der Proband dar. Merkmal eins war die „Dauer der Intubation“. Der Beginn war definiert als der erste Griff zu dem jeweiligen Atemwegshilfsmittel und das Ende der Einbringung der Atemwegshilfe bestimmte das Aufsetzen des Beatmungsbeutels. Daran schloss sich die Prüfung auf erfolgreiche Ventilation und Lagekontrolle des Tubus oder der Maske an. Diese wurden nicht mehr mit in die Intubationszeit eingerechnet, um genauere Daten zur Anwendungszeit selbst zu erhalten. Die Merkmalsausprägung ist definiert als 0 – X Sekunden.

Merkmal zwei stellt der „Erfolg der Ventilation“ dar. Eine Intubation galt bei richtiger Lage und damit der Ventilation der Lunge als erfolgreich. Dementsprechend liegt die Ausprägung dieses Merkmals bei „Ja“ oder „Nein“.

3.4 Auswahl der Probandengruppe

Als Probanden wurden Mitarbeiter des Rettungsdiensts gewählt, da diese vergleichbar mit einem CMO, der die aktuelle medizinische Mindestqualifikation auf der ISS darstellt, eine generelle medizinische Ausbildung in den verschiedenen Disziplinen der Medizin erhalten, allerdings nicht in dem Umfang, wie es in etwa bei einem Arzt der Fall wäre. Ebenso bringt weder ein CMO, noch das Rettungsdienstpersonal, nicht die Intubationserfahrung mit, die man von einem ausgebildeten Anästhesisten erwarten könnte.²¹ Um nun herauszufinden, wie viel Erfahrung ein CMO benötigen würde, um eine Intubation in Schwerelosigkeit mit bestimmten Hilfsmitteln in einer gewissen Zeit durchführen zu können, werden somit als Probandengruppe Mitarbeiter des Rettungsdiensts gewählt.

Die Probandengruppe setzt sich aus Rettungssanitätern, Rettungsassistenten und Notfallsanitätern zusammen. Alle drei Qualifikationen durchlaufen in ihrer Ausbildung den Bereich der Anästhesiologie und haben zum Teil auch bereits Intubationserfahrung in ihrem Beruf sammeln können. Da der Rettungssanitäter die am geringsten qualifizierte Gruppe darstellt, die im Zuge der Ausbildung in den meisten Bundesländern lediglich mindestens zwei der Bereiche Anästhesiologie, Notaufnahme und Intensivstation in einem Zeitraum von vier Wochen durchlaufen, bringen diese auch die geringste Intubationserfahrung mit.²² Die Gruppe der Rettungsassistenten hat im Verlauf der Ausbildung 180 Stunden in der Anästhesiologie

verbracht und auch die Notfallsanitäter waren im Rahmen ihrer Ausbildung mindestens 280 Stunden dort.^{23,24}

Durch Einbindung der verschiedenen Ausbildungen des Rettungsdienstes vergrößert sich also die Spannweite der untersuchten Intubationserfahrung. Somit stellt die Gruppe der Rettungsdienstmitarbeiter als Probanden eine sehr heterogene Gruppe dar, an der festgemacht werden soll, ob und wie die Intubationserfahrung das Intubationsergebnis beeinflusst. CMOs standen für die Studie nicht zu Verfügung, da diese mengenmäßig zu gering verfügbar wären und es logistisch sehr herausfordernd geworden wäre, diese in die Studie einzubinden. Denn die bestehenden CMOs verteilen sich auf den internationalen Raum und sind nicht kurzfristig für universitäre Projekte abrufbar. Zudem wäre die Untersuchung mit CMOs auch mit einem höheren Kostenaufwand verbunden.

Des Weiteren ist das Ziel der Untersuchung, die Ausbildung der CMOs potenziell dahingehend optimieren zu können, dass diese eine ausreichende Intubationserfahrung vor Beginn der Mission erproben könnten. Nur CMOs auszuwählen, wäre demnach weniger aussagekräftig, da die Verteilung der Intubationserfahrung bei allen CMOs recht ähnlich wäre.

Auch stellen Rettungsdienstmitarbeiter eine sinnvolle Probandengruppe dar, da diese innerhalb ihrer Ausbildung zwar Grundfertigkeiten des Intubierens erlernen, allerdings gehört das Intubieren nicht zu ihren primären Aufgaben beziehungsweise zeichnet nicht den Hauptfokus der Ausbildung aus. Gleiches gilt auch für die CMOs. Zudem haben auch die Mitarbeiter des Rettungsdienstes in der Ausbildung das Intubieren an Intubationspuppen erprobt.¹³ Diese Übung erhalten auch CMOs während ihrer Ausbildung.²¹

Einen wichtigen Unterschied stellt die praktische Erfahrung im Intubieren dar. Diese bringt der Rettungsdienstmitarbeiter, je nach Ausbildung in verschiedenem Umfang, mit. CMOs haben das Intubieren allerdings hauptsächlich an Intubationspuppen erlernt.²¹ Somit ergibt sich hierdurch eine breitere Streuung der Erfahrung, wobei auch innerhalb der Rettungsdienstmitarbeiter eine Vergleichsgruppe existiert, die nicht in der Intubation am Menschen trainiert sind und diese nur an Intubationspuppen geübt haben.

Vorab wurde genau abgefragt, wie häufig die Probanden bereits mit dem verschiedenen Atemweghilfsmittel praktische Erfahrung sammeln konnten. Die Intubation an Intubationsmannequins ist hierbei nicht mit einbezogen worden. Das Ziel dieser Abfrage ist, zu ermitteln, ob und wie viel praktische Erfahrung am Menschen notwendig ist, um erfolgreich in Schwerelosigkeit intubieren zu können.

Da Schwerelosigkeit auf der Erde nur durch einen Parabelflug, einen Fallturm oder in einem Schwimmbecken anzunähern ist, der Parabelflug allerdings kostenintensiver und zeitlich auf 20-25 Sekunden begrenzt und der Fallturm nicht auf Menschen ausgelegt ist, bleibt zur

Herstellung schwereloser Zustände noch das Schwimmbecken. Damit das Tauchen im Schwimmbecken kein eigenes Hindernis für die Probanden darstellt, war eine weitere Voraussetzung für die Probanden, dass diese mindestens die Qualifikation des autonomen Tauchers vorweisen konnten.

3.5 Randomisierung

Bei dieser doppelt randomisierten Cross-over Studie wurden den Probanden sowohl die Reihenfolge der Atemweghilfen als auch die Reihenfolge der jeweiligen Versuchssituationen zugelost. Die Probanden wurden mittels Münzwurfs den Gruppen A und B zugelost. Dabei begann Gruppe A mit der Anwendung unter schwerelosen Bedingungen, während Gruppe B zuerst unter Normalbedingungen die Atemweghilfsmittel inserierte. In beiden Situationen wurde die Reihenfolge der verschiedenen Atemweghilfen durch Reihenfolgenkarten bestimmt. Es erfolgten keinerlei Restriktionen (vgl. Abb. 2).

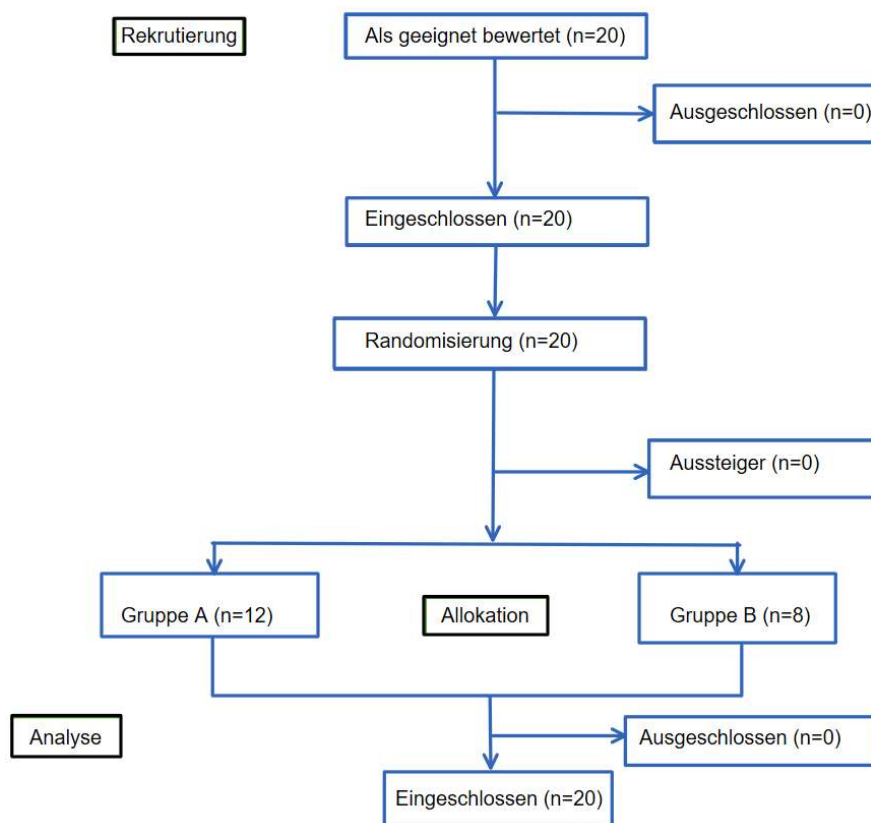


Abbildung 2: CONSORT 2010 Flow Diagramm²⁵ der Probanden

Die Abbildung zeigt ein nach Consort 2010 erstelltes Diagramm zur Auswahl und Selektion der Probandengruppe.

3.5.1. Durchführung der Randomisierung

Die Zufallszuteilung zu den Gruppen A und B erfolgte durch eine Mitarbeiterin der Arbeitsgruppe und die Zufallszuteilung zu den verschiedenen Reihenfolgen der Atemweghilfsmittel wurde durch eine weitere Person durchgeführt.

3.5.2. Einschlusskriterien

Das Haupteinschlusskriterium zur Studie war die Qualifikation zum Rettungssanitäter, Rettungsassistent oder Notfallsanitäter mit aktueller Gültigkeit. Die Gültigkeit dieser Qualifikationen ist durch den jährlichen Besuch der 30 Fortbildungsstunden definiert. Außerdem mussten die Probanden eine gültige Tauchlizenz vorweisen können. Das vorausgesetzte Ausbildungslevel der Taucher war das eines autonomen Tauchers. Von verschiedenen Organisationen werden Qualifizierungskurse zum autonomen Taucher und auch darüber hinaus angeboten.

Am weitesten verbreitet sind die Organisationen „Professional Association of Diving Instructors“ (PADI), die „Confédération Mondiale des Activités Subaquatiques“ (CMAS) und die „Scuba Schools International“ (SSI). Die Mindestqualifikation für den autonomen Taucher durch PADI ist der „Open Water Diver“.²⁵ Äquivalent hierzu finden sich bei SSI auch der sogenannte „Open Water Diver“ und bei CMAS der „CMAS One-Star Diver“.^{26,27} Diese oder anderweitige Qualifikationen, die die Fähigkeit zum autonomen Tauchen bescheinigen, wurden vorab abgefragt.

Die Rekrutierung der Studienteilnehmer erfolgte innerhalb des Rettungsdienstes und Katastrophenschutzes im Großraum Köln (Deutschland). Dabei wurde persönlich für die Studie geworben. Und auch über soziale Medien wurden Probanden gesucht.

3.5.3. Ausschlusskriterien

Ausschlusskriterien für die Teilnahme als Proband sind das Fehlen einer gültigen Tauchlizenz, das nicht Vorhandensein einer rettungsdienstlichen Ausbildung sowie die momentane Ungültigkeit der rettungsdienstlichen Ausbildung, aufgrund von versäumten Pflichtfortbildungsstunden. Zudem war eine Teilnahme auch nicht möglich, wenn aufgrund von gesundheitlichen Einschränkungen die Teilnahme an mindestens einem der beiden Versuchsteile nicht möglich war. Hierzu zählte auch eine zum Zeitpunkt der Versuchsreihe bestehende Schwangerschaft oder Faktoren, die ein Tauchen verhindern.

3.6 Studienablauf

Ort der Messungen waren die Tauchbecken zweier Kölner Schwimmbäder (Zollstock und Chorweiler). Die Bedingungen, unter denen getaucht wurde, waren weitestgehend gleich. Im Zeitraum vom 29.01.2020 bis zum 11.03.2020 fanden die Messungen zu dieser Versuchsreihe statt. Alle Probanden begannen immer mit dem Ausfüllen der Zustimmung zur Studie, einem Dokument über die Tauchtauglichkeit sowie eines kurzen Fragebogens (Abschnitt 8.31). Der Fragebogen enthält demographische Daten und außerdem noch Fragen zu der Intubations-, Berufs- und Taucherfahrung.

Im Anschluss teilte ein Los die Probanden in zwei Gruppen ein. Gruppe A startete unter schwerelosen Bedingungen und Gruppe B begann mit der Intubation unter Normalbedingungen.

Zur Atemwegssicherung wurden in randomisierter Reihenfolge ein Larynxtubus, eine Larynxmaske sowie ein Endotrachealtubus mit konventionellem Laryngoskop und ein Videolaryngoskop verwendet.

Für die Anwendung unter Normalbedingungen wurde der Mannequin auf einem geraden, ebenen Untergrund an der Poolseite gelagert. Während sich der Proband am Kopf des Mannequins aufhielt, kniete ein Mitarbeiter seitlich neben dem Kopf des Mannequins und reichte die Atemwegshilfsmittel in definierter Reihenfolge an. Der zweite Mitarbeiter befand sich auf der anderen Seite des Mannequins und maß die Zeit. Außerdem notierte er direkt die notwendige Anzahl Versuche, die zugehörigen Zeiten sowie die Reihenfolge der Hilfsmittel.

In dieser Situation wurde die Zeit vom ersten Anreichen des Tubus oder der Maske bis hin zum Aufsetzen des Beatmungsbeutels gemessen. Im Anschluss, und damit nicht mehr in die gemessene Zeit eingerechnet, erfolgte eine Lagekontrolle des Tubus. Da der Mannequin nicht in der Lage ist, endexpiratorisch CO₂ abzugeben, wurde die Puppe beatmet und dabei sowohl die beiden Lungenflügel, als auch der Magen auskultiert. Zusätzlich wurde bei Unsicherheiten die Lage durch das Laryngoskop visuell kontrolliert. In diesem Studienteil wiederholten die Probanden die Einführung der Atemwegshilfen bis zu dreimal, falls der Tubus beziehungsweise die Maske nicht richtig lag.

Zur Simulation schwereloser Bedingungen wurde in circa drei Meter Tiefe und ungefähr eineinhalb Metern über dem Boden des Beckens ein Ganzkörper-Mannequin frei flottierend positioniert. Um die auf den Mannequin wirkende Auftriebskraft auszugleichen und ein relatives Kräftegleichgewicht herzustellen, wurde der Mannequin mit Tauchgewichten an seinem Rumpf beschwert (vgl. Abb. 3). Er war nicht am Boden fixiert und konnte frei im Wasser bewegt werden.

Außerdem war unter Wasser ein Tauchlehrer anwesend, der überwachte, dass es bei den

Probanden zu keinen Problemen während des Tauchvorgangs kam. Dieser wurde unterstützt durch einen erfahrenen Anästhesisten, der die Anwendung selbst und die korrekte Lage des Atemweghilfsmittels visuell kontrollierte und den Einführvorgang betreute.

Nachdem der Mannequin frei flottierend durch den Tauchlehrer und den Anästhesisten platziert wurde, tauchte jeweils ein Proband ab. Dieser sorgte dann erst dafür, dass er keinen Auftrieb mehr hatte und positionierte sich korrekt. Dabei durften die Probanden keinen Kontakt zu dem Boden oder sonstigen Wänden haben, außerdem waren Tauchflossen nicht gestattet, um sich nicht zusätzlich das Fortbewegen zu erleichtern. Sobald alle bereit waren, begann der Anästhesist damit, in der vorab festgelegten Abfolge die Atemwegshilfen und Materialien anzureichen. Ab dem ersten Griff zum Atemwegshilfsmittel wurde durch den Tauchlehrer die Zeit gemessen. Dies geschah mit einer wasserfesten Uhr.

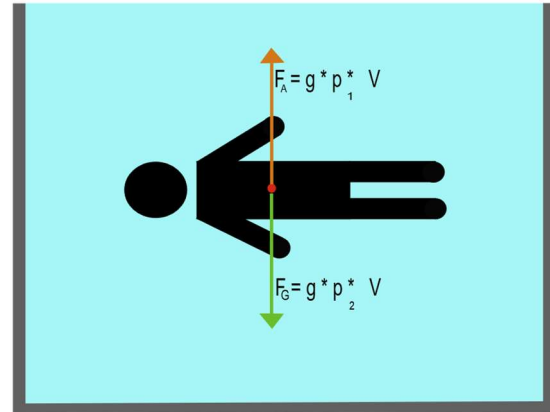


Abbildung 3: relatives Kräftegleichgewicht des freischwebenden Mannequins (eigene Darstellung)

Es gilt für die Auftriebskraft, dass diese der Gewichtskraft, die durch den Taucher verdrängten Flüssigkeitsmenge entspricht ($F_A = g \cdot \rho_1 \cdot V$). Da für den Betrag der Gewichtskraft $F_G = g \cdot \rho_2 \cdot V$ gilt, ergibt sich somit für ein indifferentes Gleichgewicht: $\rho_1 = \rho_2$.

Die Zeit, die die Probanden zwischen dem ersten Anreichen der Materialien und dem Aufsetzen des Beatmungsbeutels benötigten, notierte der Tauchlehrer jeweils im Anschluss auf einer wasserfesten Tafel. Dann wurde eine Lagekontrolle durch eine Probebeatmung mit dem mit Wasser befüllten Beatmungsbeutel durchgeführt und der Anästhesist kontrollierte die korrekte Lage durch die Beobachtung der Thoraxbewegungen sowie das Einsehen des Mundraumes, gegebenenfalls mit Laryngoskop. Da der eigentlich mit Luft befüllte Teil der Mannequin-Lunge bereits mit Wasser gefüllt wurde, waren bei Beatmungen, bei denen Wasser durch den Beatmungsbeutel in den Mannequin befördert wurde, auch Thoraxhebungen zu erkennen. Sobald der Anästhesist entschieden hatte, ob der Tubus oder die Maske richtig lag, gab er dem Tauchlehrer ein Zeichen. War eine Einführung nicht erfolgreich, so wurde auch diese bis zu dreimal wiederholt. Danach wurde mit dem/der nächsten Tubus/Maske die Versuchsreihe fortgeführt.

Aus den verschiedenen Werten, die durch die Probanden für bisherige Intubationen angegeben wurden, konnten im Anschluss der Studiendurchführung „Erfahrungsstufen“ gebildet. Diese verschiedenen, selbst definierten Kategorien orientierten sich jeweils an den durch die Probanden angegebenen Werten für vorherige Anwendungen der Atemwegshilfen, um eine möglichst gleichmäßige Verteilung auf die Ränge und damit auch einer möglichst

großen Probandengruppe pro Rang zu schaffen (vgl. Tab. 1). Dies hat zur Folge, dass die Ränge nicht für jeden Tubus und jede Maske identisch sind. Der Vorteil dieser Verteilung liegt allerdings darin, dass durch ähnliche und möglichst große Probandengruppen die Aussagekraft der Einzelergebnisse der verschiedenen Ränge zunimmt und infolgedessen eine genauere Abgrenzung hinsichtlich der zur Anwendung notwendigen Erfahrung ermöglicht werden soll. In der weiteren Arbeit werden diese Ränge somit als „Erfahrungsränge“ bezeichnet.

Rang	Konventionelle endotracheale Intubation	Larynxtubus	Larynxmaske	Videolaryngoskopie
0	0 – 2	0	0 – 2	0
1	3 – 5	1 – 10	3 – 10	1 – 9
2	6 – 15	11 – 25	11 – 20	>9
3	>15	>25	>20	-

Tabelle 1: Aufteilung der Erfahrungsstufen

Tabelle 1 zeigt eine Übersicht, der im weiteren verwendeten Ränge mit den zugehörigen Erfahrungen. Es werden sog. „Erfahrungsränge“ gebildet.

3.7 Fallzahlschätzung

Die Fallzahlschätzung wurde anhand vergleichbarer Studien sowie durch vorab durchgeführte Vorversuche erhoben.²⁸ Auf dieser Grundlage wurde eine Effektstärke (Cohen's d) von >0,8 geschätzt. Für das Alphaniveau wurde 0,1 gewählt und die statistische Power lag bei 0,95. Auf Grundlage dessen lag die benötigte Gruppengröße bei n = 19 Probanden.

3.7.1. Endpunkte

Der primäre Endpunkt wurde durch die suffiziente Ventilation bei erfolgreicher Beatmung definiert. Dabei wurde die Überprüfung der erfolgreichen Einlage und damit Ventilation nicht in die Messzeit eingerechnet, um eine gründliche Überprüfung ohne Verfälschung der Messergebnisse zu erreichen. Den sekundären Endpunkt stellt die Versuchszahl dar. Jedes Atemweghilfsmittel durften die Probanden dreimal verwenden. Waren sie auch im dritten Versuch nicht erfolgreich in ihrer Intubation, so wurde die zulässige Versuchszahl überschritten und der Versuchsteil für dieses Hilfsmittel als nicht erfolgreich gewertet.

3.8 Statistische Analyse

Die statistische Analyse erfolgte sowohl mit IBM SPSS Statistics 27 (IBM, Armonk, USA) als auch mit EXCEL für MAC 16.32 der Firma Microsoft© (Redmond, USA). Eine ausführliche Tabelle mit allen ermittelten Daten wurde anonymisiert in EXCEL erstellt.

Bei den generierten Daten handelt es sich um mehr als zwei unabhängige Stichproben, die zudem nicht als normalverteilt angenommen werden können. Um eine Analyse der verschiedenen Erfahrungsstufen auf signifikante Unterschiede durchführen zu können, wurde der Kruskal-Wallis-Test verwendet. Dies geschah im Programm SPSS.

Von signifikanten Unterschieden soll ausgegangen werden, wenn der Wert der Signifikanz des Kruskal-Wallis-Tests bei $<0,1$ zwischen den verschiedenen Rängen liegt. Die Signifikanz wurde in dieser Analyse auf 0,1 gesetzt, da aufgrund der weniger umfangreichen Probandengruppe von $n = 20$ die Varianz teilweise gering ist. Demnach ist die Nullhypothese umso kritischer zu betrachten.

Im Anschluss an diese Analyse erfolgte ein paarweiser Rangvergleich durch den Mann-Whitney-U-Test. Ziel dieses Vergleichs war das genauere Identifizieren der Gruppen, die sich signifikant unterscheiden. Auch die Analyse durch den Mann-Whitney-U-Test erfolgte mittels SPSS.

Danach wurden die Effektstärken für die sich unterscheidenden Gruppen ermittelt, um eine Einschätzung über die Aussagekraft der jeweiligen Unterschiede treffen zu können. Alle weiteren angegebenen Durchschnittswerte inklusive der zugehörigen Standardabweichungen wurden auch mit SPSS berechnet.

3.9 Ethikvotum

Die Studie entspricht den aktuellen Richtlinien und Empfehlungen und wurde am 20.02.2019 bei ClinicalTrials.gov registriert (NCT03848559). Im Anschluss daran durchlief die Studie die Prüfung des Ethikkomitees der Universitätsklinik Köln. Die Genehmigung durch das Ethikkomitee wurde am 01.04.2019 erteilt (Nummer des Ethikvotums: 19-1069_1).

4. Ergebnisse

4.1 Probandenpopulation

In die Studie wurden 20 Probanden eingeschlossen. Von allen Teilnehmern konnten die erhobenen Daten verwendet werden. 85% der Teilnehmer sind männlich (n = 17) und 15% der Teilnehmer sind weiblichen Geschlechts (n = 3). Die Altersspanne der Probanden liegt zwischen 20 und 57 Jahren, mit einem Durchschnittsalter von 30,5 Jahren und einem medianen Alter von 30 Jahren. Dabei haben zum Zeitpunkt der Studiendurchführung 65% (n =

13) der Probanden weniger als 100 Tauchgänge absolviert, während 35% (n = 7) mehr als 100 Tauchgänge absolviert haben. Die Probanden besitzen unterschiedliche Tauchqualifikationen.

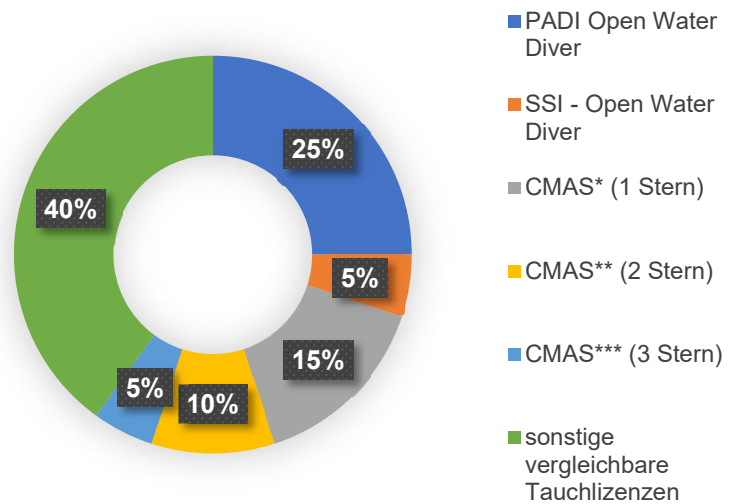


Abbildung 4: Verteilung der Tauchqualifikationen ^{12*}

Die Abbildung zeigt eine Übersicht der durch die Probanden angegebenen Tauchqualifikationen. Diese teilen sich auf in 25% = PADI - Open Water Diver, 15 % = CMAS* (1 Stern), 10 % = CMAS** (2 Stern), 5 % = CMAS*** (3 Stern), 5 % = SSI – Open Water Diver sowie 40 % = weitere vergleichbare Tauchlizenzen.

Die Angabe „12*“ markiert bereits publizierte Studienergebnisse.

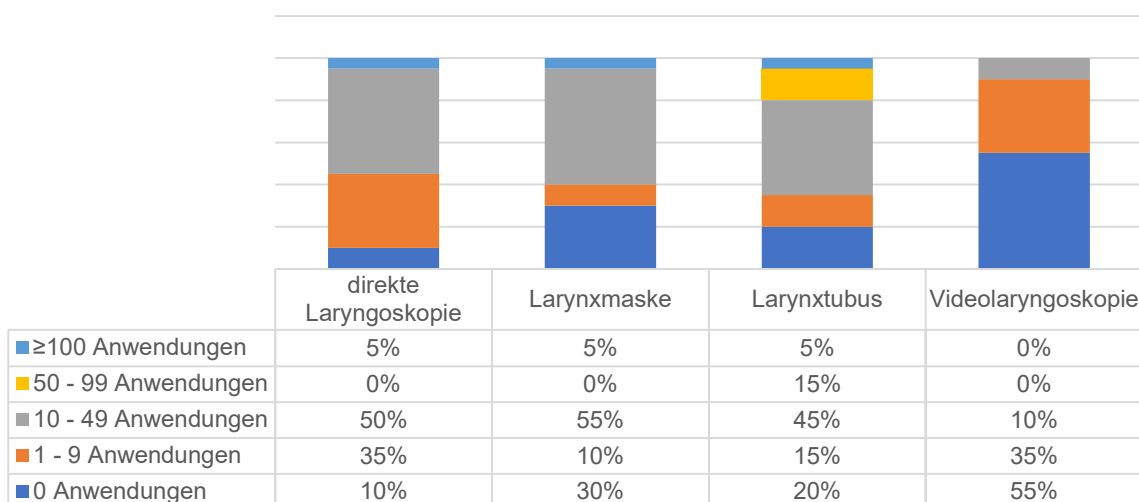


Abbildung 5: Verteilung der Intubationserfahrung

Die Abbildung zeigt die verschiedene Vorerfahrung, die die Probanden in der Anwendung der Tuben sowie Masken vor Durchführung der Untersuchung bereits sammeln konnten.

Die genauere Verteilung der Qualifikationen ist Abbildung 4 zu entnehmen. Auch die Intubationserfahrung hinsichtlich der verschiedenen Atemwegshilfen und Laryngoskope gestaltet sich sehr unterschiedlich (vgl. Abb. 5).

4.2 Analyse der endotrachealen Intubationserfahrung in simulierter Schwereelosigkeit

Im Folgenden werden die Ergebnisse, die für die endotracheale Intubation unter schwerelosen Bedingungen generiert werden konnten, ausgewertet. Hierzu werden vier Ränge gebildet, die sich an der Intubationserfahrung der Probanden orientieren.

Rang 0 bringt keine Erfahrung mit und deckt die Spannweite null bis zwei Intubationen an Vorerfahrung ab. Im Mittel haben die $n = 4$ Probanden vorab $0,8 \pm 1,0$ endotracheale Intubationen am Menschen durchgeführt.

Rang 1 hat kaum Erfahrung und schließt $n = 5$ Probanden ein, die zwischen drei und fünf Intubationen durchgeführt haben. Für Rang 1 ergibt sich ein Mittelwert von $3,8 \pm 1,1$ Intubationen am Menschen vor Durchführung der Studie.

Der zweite Rang bringt bereits etwas Erfahrung mit. Die $n = 5$ Probanden haben bereits zwischen sechs und 15 Intubationen am lebendigen Menschen durchgeführt. Im Mittel werden für diesen Rang $11,0 \pm 2,2$ Intubationen ermittelt.

Der dritte Rang hat bereits mehr als 15 Intubationen durchgeführt und bringt damit die meiste Erfahrung mit. Die $n = 6$ Probanden dieser Gruppe haben durchschnittlich $47,8 \pm 2,2$ Intubationen am Menschen durchgeführt.

Somit ergibt sich insgesamt eine durchschnittliche Anzahl von $18,2 \pm 33,2$ Intubationen über alle Ränge hinweg. Der Median der bereits vor der Studie durchgeführten Intubationen liegt bei zehn.

Rang	Anzahl Intubationen	Durchschnitt der Anzahl Intubationen vor Studienbeginn	Anzahl Probanden
0	0 - 2	$0,8 \pm 1,0$	4
1	3 - 5	$3,8 \pm 1,1$	5
2	6 - 15	$11,0 \pm 2,2$	5
3	>15	$47,8 \pm 2,2$	6

Tabelle 2: Übersicht Ränge endotracheale Intubation

Die Tabelle zeigt eine Übersicht der verwendeten Unterteilungen der Intubationserfahrung sowie die Probandenzahl, die jeweils in einem Rang inkludiert wurde.

Die neu definierten Ränge werden nun hinsichtlich signifikanter, zeitlicher Unterschiede mit einem Kruskal-Wallis-Test untersucht. Für diesen ergibt sich eine exakte Signifikanz von 0,04.

Somit können signifikante Unterschiede zwischen den Rängen angenommen und die Hypothese H1, die signifikante Differenzen unter den Erfahrungsstufen annimmt, für diesen Analyseteil akzeptiert werden.

Um zu identifizieren, zwischen welchen Rängen signifikante Unterschiede bestehen, wird ein Mann-Whitney-U-Test durchgeführt. Dieser ergibt signifikante Unterschiede zwischen Rang 1 und Rang 2. Die asymptotische Signifikanz liegt für diesen Test bei 0,05 und die Effektstärke beläuft sich auf 0,65. Auch zwischen Rang 1 und Rang 3 finden sich relevante Unterschiede. Die asymptotische Signifikanz des Mann-Whitney-U-Tests liegt bei 0,02 und hat eine Effektstärke von 0,82. Zwischen Rang 0 und Rang 2 liegt die Signifikanz bei 1 und auch im Vergleich mit Rang 3 zeigen sich mit 0,35 keine signifikanten Unterschiede, weswegen sich auf bessere zeitliche Ergebnisse, bei größerer Vorerfahrung schließen lassen.

Im Durchschnitt benötigen die Probanden aller Ränge $50,8 \pm 27,4$ s zur endotrachealen Intubation unter schwerelosen Bedingungen. Für Rang 1 liegt der Mittelwert der Intubationszeit bei $80,0 \pm 37,3$ s, während sich für Rang 2 eine, durch das Ergebnis des Mann-Whitney-U-Tests anzunehmende, Verbesserung zeigt. Diese beläuft sich für Rang 2 auf durchschnittlich $41,0 \pm 18,8$ s, so dass sich eine Korrelation zwischen Vorerfahrung und Intubationszeit ergibt. Zwischen Rang 2 und Rang 3 ergibt der Mann-Whitney-U-Test keine signifikante Verbesserung. Somit zeigt sich eine Sättigung der Intubationszeit hinsichtlich der notwendigen Erfahrung. Da sich allerdings keine signifikanten Differenzen zwischen Rang 0 und Rang 2 bzw. 3 zeigen sollte diskutiert werden, wie dies erklärt werden kann.

Rang	Durchschnittliche Zeit zur Intubation [s]
0	$43,0 \pm 9,9$
1	$80,0 \pm 37,3$
2	$41,0 \pm 18,8$
3	$37,8 \pm 6,1$
Gesamt	$50,8 \pm 27,4$

Tabelle 3: Übersicht der Intubationszeiten der endotrachealen Intubation in simulierter Schwerelosigkeit

Die Tabelle zeigt die durchschnittlichen Zeiten, die durch die verschiedenen Ränge zur endotrachealen Intubation benötigt wurden.

4.2.1. Analyse der Versuchszahl und des Erfahrungsrangs

Im Durchschnitt benötigen die Probanden, die erfolgreich in ihrer Intubation waren, $1,2 \pm 0,6$ Versuche zur suffizienten endotrachealen Intubation unter schwerelosen Bedingungen. Insgesamt gelingt es 65% der Probanden im Erstversuch erfolgreich zu intubieren, jeweils 5% benötigen zwei beziehungsweise drei Versuche und 25% der Probanden gelingt auch nach dem dritten Versuch keine suffiziente Intubation (vgl. Abb. 6).

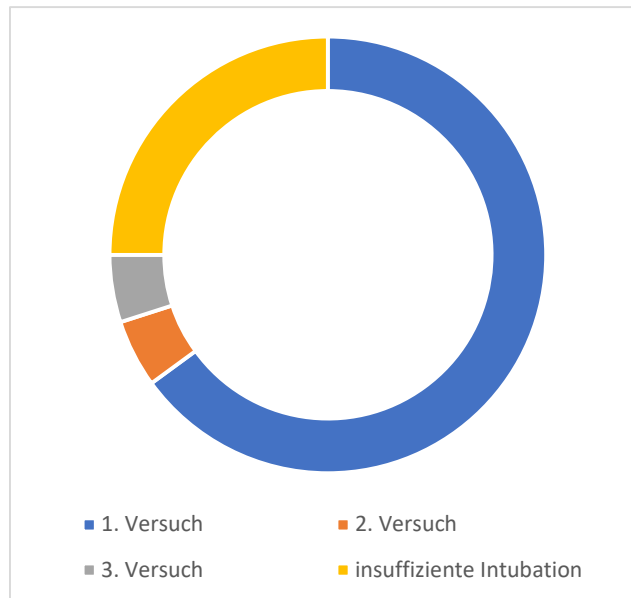


Abbildung 6: Notwendige Versuche zur erfolgreichen endotrachealen Intubation mit direktem Laryngoskop unter schwerelosen Bedingungen

Die Abbildung zeigt die Aufteilung der zur suffizienten endotrachealen Intubation notwendigen Versuche der insgesamt 20 Probanden. Hierbei ergibt sich, dass 65% der Probanden einen Versuch, je 5 % zwei bzw. drei Versuche benötigen und 25 % ist es nicht möglich, den Mannequin nach dem Drittversuch erfolgreich intubiert zu haben.

Betrachtet man die einzelnen Ränge hinsichtlich der notwendigen Versuche der Probanden, so ergibt sich für Rang 0, dass 50% im Erstversuch erfolgreich sind, wiederum 50% sind nicht in der Lage in drei Versuchen endotracheal zu intubieren. 40% der Probanden aus Rang 1 intubieren erfolgreich im Erstversuch sowie jeweils 20% im Zweit- oder Drittversuch. Noch einmal 20% sind in ihrer Intubation nicht erfolgreich. Rang 2 intubiert zu 100% erfolgreich im Erstversuch und Rang 3 erreicht 66,7% der erfolgreichen Intubationen im ersten Versucht. 33,3% der Intubationen von Rang 3 sind als insuffizient gewertet (siehe Abb. 7).

Durch einen Kruskal-Wallis-Test ergeben sich keine signifikanten Differenzen zwischen den Rängen, so dass von keinen relevanten Unterschieden auszugehen ist.

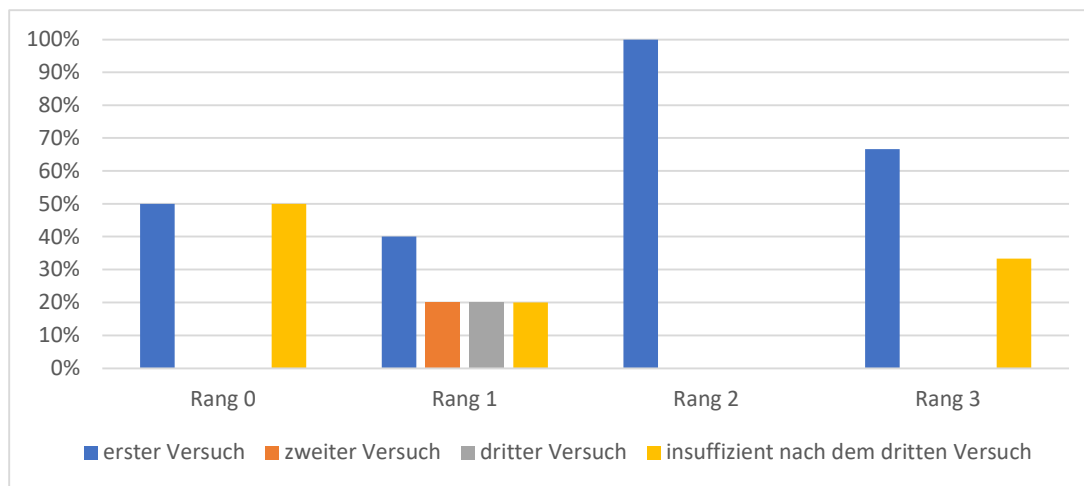


Abbildung 7: Verteilung der notwendigen Intubationsversuche zur endotrachealen Intubation unter schwerelosen Bedingungen

Die Abbildung zeigt die Zuteilung Intubationsversuche nach Vorerfahrung (definiert als Rang 0 – 3) sowie der Angabe der notwendigen Intubationsversuche (blau = erster Versuch, orange = zweiter Versuch, grau = dritter Versuch, gelb = insuffizient nach dem Drittversuch).

4.3 Analyse der endotrachealen Intubationserfahrung unter Normalbedingungen

Für die Auswertung dieses Ergebnisteils wird die gleiche Rangbildung, wie in 4.2, verwendet. Untersucht man die vorliegenden Daten für die endotracheale Intubation unter Normalbedingungen mit dem Kruskal-Wallis-Test, so ergeben sich signifikante Unterschiede für die festgelegten Ränge (Signifikanz = 0,004).

Um zu ermitteln, welche Ränge sich unterscheiden, wird wieder der Mann-Whitney-U-Test verwendet und die einzelnen Ränge untereinander verglichen. Die Ergebnisse sind in Tabelle 4 dargestellt. Es zeigen sich sowohl im Vergleich von Rang 0 und 1 sowie Rang 1 und 2 signifikante Differenzen bei gleichzeitig hoher Effektstärke. Erst im Vergleich von Rang 2 und 3 ergeben sich keine relevanten Unterschiede. Es stellt sich somit auch unter Normalbedingungen dort eine Sättigung ein.

Verglichene Ränge	Exakte Signifikanz	Effektstärke
Rang 0 – Rang 1	0,04	0,80
Rang 1 – Rang 2	0,01	0,83
Rang 2 – Rang 3	0,79	0,08

Tabelle 4: Anwendung des Mann-Whitney-U-Test auf die Ränge der Endotrachealen Intubation unter Normalbedingungen

Die Tabelle bildet die Ergebnisse des Mann-Whitney-U-Tests ab. Hierbei sind benachbarte Ränge (0 & 1, 1 & 2 sowie 2 & 3) verglichen worden und die exakte Signifikanz sowie zugehörige Effektstärke des Ergebnisses dargestellt.

Im Mittel benötigten die Probanden $31,3 \pm 14,9$ s bis zum Abschluss der erfolgreichen Intubation. Die aus dem Mann-Whitney-U-Test ersichtliche Sättigung, lässt sich auch direkt in den benötigten Zeiten erkennen. Während die Probanden aus Rang 1 noch $50,2 \pm 17,2$ s bis zur Intubation benötigten, gelang es den Probanden des zweiten Rangs im Durchschnitt bereits nach $24,2 \pm 5,4$ s. Betrachtet man nun Rang 3, so zeigt sich keine zeitliche Verbesserung im Vergleich mit Rang 2 (vgl. Tab. 5). Eine Sättigung von Rang 2 auf Rang 3 ist somit auch aus den durchschnittlichen Zeiten leicht ersichtlich. Es ergibt sich auch in diesem Versuchsteil eine signifikante Verschlechterung von Rang 0 auf Rang 1 im Mann-Whitney-U-Test.

Auch in diesem Teil ist die Nullhypothese, die keine signifikanten Unterschiede unter den Rängen annimmt, abzulehnen. Es muss diskutiert werden, was mögliche Einflussfaktoren und Ursachen für die signifikante Verschlechterung von Rang 0 auf Rang 1 sind.

Rang	Durchschnittliche Zeit zur Intubation [s]
0	$28,3 \pm 4,0$
1	$50,2 \pm 17,2$
2	$24,2 \pm 5,4$
3	$23,8 \pm 9,4$
Gesamt	$31,3 \pm 14,9$

Tabelle 5: Übersicht der Intubationszeiten der endotrachealen Intubation unter Normalbedingungen

Die Tabelle zeigt die vier Ränge und die mittleren Zeiten, die die Probanden zur Intubation benötigten in Sekunden. Zudem ist auch der Mittelwert der Zeiten aller 20 Probanden abgebildet

4.3.1. Analyse der Versuchszahl und des Erfahrungsrangs

Unter Normalbedingungen benötigen die Probanden durchschnittlich $1,3 \pm 0,7$ Versuche bis zur ersten erfolgreichen Intubation. Es gelingt insgesamt 80% der Probanden im ersten Versuch die korrekte Platzierung des Tubus. Weiteren 15% ist es möglich im zweiten Durchlauf suffizient zu intubieren und lediglich 5% der Probanden sind auch im dritten Durchlauf nicht erfolgreich.

Es ist 75% der Probanden aus Rang 0 möglich, im Erstversuch suffizient zu intubieren. Allerdings gelingt es den übrigen 25 % nicht, innerhalb der 3 vorgegebenen Versuche korrekt zu intubieren (siehe Abb. 8).

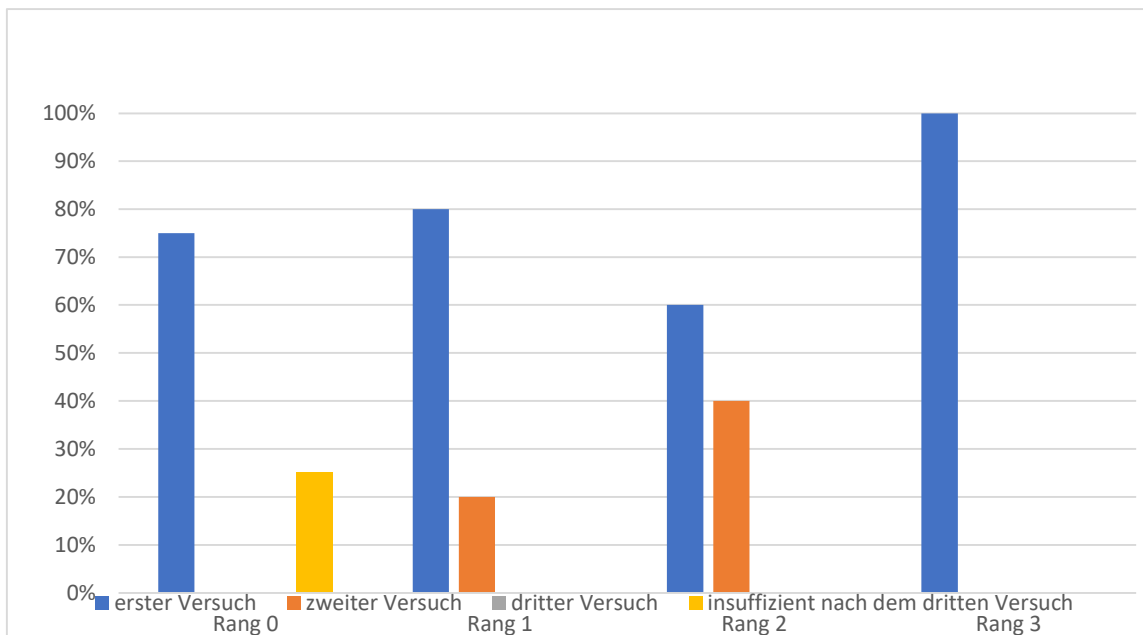


Abbildung 8: Verteilung der notwendigen Intubationsversuche zur endotrachealen Intubation unter Normalbedingungen

Die Abbildung zeigt die Zuteilung Intubationsversuche nach Vorerfahrung (definiert als Rang 0 – 3) sowie der Angabe der notwendigen Intubationsversuche (blau = erster Versuch, orange = zweiter Versuch, grau = dritter Versuch, gelb = insuffizient nach dem Drittversuch).

Bereits die Probanden aus Rang 1 können den Mannequin zu 80% erfolgreich im ersten Durchlauf intubieren. Die restlichen 20% können eine suffiziente Ventilation im zweiten Versuch erreichen. Ähnlich verhält es sich auch in Rang 2. Hier sind 60% im Erstversuch erfolgreich und 40% gelingt im zweiten Durchlauf die suffiziente Intubation. In Rang 3 gelingt es den Probanden zu 100% im ersten Versuch den Tubus korrekt zu platzieren. Der zu diesen Daten durchgeführte Kruskal-Wallis-Test ergibt keine signifikanten Unterschiede zwischen den Rängen hinsichtlich der Versuchszahl (Signifikanz = 0,48). Es gelingt 80% der 20 Probanden bereits im ersten Versuch, den Mannequin erfolgreich zu intubieren. Eine genaue Verteilung ist Abbildung 9 zu entnehmen.

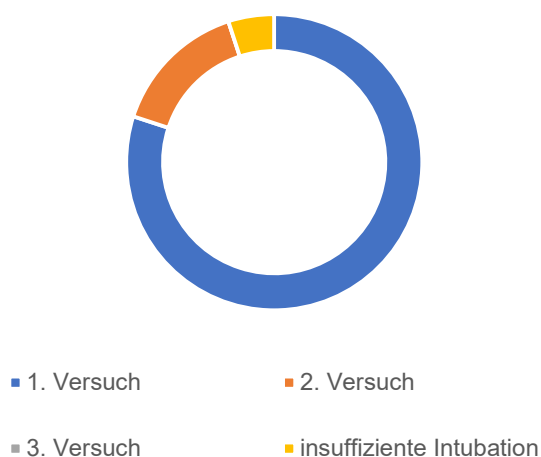


Abbildung 9: Notwendige Versuche zur erfolgreichen endotrachealen Intubation mit direktem Laryngoskop unter Einwirkung der Schwerkraft

In der Abbildung sind die Versuche dargestellt, die von den 20 Probanden benötigt wurden, um den Mannequin suffizient zu intubieren. Erstversuch (blau) = 80%; Zweitversuch (orange) = 15%; Drittversuch (grau) = 0 %; als insuffizient gewertet nach dem erfolglosen Drittversuch (gelb) = 5%.

Vergleicht man die Ergebnisse unter Schwerelosigkeit sowie mit Einfluss der Schwerkraft, so stellen sich sowohl die Intubationszeiten unter Schwerelosigkeit, als auch die notwendige Zahl Versuche als größer dar. Für Rang 0 zeigt sich weiterhin der größte Anteil insuffizienter Intubationen. Zudem sind die Ergebnisse für Rang 1 unter Schwerelosigkeit, im Rahmen der Standardabweichung, vergleichbar mit Rang 2 und 3 unter Einfluss der Schwerkraft.

Im Vergleich mit der Intubation in der Schwerelosigkeit sind die erhobenen Zeiten deutlich kürzer unter Normalbedingungen und auch die Zahl insuffizienter Intubationen nimmt um 20% ab. Somit ist eine signifikante Schwierigkeitszunahme in Schwerelosigkeit ersichtlich und fraglich, ob sich bei weiterer Erhöhung der vorher durchgeführten Intubationen ähnliche Werte wie unter Normalbedingungen verzeichnen lassen.

4.4 Analyse der Erfahrung der Anwendung der Larynxmaske in simulierter Schwerelosigkeit

In dem nun folgenden Ergebnisteil werden die Analyseergebnisse des Versuchsteils der Anwendung der Larynxmaske unter schwerelosen Bedingungen dargestellt. Die Versuchsteilnehmer haben im Mittel bereits $20,1 \pm 42,3$ Anwendungen der Larynxmaske vorab durchgeführt. Der Median der vorab platzierten Larynxmasken befand sich bei zehn. Da sich die Verteilung der vor Studienbeginn durchgeführten Einbringungen der Larynxmaske im Vergleich zur endotrachealen Intubation anders gestaltet, werden die Ränge, die für diesen Versuchsteil zur Auswertung verwendet werden, daran adaptiert, um eine möglichst homogene Gruppengröße und damit die größtmögliche Aussagekraft zu produzieren.

Rang 0 schließt die Probanden ein, die vorab keine Erfahrung mit der Larynxmaske sammeln konnten und umfasst die Probanden ohne eine Anwendung. Die $n = 6$ Probanden haben durchschnittlich keine Larynxmasken am Menschen durchgeführt. Rang 1, bei dem die Probandengruppe kaum Erfahrung mitbringt, erstreckt sich von eins bis zu zehn Anwendungen vor Beginn der Studie. Dabei ergibt sich für die $n = 7$ Probanden ein Mittelwert von $7,7 \pm 3,9$ Anwendungen.

Rang	Anzahl Anwendungen	Durchschnitt Anwendungen	Anzahl Probanden
0	0	0 ± 0	6
1	1 - 10	$7,7 \pm 3,9$	7
2	11 - 25	$21,3 \pm 2,5$	4
3	>25	$87,7 \pm 91,4$	3

Tabelle 6: Übersicht Ränge der Anwendung der Larynxmaske

Die Tabelle zeigt die in der Analyse verwendete Unterteilung der Erfahrung in die 4 Ränge. Zusätzlich wurde die durchschnittliche Vorerfahrung in der Anwendung der Larynxmaske sowie die Anzahl der Probanden, die durch den jeweiligen Rang eingeschlossen wurden, angegeben.

Der zweite Rang wird durch $n = 4$ Probanden gebildet und schließt den Bereich elf bis 25 Anwendungen ein. Dabei liegt der Durchschnittswert für die bereits vorher durchgeführten Einlagen bei $21,3 \pm 2,5$.

Rang 3, der insgesamt die größte Erfahrung mitbringt, hat bereits mehr als 25 Einlagen der Larynxmaske durchgeführt. Die $n = 3$ Probanden liegen im Mittelwert bei $87,7 \pm 91,4$ Anwendungen vor Durchführung der Studie (siehe Tab. 6).

Die Ränge werden mittels des Kruskal-Wallis-Tests analysiert. Für diesen ergeben sich keine signifikanten Unterschiede (Signifikanz = 0,53) zwischen den einzelnen Rängen und die Nullhypothese, die besagt, dass sich die Ränge nicht deutlich voneinander unterscheiden, gilt für diesen Untersuchungsteil als bestätigt. Auch der Mann-Whitney-U-Test ergibt demnach keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen. Dies ist im Folgenden beispielhaft für Rang 0 im Vergleich zu den weiteren Rängen dargestellt (vgl. Tab. 7).

Verglichene Ränge	Signifikanz	Effektstärke
Rang 0 – Rang 1	0,52	0,18
Rang 0 – Rang 2	0,2	0,41
Rang 0 – Rang 3	1,0	0,0

Tabelle 7: Anwendung des Mann-Whitney-U-Test auf die Ränge der Larynxmaske unter simulierter Schwerelosigkeit

Die Tabelle bildet die Ergebnisse des Mann-Whitney-U-Tests ab. Hierbei ist Rang 0 mit den weiteren Rängen verglichen worden und die exakte Signifikanz sowie zugehörige Effektstärke des Ergebnisses dargestellt.

Daraus wird deutlich, dass sich keine signifikante Verbesserung einstellt und Probanden, die keine Erfahrung mit dem Umgang der Larynxmaske haben, vergleichbare Ergebnisse zu den Probanden, die bereits viel Erfahrung am Patienten sammeln konnten, produzieren können. Die durchschnittliche Einführungszeit aller Probanden beträgt unter Wasser $23,1 \pm 11,5 \text{ s}^{12*}$. Die differenzierteren Zeiten sind weiterhin Tabelle 8 zu entnehmen.

Rang	Durchschnittliche Zeit zur Einlage [s]
0	$27,8 \pm 13,0$
1	$21,0 \pm 7,1$
2	$15,5 \pm 5,2$
3	$28,3 \pm 20,2$
Gesamt	$23,1 \pm 11,5^{12*}$

Tabelle 8: Übersicht der Einführungszeiten der Larynxmaske in simulierter Schwerelosigkeit

Die Tabelle zeigt die durchschnittlich benötigte Zeit zur korrekten Anwendung der Larynxmaske unterteilt in die verschiedenen Ränge. Die Angabe „12“ markiert bereits publizierte Studienergebnisse.*

4.4.1. Analyse der Versuchszahl und des Erfahrungsrangs

Es gelingt allen Probanden im ersten Versuch den Mannequin suffizient zu intubieren. Demnach liegt der Mittelwert für die Versuchszahl bei $1,0 \pm 0,0^{12*}$. Auch der Kruskal-Wallis-Test, der die Versuchszahlen in Abhängigkeit der Ränge analysiert, ergibt keine Differenzen (Signifikanz = 1,0).

4.5 Analyse Erfahrung der Anwendung der Larynxmaske unter Normalbedingungen

Zur genaueren Vergleichbarkeit wird für diesen Analyseteil die gleiche Rangbildung verwendet, wie bereits im zugehörigen Abschnitt 4.4, dessen Ergebnisse unter schwerelosen Bedingungen erhoben wurden.

Rang	Durchschnittliche Zeit zur Einlage [s]
0	$24,7 \pm 19,7$
1	$19,0 \pm 6,6$
2	$21,78 \pm 8,4$
3	$23,0 \pm 5,7$
Gesamt	$22,0 \pm 10,2$

Tabelle 9: Übersicht der Einführungszeiten der Larynxmaske unter Normalbedingungen

Die Tabelle zeigt die Ergebnisse der benötigten Zeiten zur Anwendung der Larynxmaske unter Einfluss der Schwerkraft. Diese sind unterteilt in die einzelnen Erfahrungsränge.

Es ergibt sich für alle Probanden eine mittlere Einlagezeit von $22,0 \pm 10,2$ s. Die durchschnittlichen Zeiten der jeweiligen Ränge sind Tabelle 9 zu entnehmen. Der Kruskal-Wallis-Test, der die verschiedenen Ränge mit den zugehörigen Zeiten vergleicht, ergibt keine signifikanten Unterschiede in Abhängigkeit der Erfahrung (Signifikanz = 0,82) und H_0 muss auch in diesem Teil als bestätigt angesehen werden. Auch der Mann-Whitney-U-Test, der jeweils zwei Ränge untereinander vergleicht, bestätigt dieses Ergebnis. Im Folgenden sind die Ergebnisse des Tests beispielhaft für Rang 0 im Vergleich zu den drei weiteren Rängen dargestellt (vgl. Tab. 10).

Verglichene Ränge	Signifikanz	Effektstärke
Rang 0 – Rang 1	0,83	0,09
Rang 0 – Rang 2	0,73	0,13
Rang 0 – Rang 3	0,56	0,26

Tabelle 10: Anwendung des Mann-Whitney-U-Test auf die Ränge der Larynxmaske unter Normalbedingungen

Die Tabelle bildet die Ergebnisse des Mann-Whitney-U-Tests ab. Hierbei ist Rang 0 mit den weiteren Rängen verglichen worden und die exakte Signifikanz sowie zugehörige Effektstärke des Ergebnisses dargestellt.

4.5.1. Analyse der Versuchszahl und des Erfahrungsrangs

Unter Einwirkung der Schwerkraft benötigen die Probanden im Durchschnitt $1,9 \pm 0,7$ Versuche, um suffizient mit der Larynxmaske zu intubieren. Dabei sind 40% der Probanden auch nach dem dritten Versuch in ihrer Anwendung nicht erfolgreich. Die genaue Verteilung der notwendigen Intubationsversuche ist in Abbildung 10 dargestellt.

Mit dem Kruskal-Wallis-Test werden die Ränge aus 4.4 mit den notwendigen Einführungsversuchen verglichen. Hierfür lassen sich auch hier keine Unterschiede in Abhängigkeit des Erfahrungsniveaus erkennen (Signifikanz = 0,49).

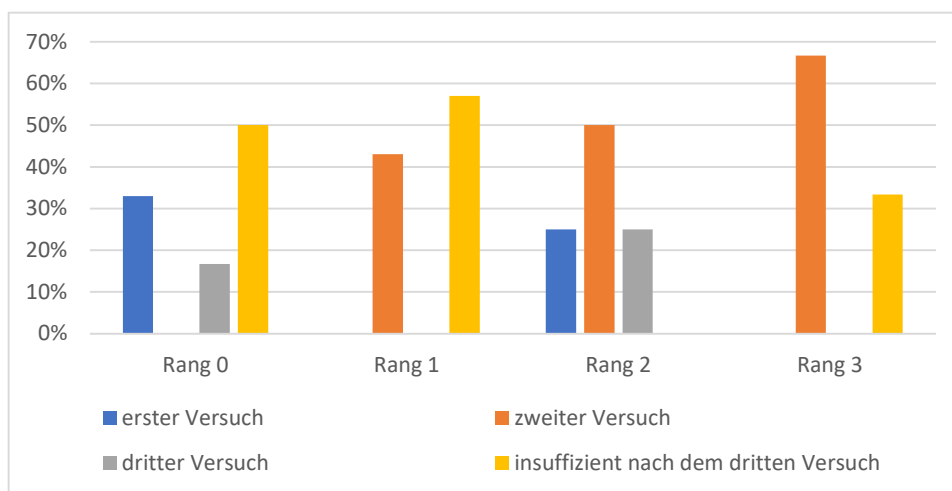


Abbildung 10: Verteilung der notwendigen Versuche zur erfolgreichen Einlage der Larynxmaske unter Normalbedingungen

Die Abbildung zeigt die Zuteilung Anwendungen der Larynxmaske nach Vorerfahrung (definiert als Rang 0 – 3) sowie der Angabe der notwendigen Intubationsversuche (blau = erster Versuch, orange = zweiter Versuch, grau = dritter Versuch, gelb = insuffizient nach dem Drittversuch).

Insgesamt ist keine Verbesserung hinsichtlich der Versuchszeiten und auch hinsichtlich der Zahl notwendiger Versuche in Abhängigkeit des Erfahrungsrangs auszumachen. In Bezug auf die Zahl der Versuche bis zur erfolgreichen Einlage ist im Vergleich zu den Ergebnissen unter Schwerelosigkeit tendenziell eine Verschlechterung zu erkennen, da mit der Schwerkraft als Einfluss 40% der Probanden keine suffiziente Einlage durchführen können. Unter schwerelosigkeitsähnlichen Bedingungen ist es allerdings allen Probanden möglich, den Mannequin im ersten Versuch erfolgreich zu intubieren. Dieser Unterschied muss mit weiteren Untersuchungen verglichen und diskutiert werden.

Die unter Einwirkung der Schwerkraft erreichten Zeiten sind im Rahmen der Standardabweichung identisch mit jenen unter schwerelosigkeitsähnlichen Bedingungen erzielten Zeiten. Dem lässt sich entnehmen, dass die Schwerelosigkeit keine Einflussvariable auf das Einführungsergebnis der Larynxmaske zu sein scheint und die Larynxmaske trotz fehlender Fixations- und Hebelmöglichkeiten einfach einzulegen ist.

4.6 Analyse der Erfahrung der Anwendung der Larynxtubus in simulierter Schwerelosigkeit

Da der Larynxtubus in der Notfallmedizin weit verbreitet ist, brachten die Probanden im Durchschnitt eine Erfahrung von $22,9 \pm 25,3$ Anwendungen am lebenden Menschen mit diesem supraglottischen Tubus mit. Der Median der bereits vor Studienbeginn durchgeführten Einlagen lag bei 15 und somit höher, als bei der endotrachealen Intubation und der Anwendungen der Larynxmaske.

Auch für den Larynxtubus werden Ränge gebildet, die sich an der Erfahrungsverteilung der Probanden orientieren. Dabei schließt Rang 0 die Probanden ein, die bisher null bis zweimal den Larynxtubus angewendet haben. Der Mittelwert der $n = 5$ Probanden liegt in diesem Rang bei $0,4 \pm 0,9$ Einführungen des Larynxtubus.

Der nächste Rang, der kaum Erfahrung mitbringt, deckt den Bereich drei bis zehn Anwendungen ab. Rang 1 wird durch insgesamt vier Probanden gebildet. Dabei liegt die durchschnittliche Zahl Einführungen am Menschen bei $7,8 \pm 2,9$.

Der zweite Rang umschließt den Bereich von elf bis 20 Anwendungen des Larynxtubus. Er enthält $n = 3$ Probanden mit einer mittleren Zahl Einführungen des Larynxtubus von $16,7 \pm 2,9$.

Viel Erfahrung bringen insgesamt $n = 8$ Probanden mit, die Rang 3 zugeordnet sind. Dieser ist definiert als die Erfahrung von mehr als 20 Einführungen des Larynxtubus. Im Mittelwert liegen die Probanden dieses Ranges bei $46,9 \pm 23,8$ Einlagen vorab (vgl. Tab. 11).

Rang	Anzahl Anwendungen	Durchschnitt Anwendungen	Anzahl Probanden
0	0 – 2	$0,4 \pm 0,9$	5
1	3 – 10	$7,8 \pm 2,9$	4
2	11 – 20	$16,7 \pm 2,9$	3
3	>20	$46,9 \pm 23,8$	8

Tabelle 11: Übersicht Ränge der Anwendungen des Larynxtubus

Die Tabelle zeigt die in der Analyse verwendete Unterteilung der Erfahrung in die 4 Ränge. Zusätzlich wurde die durchschnittliche Vorerfahrung in der Anwendung der Larynxtuben sowie die Anzahl der Probanden, die durch den jeweiligen Rang eingeschlossen wurden, angegeben.

Mit dem Kruskal-Wallis-Test werden die verschiedenen Ränge verglichen und es erfolgt in diesem Analyseteil die Ablehnung der Nullhypothese (Signifikanz = 0,09). Somit wird in diesem Fall die Nullhypothese, die besagt, dass es keine Differenzen zwischen den Rängen gibt, verworfen. Stattdessen wird nun die Existenz eines signifikanten Unterschieds zwischen den Rängen angenommen.

Zur genaueren Exploration der signifikanten Differenzen werden die vier Ränge durch den Mann-Whitney-U-Test analysiert. Die Ergebnisse sind in Tabelle 12 dargestellt. Es zeigen sich signifikante Unterschied sowohl zwischen Rang 1 und 2 als auch zwischen Rang 2 und 3.

Verglichene Ränge	Signifikanz	Effektstärke
Rang 0 – Rang 1	0,26	0,38
Rang 1 – Rang 2	0,03	0,81
Rang 2 – Rang 3	0,06	0,56

Tabelle 12: Anwendung des Mann-Whitney-U-Test auf die Erfahrungsränge des Larynxtubus unter simulierter Schwerelosigkeit

Die Tabelle bildet die Ergebnisse des Mann-Whitney-U-Tests ab. Hierbei sind benachbarte Ränge (0 & 1, 1 & 2 sowie 2 & 3) verglichen worden und die exakte Signifikanz sowie zugehörige Effektstärke des Ergebnisses dargestellt.

Im Durchschnitt benötigen alle Probanden $19,5 \pm 6,1 \text{ s}^{12*}$ zur Einlage. Betrachtet man den Unterschied von Rang 1 mit $24,5 \pm 3,1 \text{ s}$ und Rang 2 mit $12,7 \pm 1,2 \text{ s}$ so ist eine deutliche Verbesserung ersichtlich. Auch zwischen Rang 2 und Rang 3 zeigen sich signifikante Differenzen, die sich in diesem Fall durch eine längere Zeit für Rang 3 als Rang 2 ergeben (vgl. Tab. 13).

Rang	Durchschnittliche Zeit zur Einlage [s]
0	$19,6 \pm 6,1$
1	$24,5 \pm 3,1$
2	$12,7 \pm 1,2$
3	$19,3 \pm 6,5$
Gesamt	$19,5 \pm 6,1^{12*}$

Tabelle 13: Übersicht der Einführungszeiten des Larynxtubus in Schwerelosigkeit

Die Tabelle zeigt die Ergebnisse der benötigten Zeiten zur Anwendung des Larynxtubus unter simulierter Schwerelosigkeit. Diese sind unterteilt in die einzelnen Erfahrungsränge. Die Angabe „12“ markiert bereits publizierte Studienergebnisse.*

4.6.1. Analyse der Versuchszahl und des Erfahrungsrangs

Der Vergleich der notwendigen Versuche in Abhängigkeit des Erfahrungsrangs mit dem Kruskal-Wallis-Test ergibt eine Signifikanz von 1, da $100\%^{12*}$ der Probanden in der Lage sind, eine positive Ventilation im Erstversuch zu erreichen. Somit liegt der Mittelwert bei $1,0 \pm 0,0^{12*}$ Versuchen.

Daraus lässt sich entnehmen, dass die Handhabung des Larynxtubus keine deutliche Herausforderung für die Probanden darstellt, da auch unerfahrenen Probanden eine korrekte Platzierung im ersten Versuch möglich war.

4.7 Analyse der Erfahrung der Anwendung des Larynxtubus unter Normalbedingungen

In diesem Analyseteil wird die gleiche Rangbildung, wie im Kapitel 4.6 verwendet. Unter normalen Anwendungsbedingungen benötigen die Probanden durchschnittlich $13,7 \pm 5,3 \text{ s}^{12*}$ zur korrekten Platzierung des Larynxtubus. Differenziert sind die benötigten Zeiten in Tabelle 14 dargestellt.

Wendet man den Kruskal-Wallis-Test auf die Ränge zum Vergleich der jeweiligen Einführungszeit an, so ergeben sich keine signifikanten zeitlichen Unterschiede zwischen den einzelnen Erfahrungsstufen und die Nullhypothese kann für diesen Ergebnisteil angenommen werden (Signifikanz = 0,43).

Rang	Durchschnittliche Zeit zur Einlage [s]
0	$12,6 \pm 3,8$
1	$17,0 \pm 5,6$
2	$11,3 \pm 1,5$
3	$13,5 \pm 6,7$
Gesamt	$13,7 \pm 5,3^{12*}$

Tabelle 14: Übersicht der Einführungszeiten des Larynxtubus unter Normalbedingungen

Die Tabelle zeigt die Ergebnisse der benötigten Zeiten zur Anwendung des Larynxtubus unter Einfluss der Schwerkraft. Diese sind unterteilt in die einzelnen Erfahrungsstufen.

Die Angabe „12*“ markiert bereits publizierte Studienergebnisse.

Auch ein detaillierter Vergleich mit dem Mann-Whitney-U-Test bestätigt dieses Ergebnis zusätzlich (vgl. Tab. 15).

Verglichene Ränge	Signifikanz	Effektstärke
Rang 0 – Rang 1	0,14	0,50
Rang 0 – Rang 2	0,88	0,06
Rang 0 – Rang 3	0,56	0,16
Rang 1 – Rang 2	0,11	0,61
Rang 1 – Rang 3	0,49	0,20
Rang 2 – Rang 3	0,41	0,25

Tabelle 15: Anwendung des Mann-Whitney-U-Test auf die Erfahrungsstufen des Larynxtubus unter Normalbedingungen

Die Tabelle bildet die Ergebnisse des Mann-Whitney-U-Tests ab. Hierbei sind alle Ränge untereinander verglichen worden und die exakte Signifikanz sowie zugehörige Effektstärke des Ergebnisses dargestellt.

4.7.1. Analyse der Versuchszahl und des Erfahrungsstadiums

Die mittlere Versuchszahl bis zur suffizienten Anwendung liegt insgesamt bei $1,4 \pm 0,5$ Versuchen. Dabei intubieren 60% der Probanden aus Rang 0 im Erstversuch korrekt. Bei den

übrigen 40% liegt der Tubus im Zweitversuch richtig. Die Probanden aus Rang 1 intubieren zu 75% im Erstversuch korrekt und zu 25% im zweiten Versuch.

Auch in Rang 2 ist 67% der Probanden eine suffiziente Ventilation im Erstversuch möglich und wiederum 33% können dies im zweiten Durchlauf erreichen. Auch Rang 3 platziert in 50% den Larynxtubus im ersten Versuchsdurchlauf richtig und zu 50% im zweiten Versuch. Insgesamt ist es allen Probanden möglich, im ersten oder zweiten Versuch korrekt zu intubieren und den Mannequin suffizient zu ventilieren (vgl. Abb. 11).

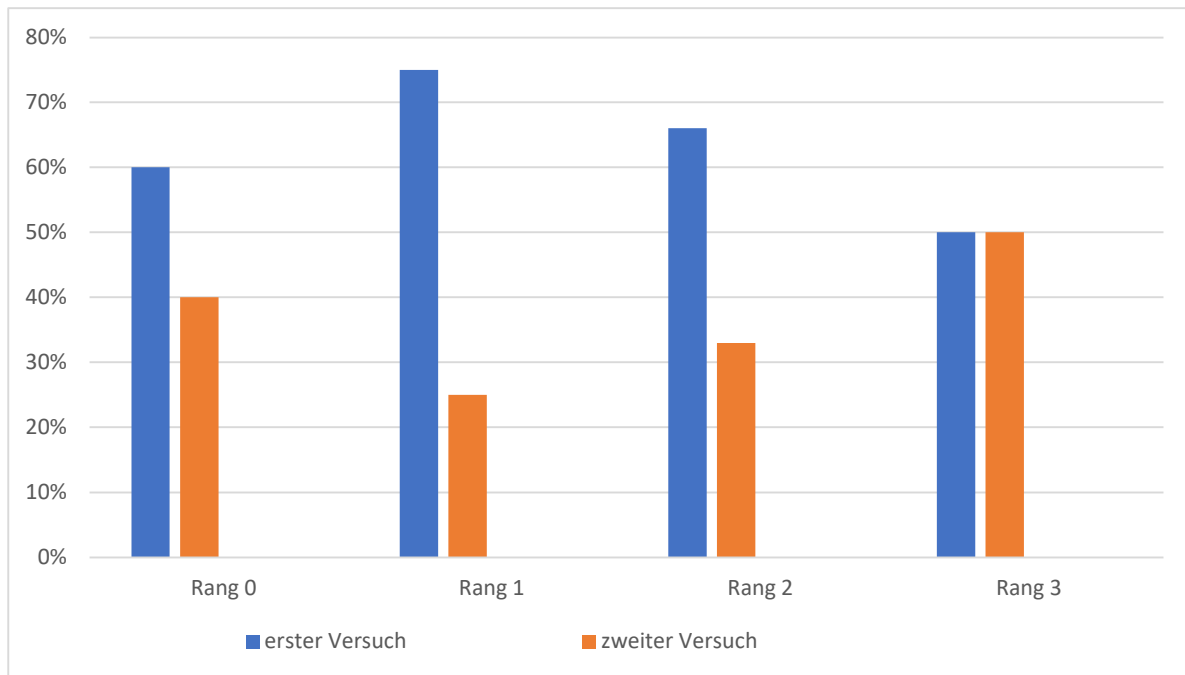


Abbildung 11: Verteilung der notwendigen Einführungsversuche des Larynxtubus unter Normalbedingungen

Die Abbildung zeigt die Aufteilung der benötigten Versuchsdurchläufe zur korrekten Platzierung des Larynxtubus aufgeteilt in die vier Ränge.

Wendet man den Kruskal-Wallis-Test auf die Ränge in Abhängigkeit der benötigten Versuche an, so ergeben sich keine signifikanten Unterschiede in den benötigten Versuchen der einzelnen Ränge (Signifikanz = 0,92).

Auch eine Kontrolle durch den Mann-Whitney-U-Test spiegelt dieses Ergebnis wider. Insgesamt ist es jedem Probanden möglich, den Mannequin korrekt im ersten oder zweiten Versuch zu intubieren.

Die Ergebnisse sprechen insgesamt nicht für eine zeitliche Verbesserung bei größerer Expertise. Allerdings liegt die durchschnittlich benötigte Zeit zur korrekten Einführung niedriger im Vergleich zu den Ergebnissen unter Schwerelosigkeit. Hierbei fällt auf, dass die Zeit von Rang 2 in der Schwerelosigkeit ungefähr der durchschnittlichen Zeit der Probanden unter Normalbedingungen entspricht.

Im Vergleich mit Rang 2 unter Normalbedingungen stellt sich, wie durch die Analyse belegt, keine deutliche Verbesserung ein. Somit lässt sich schlussfolgern, dass Probanden, die bisher keine Erfahrung mit der Einlage des Larynxtubus haben, unter normalen Bedingungen bereits ähnliche zeitliche Ergebnisse herbeiführen können, wie erfahrene Probanden. Da auch die Ergebnisse unter Schwerelosigkeit dies widerspiegeln, spricht dies nicht dafür, dass für die Anwendung des Larynxtubus eine bestimmte Vorerfahrung notwendig ist.

Aus den Ergebnissen ist allerdings eine Verbesserung hinsichtlich der Zeit, die zur Durchführung der Einlage unter Normalbedingungen im Vergleich zur Schwerelosigkeit benötigt wird, ersichtlich. Es lässt sich allerdings keine Verbesserung in Bezug auf die notwendigen Versuche nachweisen. Demnach könnte die Schwerelosigkeit selbst eine potenzielle Hürde zur schnellen Anwendung darstellen, die möglicherweise noch durch andere Faktoren gesenkt werden kann.

Im Vergleich mit den anderen Atemwegshilfen zeigen sich unter Normalbedingungen graduell schnellere Einführungszeiten für den Larynxtubus und die Larynxmaske sowie für die endotracheale Intubation ohne Videolaryngoskop. Auch im Vergleich unter schwerelosen Bedingungen schneidet die Einlage des Larynxtubus am besten ab. Die Zahl der notwendigen Versuche ist sowohl unter Normalbedingungen als auch für die Schwerelosigkeit vergleichbar mit den Ergebnissen der Larynxmaske und der endotrachealen Intubation. Insgesamt lassen diese Ergebnisse auf eine wenig anspruchsvolle Handhabung, auch in einer Ausnahmesituation, schließen.

4.8 Analyse der Intubationserfahrung mittels Videolaryngoskop in simulierter Schwerelosigkeit

Die Probanden haben im Durchschnitt $1,6 \pm 3,0$ Intubationen mit dem Videolaryngoskop vor Studienbeginn durchgeführt. Auch im Median liegen die Probanden bei null vorab durchgeführten Intubationen. Somit hat die Probandengruppe deutlich weniger Erfahrung mit dem Videolaryngoskop, als mit den anderen Atemwegshilfsmitteln. Insgesamt bringen die Probanden zwischen null und zehn Anwendungen des Videolaryngoskops am Menschen mit.

Es liegt demnach ein Selektions-Bias vor, da die Verteilungsbreite nicht ausreichend für eine differenzierte Auswertung ist. Da 62,5% und damit über die Hälfte der Probanden keine suffiziente Beatmung nach dem dritten Versuch erreichen, beschränkt sich die Auswertung auf einen Bruchteil der Zeiten. Daher wird auf die Auswertung in Abhängigkeit des Erfahrungsrangs verzichtet. Insgesamt haben die Probanden durchschnittlich $67,0 \pm 33,5$ s zur Intubation benötigt. Die geringste Zeit zur Durchführung der Intubation liegt bei 40 s und die höchste Zeit bei 136 s.

4.8.1. Analyse der Versuchszahl und des Erfahrungsrangs

Zur Analyse der notwendigen Versuche bis zur erfolgreichen Intubation werden wiederum an die Erfahrung adaptierte Ränge gebildet, um eine genauere Aussage über die notwendige Erfahrung machen zu können. Da die Verteilung nicht so breit, wie bei der endotrachealen Intubation und der Einlage der Larynxmaske beziehungsweise Larynxtubus ist, werden drei Ränge gebildet.

Dabei umfasst Rang 0 alle Probanden, die bisher keine Intubation mit Videolaryngoskop durchgeführt haben. Die Zahl der Probanden, die diesem Rang zugeordnet sind, liegt bei $n = 11$ und der Mittelwert der Intubationen demnach bei $0,0 \pm 0,0$ Intubationen.

Rang 1 umfasst die Probanden, die vorab zwischen einer und neun Intubationen mit dem Videolaryngoskop am lebenden Menschen durchgeführt haben. Die $n = 7$ Probanden liegen im Mittelwert bei $1,7 \pm 0,8$ Intubationen vor Studienbeginn.

Alle Probanden, die mindestens zehn oder mehr Intubationen mit dem Videolaryngoskop durchgeführt haben, werden dem zweiten Rang zugeordnet. Für die $n = 2$ Probanden ergibt sich eine mittlere Intubationserfahrung von $10,0 \pm 0,0$ Intubationen (vgl. Tab. 16).

Rang	Anzahl Intubationen	Durchschnitt Intubationen	Anzahl Probanden
0	0	$0,0 \pm 0,0$	11
1	1 - 9	$1,7 \pm 0,8$	7
2	>9	$10,0 \pm 0,0$	2

Tabelle 16: Übersicht der Ränge bei der endotrachealen Intubation mittels Videolaryngoskop

Die Tabelle zeigt die in der Analyse verwendete Unterteilung der Erfahrung in die 3 Ränge. Zusätzlich wurde die durchschnittliche Vorerfahrung in der Anwendung des Videolaryngoskops sowie die Anzahl der Probanden, die durch den jeweiligen Rang eingeschlossen wurden, angegeben.

Wendet man den Kruskal-Wallis-Test auf die Ränge an, so zeigen sich keine deutlichen Unterschiede in den drei Erfahrungsbereichen und die Nullhypothese muss akzeptiert werden (Signifikanz = 1,0). Insgesamt 37,5% der Probanden intubieren im Erstversuch korrekt. Den übrigen 62,5% gelingt keine suffiziente Intubation nach drei Versuchen.

Es zeigen sich allerdings sehr deutlich zwei Gruppen (vgl. Abb. 12). Ein Teil der Probanden kann direkt richtig intubieren, während die andere Gruppe auch nach drei Versuchen dazu nicht in der Lage ist. Zwischen diesen beiden Extrema liegt kein Proband. Was ursächlich hierfür war und welche möglichen Einflussfaktoren zu diesem Ergebnis geführt haben, wird in der Diskussion eingehender erörtert.

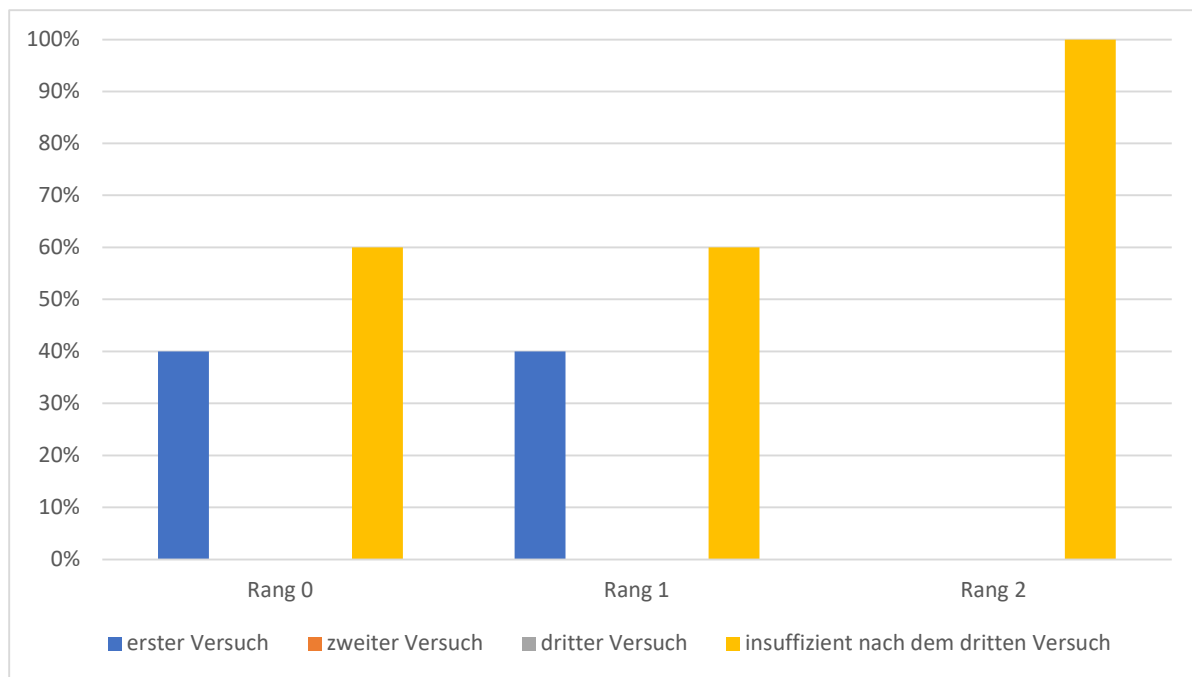


Abbildung 12: Verteilung der notwendigen Intubationsversuche mit dem Videolaryngoskop unter schwerelosen Bedingungen

Die Abbildung zeigt die Aufteilung der benötigten Versuchsdurchläufe zur korrekten Platzierung des Endotrachealtubus mit dem Videolaryngoskop aufgeteilt in die drei Ränge.

4.9 Analyse der Intubationserfahrung mittels Videolaryngoskop unter Normalbedingungen

Zur weiteren Analyse werden auch in diesem Fall wieder die zugehörigen Rangunterteilungen aus dem Analyseteil 4.8.1 verwendet. Die Anwendung des Kruskal-Wallis-Tests auf die Intubationszeiten in Abhängigkeit der Ränge ergibt keine signifikanten Unterschiede (Signifikanz = 0,1). Da die Nullhypothese erst ab einer Signifikanz von $<0,1$ abgelehnt wird, ist H_0 für diesen Ergebnisteil als bestätigt anzusehen.

Verglichene Ränge	Signifikanz	Effektstärke
Rang 0 – Rang 1	0,21	0,31
Rang 0 – Rang 2	0,12	0,47
Rang 1 – Rang 2	0,06	0,68

Tabelle 17: Anwendung des Mann-Whitney-U-Test auf die Erfahrungsränge des Videolaryngoskops unter Normalbedingungen

Die Tabelle bildet die Ergebnisse des Mann-Whitney-U-Tests ab. Hierbei sind alle Ränge untereinander verglichen worden und die exakte Signifikanz sowie zugehörige Effektstärke des Ergebnisses dargestellt.

Die ausführlichere Betrachtung der einzelnen Ränge durch den Mann-Whitney-U-Test ist in Tabelle 17 dargestellt. Hierbei ist sowohl eine grundsätzliche Tendenz zur Verbesserung in Abhängigkeit der Erfahrung ersichtlich, als auch eine signifikante zeitliche Verbesserung ab zehn vorab am Menschen durchgeführten Intubationen mit dem Videolaryngoskop.

Die Probanden aus Rang 0 benötigen durchschnittlich $57,3 \pm 40,2$ s zur Intubation und auch die Probanden aus Rang 1 erreichen mit einem Mittelwert von $78,3 \pm 50,2$ s vergleichbare Zeiten. Eine deutliche Reduktion der Intubationszeit ist in Rang 2 mit durchschnittlich $27,0 \pm 1,4$ s ersichtlich. Dieser stellt sich in der Auswertung im Vergleich zu Rang 1 als signifikant schneller dar (vgl. Tab. 17). Der Mittelwert aller Probanden liegt bei $61,4 \pm 43,3$ s (vgl. Tab. 18).

Rang	Durchschnittliche Zeit zur Intubation [s]
0	$57,3 \pm 40,2$
1	$78,3 \pm 50,2$
2	$27,0 \pm 1,4$
Gesamt	$61,4 \pm 43,3$

Tabelle 18: Übersicht der Intubationszeiten der endotrachealen Intubation mit Videolaryngoskop unter Normalbedingungen

Die Tabelle zeigt die durchschnittlich benötigte Zeit zur erfolgreichen Intubation mit dem Videolaryngoskop unterteilt in die drei Ränge.

4.9.1. Analyse der Versuchszahl und des Erfahrungsrangs

Im Durchschnitt benötigen die Probanden, deren Intubation innerhalb der ersten drei Versuche liegt, $1,4 \pm 0,6$ Versuche zur korrekten Intubation. 20% der Probanden können keine suffiziente Intubation herbeiführen.

Ein Vergleich auf signifikante Differenzen zwischen den verschiedenen Rängen durch den Kruskal-Wallis-Test ergibt keine deutlichen Unterschiede zwischen den Rängen (Signifikanz = 0,46). Auch der zur Überprüfung durchgeführte Mann-Whitney-U-Test ergibt somit keine signifikanten Differenzen im Direktvergleich der einzelnen Ränge.

Betrachtet man die prozentuale Aufteilung der notwendigen Versuche differenziert auf die verschiedenen Ränge, so ergibt sich für Rang 0, dass 36,4% nur einen Versuch benötigen. Weitere 27,3% brauchen einen weiteren Versuch und 9,1% noch einen Drittversuch zur richtigen Intubation. 27,3% gelingt es auch mit dem Drittversuch nicht, den Mannequin richtig zu intubieren.

Die Probanden aus Rang 1 sind zu 71,4% in der Lage, den Mannequin im ersten Versuch korrekt zu intubieren. Nur jeweils 14,3% benötigen einen zweiten Versuch oder sind nicht in der Lage, den Tubus in drei Versuchen richtig zu platzieren.

In Rang 2 benötigen jeweils 50,0% der Probanden nur einen einzigen Versuch und wiederum 50,0% einen zweiten zur suffizienten Platzierung des Tubus (vgl. Abb. 13).

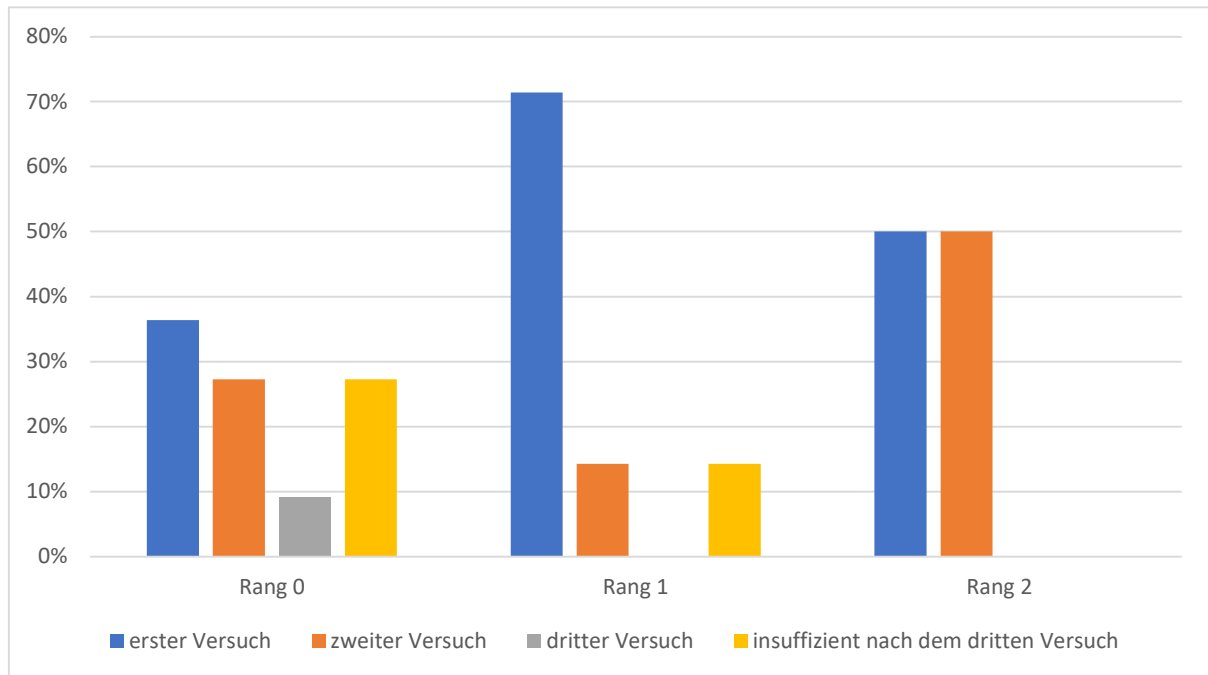


Abbildung 13: Verteilung der notwendigen Intubationsversuche zur endotrachealen Intubation mit dem Videolaryngoskop unter Normalbedingungen

Die Abbildung zeigt die Aufteilung der benötigten Versuchsdurchläufe zur korrekten Platzierung des Endotrachealtubus mit dem Videolaryngoskop aufgeteilt in die drei Ränge.

Aus diesen Ergebnissen lässt sich ableiten, dass die Intubation durch das Videolaryngoskop unter Einwirkung der Schwerkraft im Vergleich zur Intubation unter Schwerelosigkeit eine geringere Hürde darstellt. Denn die Probanden, die bereits zehn oder mehr Anwendungen des Videolaryngoskops sammeln konnten, erreichen unter Normalbedingungen deutlich schnellere Zeiten, als die Probanden mit weniger oder keiner Erfahrung. Dies war den Probanden in der Schwerelosigkeit nicht möglich. Demnach wäre es potenziell möglich, dass Probanden mit mehr Erfahrung in der Anwendung des Videolaryngoskops kürzere Zeiten für die Intubation in der Schwerelosigkeit erreichen könnten.

Weiterführend zeigt sich eine grundsätzliche Tendenz, dass die Intubationen innerhalb der drei Versuche häufiger erfolgreich sind, wenn die Probanden mindestens zehn Intubationen vorab durchgeführt haben. Denn allen Probanden aus Rang 2 gelingt es, innerhalb der zulässigen Versuchszahl eine suffiziente Platzierung des Tubus herbeizuführen. Diese kann allerdings nicht unter schwerelosen Bedingungen festgestellt werden. Somit ist davon auszugehen, dass die Handhabung des Videolaryngoskops für ungeübtes Personal in einer schwerelosen

Umgebung zusätzlich erschwert ist. Insgesamt lässt sich kein Ergebnis erheben, dass für die Intubation durch das Videolaryngoskop in adäquater Zeit durch ungelernte Probanden spricht.

4.10 Ergebniszusammenfassung

Ziel der Studie war es, herauszufinden, wie viel Erfahrung Personen benötigen, um die Anwendung verschiedener Atemwegshilfen unter schwerelosigkeitsähnlichen Bedingungen suffizient zu beherrschen.

Im Rahmen der Analyse der erhobenen Werte zeigte sich, dass die Probanden in ihrer Erfahrung im Umgang mit der Larynxmaske, dem Larynxtubus und der endotrachealen Intubation mit dem Laryngoskop sehr breit verteilt waren. Dem entgegen stand die Erfahrung im Umgang mit dem Videolaryngoskop.

	Larynxmaske	Larynxtubus	Endotracheale Intubation ohne Videolaryngoskop	Endotracheale Intubation mit Videolaryngoskop
Durchschnittliche Zahl vorab durchgeführter Anwendungen	20,1 ± 42,3	22,9 ± 25,3	18,2 ± 33,1	1,6 ± 3,0
Ø Einführungszeit In Schwerelosigkeit	23,1 ± 11,5 s ^{12*}	19,5 ± 6,1 s ^{12*}	50,8 ± 27,4 s	67,0 ± 33,5 s
Ø Einführungszeit unter Normalbedingungen	22,0 ± 10,2 s	13,7 ± 5,3 s ^{12*}	31,3 ± 14,9s	61,4 ± 43,3 s
Ø Versuchszahl in Schwerelosigkeit	1,0 ± 0,0 ^{12*} 0% insuffizient	1,0 ± 0,0 ^{12*} 0% insuffizient	1,2 ± 0,6 25% insuffizient	1,0 ± 0,0 62,5% insuffizient
Ø Versuchszahl unter Normalbedingungen	1,9 ± 0,7 40% insuffizient	1,4 ± 0,5 0% insuffizient	1,12 ± 0,4 5% insuffizient	1,4 ± 0,6 20% insuffizient

Tabelle 19: Ergebnisübersicht

Die Tabelle gibt eine Übersicht der in der Studie dieser Arbeit erhobenen Daten. Die Angabe „12*“ markiert bereits publizierte Studienergebnisse.

Vergleicht man die notwendigen Zeiten, die die Probanden unter Normalbedingungen zur Einführung benötigten, so ist der Larynxtubus, die am schnellsten zu platzierende Atemwegshilfe. Auf diesen folgen die Larynxmaske und die endotracheale Intubation mit dem konventionellen Laryngoskop. Die endotracheale Intubation mit dem Videolaryngoskop benötigte insgesamt die längste Zeit. Unter schwerelosen Bedingungen gestalten sich die Zeiten für den Larynxtubus und die Larynxmaske ähnlich. Die reguläre endotracheale Intubation ist dort nur geringfügig schneller als die Intubation mit dem Videolaryngoskop (vgl. Tab. 19).

Die endotracheale Intubation ohne das Videolaryngoskop zeigt eine signifikante zeitliche Verbesserung in der Schwerelosigkeit ab Rang 2. Die zugehörige Probandengruppe aus Rang 2 brachte zwischen sechs und 15 Intubationen mit. Unter Normalbedingungen zeigen sich auch deutliche zeitliche Differenzen. Diese beginnen bereits ab Rang 1. Die Probanden dieses Rangs konnten drei bis fünf Intubationen vorweisen. Die Auswertung der Anwendung der Larynxmaske ergab keine Unterschiede hinsichtlich der zur Einlage notwendigen Zeit. Dies gilt für beide Versuchsteile.

Die Analyse der erhobenen Daten zur Verwendung des Larynxtubus ergab unter Einfluss der Schwerkraft keine signifikanten zeitlichen Veränderungen. In dem Versuchsteil mit simulierter Schwerelosigkeit zeigte sich eine signifikante Verbesserung ab Rang 2. Die Probanden des zweiten Rangs hatten zwischen elf und 20 Anwendungen des Larynxtubus angegeben und benötigten durchschnittlich nur $12,7 \pm 1,2$ s. Diese Zeit wurde durch das Ergebnis von Rang 3 allerdings wieder relativiert, da dieses keinen signifikanten Unterschied zu den anderen Rängen zeigt.

Bei den Daten des Videolaryngoskops zeigte sich unter Normalbedingungen eine signifikante Zeitverbesserung ab Rang 2. Die Probanden dieses Rangs hatten mindestens zehn Anwendungen des Videolaryngoskops vorab und erreichten eine durchschnittliche Intubationszeit von $27,0 \pm 1,4$ s. Auf eine detailliertere Auswertung der Zeiten unter Schwerelosigkeit wurde verzichtet, da die Verteilungsbreite insgesamt sehr gering war und der überwiegende Teil der Probanden keine suffiziente Intubation herbeiführen konnte. Die durchschnittlich notwendigen Versuche der verschiedenen Tuben lagen unter Normalbedingungen alle recht nah beieinander (vgl. Tab. 19). In der simulierten Schwerelosigkeit gelang es allen Probanden, im Erstversuch sowohl Larynxmaske als auch Larynxtubus richtig zu platzieren.

Für die endotracheale Intubation ohne Videolaryngoskop wurden insgesamt 25% der Versuche in simulierter Schwerelosigkeit als insuffizient gewertet. Mit Hilfe des Videolaryngoskops gelang es allen Probanden, die den Tubus korrekt einführten, dies im Erstversuch umzusetzen. Allerdings wurden 62,5% der Versuche als insuffizient gewertet.

Die Auswertung hinsichtlich signifikanter Differenzen der benötigten Versuche ergab bei der endotrachealen Intubation mit einfachem Laryngoskop keine deutlichen Unterschiede, sowohl unter schwerelosigkeitsähnlichen, als auch unter Normalbedingungen. Ein ähnliches Bild ergibt sich für die Auswertung der Larynxmaske, des Larynxtubus sowie des Videolaryngoskops. Auch hier ergeben sich in beiden Versuchsteilen keine deutlichen Unterschiede.

5. Diskussion

5.1 Diskussion der Ergebnisse

Derzeit existieren fünf vergleichbare Studien, die sich mit der Atemwegssicherung unter schwerelosen Bedingungen auseinandersetzen. Von diesen fünf Studien wurde in drei die Schwerelosigkeit in einem Parabelflug simuliert. In den anderen beiden Studien wurde der Tauchgang zur Simulation von schwerelosen Verhältnissen genutzt.^{16,28-31} Bei vier der Studien handelt es sich um randomisierte Vergleichsstudien. Bei der fünften Studie wurde nicht randomisiert. Diese ist eine Cross-over Studie. Eine genaue Übersicht über die weiteren Studien findet sich in Tabelle 20.

Die Studie von Starck *et al.* vergleicht die endotracheale Intubation mittels regulärem Laryngoskop sowie Videolaryngoskop in verschiedenen Gruppen. Allerdings wird nur zwischen Anfängern mit weniger als zehn Intubationen und Experten mit mehr als 1000 Intubationen unterschieden. Somit ist keinerlei Abstufung möglich. Zudem ist der Versuchsaufbau durch die schwerelose Phase des Parabelflugs zeitlich eng begrenzt.³¹ Ein Vorteil des in dieser Arbeit verwendeten Versuchsaufbaus sowie der Probandengruppe liegt darin, dass die Ergebnisse in Abhängigkeit der Erfahrung deutlich differenzierter verglichen werden können. Außerdem fixieren Starck *et al.* sowohl den Mannequin als auch den Intubateur.³¹ Da in einer Notfallsituation potenziell die Zeit fehlen könnte, den Patienten zu einer solchen Fixierung zu transportieren und zusätzlich dort zu fixieren, wurde in dieser Arbeit bewusst auf eine solche Fixation verzichtet und ein frei-schwebendes Szenario gewählt.

Die Studien von Groemer *et al.* sowie Rabitsch *et al.* untersuchen jeweils nur einzelne Tuben und Masken. Ein Vorteil der Studie dieser Arbeit im Vergleich zu Groemer *et al.* und Rabitsch *et al.* liegt in der besseren Vergleichbarkeit der verschiedenen Atemwegshilfsmittel, da die gleiche Probandengruppe vier verschiedene Tuben und Masken verwendet.^{29,30}

Starck *et al.* nutzen zusätzlich einen Stifneck, um zervikale Bewegungen zu minimieren. In dieser Studie wurde bewusst auf jegliche externe Fixierung verzichtet, um vergleichen zu können, ob eine Intubation durch einen einzelnen Intubateur durchführbar beziehungsweise abhängig von einer bestimmten Erfahrung durchführbar ist.³¹

Sowohl Keller *et al.* als auch Warnecke *et al.* untersuchen ausschließlich Anästhesisten.^{16,28} Groemer *et al.* untersucht Probanden ohne jegliche Erfahrung und Starck *et al.* vergleicht Experten, die die Intubationserfahrung eines Anästhesisten haben mit absolut unerfahrenen Probanden.^{29,31} Ein Vorteil der hier vorgelegten Studie ist die Probandengruppe, bestehend aus Rettungsdienstmitarbeitern. Da sowohl Anästhesisten als auch Probanden ohne jegliche Erfahrung ungeeignet sind, um das Intubationsergebnis in Abhängigkeit der Erfahrung differenziert zu vergleichen.

Warnecke *et al.* nutzen einen vergleichbaren Versuchsaufbau, untersuchen allerdings nicht den Einfluss der Erfahrung, sondern die Dauer der Intubation durch Anästhesisten. Im Ausblick schreiben Warnecke *et al.*, dass sie weitere Untersuchungen für notwendig erachten, da Notfallmediziner selten Teil der Crew sein werden.¹⁶ Um die Fragestellung der Abhängigkeit des Intubationsergebnisses von der Erfahrung beantworten zu können, wurde in dieser Arbeit die Probandengruppe aus Rettungsdienstmitarbeiter zusammengestellt.

Starck *et al.* nutzen für ihre Studie den SimMan ALS von Laerdal.³¹ Dieser Mannequin besitzt eine Zunge, bei der man das Volumen der Zunge verändern kann. Um die cephalische Kongestion, die unter Schwerelosigkeit auftreten wird, zu simulieren, füllt das Studienteam die Zunge des Mannequins mit zusätzlichem Volumen. Bei dem in dieser Arbeit verwendeten Ambuman ist eine solche Simulation nicht möglich. Ein weiterer Nachteil des Ambumans besteht darin, dass die Zunge insgesamt steifer ist, als die des SimMan. In der Schwerelosigkeit würde die Zunge einer bewusstlosen Person frei im Mundraum flottieren, da die Zungenmuskeln aufgrund der Bewusstlosigkeit erschlaffen. Auch dies wird durch den SimMan besser nachgestellt als durch den Ambuman.

Ein weiterer Nachteil der Studie besteht darin, dass unter Wasser die Messung des Tidalvolumens nicht erfolgen kann, wie es in etwa von Asai *et al.* unter Normalbedingungen an ungeübten Probanden untersucht wird.³²

Frei-schwebend oder fixierter Mannequin	Verwendete Atemwegshilfe(n)	Untersuchungssetting	Qualifikation	Anzahl Teilnehmer	Erscheinungsjahr	Studie
Beides	Endotrachealtubus plus normales Laryngoskop, Oropharyngealtubus, Larynxmaske, Intubationslarynxmaske	Tauchstudie	Anästhesisten mit Tauchlizenz	4	2000	Keller et al. ²⁸
Frei-schwebend	Endotrachealtubus plus normales Laryngoskop, Larynxmaske, I-Gel Maske	Tauchstudie	Anästhesisten mit Tauchlizenz	20	2021	Warnecke et al. ¹⁶
Beides im Parabelflug	Endotrachealtubus plus normales Laryngoskop	Zweistufig: Erst Tauchgang Dann Parabelflug	Keine (bezogen auf Atemwegsmanagement und tauchen)	3	2005	Groemer et al. ²⁹
Fixierter Mannequin sowie Intubateur	Endotrachealtubus plus normales Laryngoskop, Combitube	Parabelflug	Sanitäter	4	2006	Rabitsch et al. ³⁰
Frei-schwebend	Endotrachealtubus plus konventionelles Videolaryngoskop	Parabelflug	Anfänger mit <10 Intubationen Experten mit >1000 Intubationen	6	2020	Starck et al. ³¹

Tabelle 20: Übersicht der bisher durchgeführten Studien zur Atemwegssicherung in der Schwerelosigkeit^{16,28-31}

Die Tabelle stellt eine Übersicht der fünf existierenden Untersuchungen zur Atemwegssicherung in der Schwerelosigkeit dar und dient der besseren Vergleichbarkeit der Ergebnisse sowie Studienbedingungen.

5.1.1. Kongruente Ergebnisse unter simulierter Schwerelosigkeit

Im Folgenden sollen erst einmal die zu weiteren Untersuchungen kongruenten Ergebnisse diskutiert werden. Bezogen auf die konventionelle endotracheale Intubation unter simulierter Schwerelosigkeit existieren zwei Studien, deren zeitliche Messungen kongruent mit denen von Rang 3 sind. Die genauen Werte sind Tabelle 21 zu entnehmen.

	Durchschnittliche Intubationszeit [s]	Erfolgsrate Erstversuch [%]
Rang 3	37,8 ± 6,1	66,7
Groemer <i>et al.</i> ²⁹	35 ^a	-
Keller <i>et al.</i> (freischwebend) ²⁸	33 ± 21 ^a	0 ^a
Keller <i>et al.</i> (fixiert) ²⁸	36 ± 7 ^a	55 ^a

Tabelle 21: Ergebnisvergleich zur endotrachealen Intubation unter simulierter Schwerelosigkeit

Die Tabelle zeigt die mit dieser Arbeit kongruenten zeitlichen Ergebnisse der Untersuchungen von Keller *et al.*²⁸ und Groemer *et al.*²⁹ sowie deren Erfolgsraten

Die zeitlichen Ergebnisse der Probanden aus Rang 3 stimmen gut mit dem Ergebnis der Probanden von Groemer *et al.* überein.²⁹ Auch Keller *et al.*, die in ihrer Studie vier männliche Anästhesisten unter Wasser einen Mannequin intubieren ließen, führten dies sowohl freischwebend als auch fixiert durch. Die Studie unterscheidet sich weiterhin von der in dieser Arbeit untersuchten Studie dadurch, dass die Probanden vorab unter Normalbedingungen am Mannequin üben durften. Sowohl freischwebend, als auch fixiert stimmen die Zeiten gut mit denen von Rang 3 überein. Da die Probanden von Keller *et al.* deutlich mehr Intubationserfahrung vorweisen konnten, ist daraus zu schließen, dass die zeitlichen Ergebnisse nur marginal durch weitere Intubationserfahrung, die über die der Probanden aus Rang 3 hinaus geht, beeinflusst werden.²⁸

Bei fixiertem Mannequin platzierten 55% der Probanden von Keller *et al.* den Tubus im ersten Versuch adäquat. 2,5% gelang keine korrekte Intubation innerhalb von drei Intubationsversuchen. Bei 7,5% war das Atemwegsmanagement fehlerhaft und 5% intubierten den Ösophagus.²⁸

Die Erfolgsquote für korrekte Intubationen im Erstversuch stellt sich vergleichbar mit der in dieser Studie erhobene Quote für Rang 3 dar (vgl. Tab. 21). Mögliche Ursachen für die Unterschiede in den Erfolgsquoten insgesamt sind in dem Versuchsaufbau und der deutlich ungeübteren Probandengruppe dieser Studie zu suchen. Allerdings zeigt sich keine zeitliche

^a Keine Nachkommastelle durch Autor angegeben

Verbesserung trotz der Fixierung, die in einer realen Notsituation noch zusätzliche Zeit kosten würde.

Es beschäftigen sich bisher zwei Studien mit der Einlage der Larynxmaske in einer schwerelosen Umgebung. Diese stammen von Warnecke *et al.* sowie Keller *et al.* und sind im Vergleich zu den hier erhobenen Daten in Tabelle 22 abgebildet.

	Durchschnittliche Zeit zur Einlage [s]	Insuffizienzrate nach dem Drittversuch [%]
Rang 0	27,8 ± 13,0	0
Rang 1	21,0 ± 7,1	0
Rang 2	15,5 ± 5,2	0
Rang 3	28,3 ± 20,2	0
Gesamt	23,1 ± 11,5 ^{12*}	0
Keller <i>et al.</i> ²⁸ Intubationslarynxmaske	31 ± 7 ^a	0
Keller <i>et al.</i> ²⁸ Standardlarynxmaske	33 ± 8 ^a	0
Warnecke <i>et al.</i> ¹⁶	20,3 ± 9 ^a	0

Tabelle 22: Ergebnisübersicht zur Anwendung der Larynxmaske unter schwerelosigkeitsähnlichen Bedingungen

Die Tabelle zeigt eine Übersicht der Ergebnisse dieser Arbeit im Vergleich zu den Untersuchungen von Keller *et al.*²⁸ sowie Warnecke *et al.*¹⁶

Die Angabe „12*“ markiert bereits publizierte Studienergebnisse.

Das Team um Keller verwendete zum einen eine Standardlarynxmaske, untersuchte zusätzlich aber auch noch eine Intubationslarynxmaske. Die Probanden in der Studie von Keller *et al.* waren Anästhesisten mit deutlich mehr Erfahrung als die Rettungsdienstmitarbeiter dieser Arbeit. Trotzdem sind die Zeiten im Rahmen der Standardabweichung übereinstimmend.²⁸ Gleichzeitig lässt sich daran erkennen, dass die Ergebnisse oberhalb von Erfahrungsrang 3 keine deutliche Verbesserung erfahren. Denn auch die Anästhesisten erreichen keine signifikant besseren Ergebnisse. Somit sollte weiterführend untersucht werden, ob eine weitere Verbesserung durch gezieltes Training unter schwerelosen Bedingungen erreicht werden kann.

Auch Warnecke *et al.*s. Ergebnisse decken sich mit den in dieser Arbeit ausgewerteten Daten. Da es sich bei den Probanden von Warnecke *et al.* auch um Anästhesisten handelte, ist auch im Vergleich mit dieser Studie von keiner signifikanten Verbesserungen bei weiterer Erfahrung in der Anwendung auszugehen. Des Weiteren zeigen sich keine deutlichen Differenzen

^a Keine Nachkommastelle durch Autor angegeben

zwischen den Probanden aus Rang 0 und den Ergebnissen von Warnecke *et al.* Auch dies spricht dafür, dass weitere Erfahrung nicht zu einer signifikanten Verbesserung der Zeit sowie der Erfolgsrate führt.¹⁶

Da sich in dieser Arbeit keine deutlichen Verbesserungen bei der Einlage in Schwerelosigkeit in Abhängigkeit der Erfahrung zeigen und sich dies auch im Vergleich mit den Studien von Warnecke *et al.* sowie Keller *et al.* bestätigt, sind weitere Einflussfaktoren zukünftig zu untersuchen, die zu einer zeitlichen Verbesserung führen könnten. Insgesamt erreichen die Probanden auch ohne praktische Vorkenntnisse erfolgreiche Ergebnisse und die Larynxmaske stellt sich auch für ungeübte Teilnehmer als in kurzer Zeit anwendbar dar.

Es existiert eine einzige Untersuchung, die sich mit der Atemwegssicherung durch den Larynxtracheostomie unter schwerelosen Bedingungen beschäftigt. Diese stammt auch von Warnecke *et al.* und ist in Tabelle 23 den Daten dieser Arbeit gegenübergestellt.

	Durchschnittliche Zeit zur Einlage des Larynxtracheostomie [s]	Insuffizienzrate nach dem Drittversuch [%]
Rang 0	19,6 ± 6,1	0
Rang 1	24,5 ± 3,1	0
Rang 2	12,7 ± 1,1	0
Rang 3	19,3 ± 6,5	0
Gesamt	19,5 ± 6,1 ^{12*}	0 ^{12*}
Warnecke et al. ¹⁶	18,95 ± 8 ^a	0

Tabelle 23: Ergebnisübersicht zur Anwendung des Larynxtracheostomie unter schwerelosigkeitsähnlichen Bedingungen

Die Tabelle zeigt eine Übersicht der Ergebnisse dieser Arbeit im Vergleich zu der Untersuchung von Warnecke et al.¹⁶

Die Angabe „12“ markiert bereits publizierte Studienergebnisse.*

Die bereits beschriebene Untersuchung von Warnecke und seinem Team erhob auch Daten zur Anwendung des Larynxtracheostomie unter frei-schwebenden Bedingungen. Auch für den Larynxtracheostomie stimmen die Daten von Warnecke *et al.* gut mit denen dieser Arbeit für Rang 3 überein.

Da die Probanden der Studie von Warnecke *et al.* Ärzte aus der Anästhesiologie waren, die deutlich mehr Erfahrung im Umgang mit dem Larynxtracheostomie besitzen, als Rettungsdienstmitarbeiter und die beiden Ergebnisse sehr gut übereinstimmen, unterstützt

^a Keine Nachkommastelle durch Autor angegeben

dies die Auswertung dieser Arbeit. Denn es konnte keine signifikante zeitliche Verbesserung ab Rang 2 festgestellt werden.

Auch ermittelten Warnecke *et al.* eine Erfolgsrate von 100% unter Wasser. In dieser Arbeit war es allen Probanden im Erstversuch möglich, den Mannequin erfolgreich zu intubieren. Des Weiteren konnte keine Veränderung in Abhängigkeit der Erfahrung festgestellt werden. Durch die Untersuchung von Warnecke *et al.* kann erneut bestätigt werden, dass sich keine weitere Veränderung hinsichtlich der Versuchszahl bei weiterer Erfahrung zeigt.¹⁶

Somit lässt sich festhalten, dass bereits ohne vorab durchgeführte Anwendungen des Larynxtubus ähnliche Ergebnisse erreicht werden konnten, wie die erfahrenen Anästhesisten diese produzieren konnten. Außerdem ergeben sich auch im Vergleich mit den Ergebnissen von Warnecke *et al.* keine Unterschiede hinsichtlich der Erfolgsrate. Demnach stellt sich der Larynxtubus als intuitiv anwendbares Atemweghilfsmittel unter schwerelosen Bedingungen dar.

Es existiert aktuell nur eine Studie, die die Intubation mit einem Videolaryngoskop in der Schwerelosigkeit untersucht. Die bereits beschriebene Studie von Starck *et al.* unterscheidet grob zwischen Anfängern und Experten.

Insgesamt stimmt die Erfolgsrate der Anfänger ungefähr mit der Erfolgsrate der Probanden dieser Arbeit überein. Die Probanden haben mehrheitlich keine bis kaum Erfahrung im Umgang mit dem Videolaryngoskop und besitzen daher ein ähnliches Erfahrungsniveau wie die Probanden von Starck *et al.* Gruppe der Anfänger (vgl. Tab. 24).³¹

	Erfolgsrate insgesamt [%]	Insuffizient [%]
Rang 0	40	60
Rang 1	40	60
Rang 2	0	100
Gesamt	37,5	62,5
Starck <i>et al.</i> (Anfänger) ³¹	40	60
Starck <i>et al.</i> (Experten) ³¹	84	16

Tabelle 24: Ergebnisübersicht zur Anwendung des Videolaryngoskops unter schwerelosigkeitsähnlichen Bedingungen

*Die Tabelle zeigt eine Übersicht der Erfolgsraten dieser Arbeit im Vergleich zu der Untersuchung von Starck *et al.*³¹*

5.1.2. Dissonante Ergebnisse unter simulierter Schwerelosigkeit

Im Folgenden werden nicht kongruente Ergebnisse anderer Studien zu denen in dieser Arbeit erhobenen Werten diskutiert. Gerade im Hinblick auf die Erfolgsraten der endotrachealen Intubation unter schwerelosigkeitsähnlichen Bedingungen weichen die Ergebnisse der verschiedenen Studien deutlich auseinander, wie in Tabelle 25 gezeigt.

	Erfolgsrate 1. Versuch [%]	Erfolgsrate 2. Versuch [%]	Erfolgsrate 3. Versuch [%]	Insuffizient [%]
Rang 0	50	0	0	50
Rang 1	40	20	20	20
Rang 2	100	0	0	0
Rang 3	66,7	0	0	33,3
Gesamt	65	5	5	25
Groemer <i>et al.</i> ²⁹	41			59 (9 % Fehlposition)
Keller <i>et al.</i> ²⁸ (freischwebend)	0	5	12,5	82,5
Keller <i>et al.</i> ²⁸ (fixiert)	55	25	17,5	2,5
Rabitsch <i>et al.</i> ³⁰	86	-	-	14
Starck <i>et al.</i> ³¹ (Anfänger)	40			60
Starck <i>et al.</i> ³¹ (Experten)	96			4
Warnecke <i>et al.</i> ¹⁶	55			45

Tabelle 25: Ergebnisübersicht der Erfolgsraten zur endotrachealen Intubation unter schwerelosigkeitsähnlichen Bedingungen

Die Tabelle zeigt eine Übersicht der verschiedenen Studienergebnisse in Bezug auf die Erfolgsrate der endotrachealen Intubation unter simulierter Schwerelosigkeit im Vergleich zu den in dieser Arbeit erhobenen Daten^{16,28–31}

Vergleicht man die Erfolgsraten von Groemer *et al.* und dieser Studie, so zeigt sich eine deutlich geringere Erfolgsrate bei Groemer *et al.* Ursächlich für diese Differenzen könnte sein, dass die von Groemer *et al.* veröffentlichte Erfolgsrate im Rahmen des Parabelflugs ermittelt wurde. Zudem wird in 90% der nicht erfolgreichen Intubationen die Überschreitung der zulässigen Zeit des Parabelflugs als ursächlich angegeben.²⁹

Die Tauchstudie dieser Arbeit hatte keine zeitlichen Limitationen, weswegen das Ergebnis in Bezug auf die Schwierigkeit der Intubation als aussagekräftiger zu werten ist. Zudem ist die Verteilungsbreite der Erfahrung deutlich größer und nicht, wie bei Groemer *et al.* vorgegeben.

Es handelt es sich auch um eine größere Probandengruppe, bei der ein Großteil nicht die Erfahrung von Rang 3, der mit den Probanden von Groemer *et al.* vergleichbar ist, vorweisen konnte.²⁹

Frei flottierend unter Wasser war es bei Keller *et al.* 82,5% der Probanden nicht möglich, eine suffiziente Ventilation zu erreichen. Zudem wurde in 2,5% dieser Fälle der Ösophagus intubiert. Die dort gewonnenen Daten zeigen hinsichtlich der Erfolgsquote deutliche Unterschiede zu den in dieser Arbeit erhobenen Daten, da die Probandengruppe dieser Arbeit den Mannequin nur in 25% der Durchläufe nicht in den ersten drei Versuchen intubieren konnte und die Intubation damit als insuffizient gewertet wurde.²⁸

Die Probanden aus der Studie von Rabitsch *et al.* waren bei ihrer Intubation in fixiertem Versuchsaufbau in 86% der Durchläufe erfolgreich. Dieses Ergebnis liegt über der Erfolgsquote von Rang 3 in dieser Arbeit.³⁰ Im Vergleich mit Keller *et al.*, dessen Probanden im Vergleich zu Rabitsch *et al.* deutlich mehr Vorerfahrung aufwiesen und die fixiert eine Fehlerquote von nur 7,5% ermittelten, ist allerdings anzunehmen, dass nicht die Fixation, sondern die deutlich geübteren Probanden ursächlich hierfür waren.²⁸

Die Studie von Starck *et al.* untersucht die Intubationserfahrung sehr begrenzt. Da sich die Gruppen nicht mit der Rangverteilung dieser Studie decken, ist ein direkter Vergleich schwer möglich. Die Anfänger entsprechen in etwa den Teilnehmern aus Rang 0 und 1. Drei der neun Teilnehmer dieser Arbeit war es nicht möglich innerhalb der drei Versuche korrekt zu intubieren. Insgesamt gelang es 55,6% der Teilnehmer aus Rang 0 und 1 im Erstversuch, den Mannequin erfolgreich zu intubieren.

Damit ist die Erfolgsrate etwas besser, als die aus der Studie von Starck *et al.* Allerdings haben die Teilnehmer aus der Gruppe der Anfänger von Starck *et al.* keine spezielle medizinische Ausbildung, sondern nur eine theoretische sowie praktische Einweisung erhalten, während in der Studie zu dieser Arbeit Rettungsdienstmitarbeiter untersucht wurden. Zudem fand die Studie von Starck *et al.* unter den Bedingungen eines Parabelflugs statt. Somit war die zeitliche Limitierung deutlich enger, als in dieser Studie.³¹

Des Weiteren wurde in dieser Arbeit eine Intubation als erfolgreich gewertet, wenn innerhalb von drei Versuchen eine positive Ventilation erreicht werden konnte. Starck und sein Team dagegen werteten jeden Versuch einzeln. Der Stifneck, den Starck *et al.* zur Stabilisation der Halswirbelsäule verwendet haben, ist möglicherweise noch ein zusätzliches Intubationshindernis für ungeübte Probanden, weswegen sich die Ergebnisse in ihrer Erfolgsrate unterscheiden. Die Expertengruppe von Starck *et al.* musste mindestens 1000 Intubationen vorweisen. Die Probanden aus dieser Studie hatten in Rang 3 durchschnittlich 47,8 Intubationen vorab. Es ist also von einer Steigerung der Erfolgsrate bei mehr

Intubationserfahrung auszugehen, da diese in beiden Arbeiten bei größerer Erfahrung zu verzeichnen ist.³¹

Warnecke *et al.* untersuchten in ihrer Tauchstudie 20 Anästhesisten, die einen Ambuman bis zu dreimalig intubierten. Trotz der vergleichbaren Studienbedingungen ist sowohl die Rate insuffizienter Intubationen als auch die gemessene Zeit der Anästhesisten höher. Warnecke *et al.* werten alle Intubationen, die länger als 60 s dauern als insuffizient, wodurch die Insuffizienzrate auch beeinflusst wird. Trotzdem zeigt sich in diesem Vergleich, dass sich die Ergebnisse trotz der deutlich größeren Erfahrung der Anästhesisten möglicherweise nicht signifikant verbessern.¹⁶

Weiterhin existieren in der Untersuchung von Rabitsch *et al.* Angaben zur Intubationszeit, die sich nicht mit den Ergebnissen aus dieser Arbeit decken (vgl. Tab. 26).

	Rabitsch <i>et al.</i> ³⁰	Rang 3
Mediane Intubationszeit [s]	20	37,5
Spannweite [s]	17 - 27	31 – 45

Tabelle 26: Ergebnisübersicht der medianen Intubationszeit sowie Spannweite für die endotracheale Intubation

*Die Tabelle zeigt eine Gegenüberstellung der zeitlichen Ergebnisse von Rabitsch *et al.*³⁰ sowie den Ergebnissen dieser Arbeit für den vergleichbaren Rang 3.*

In der Studie von Rabitsch *et al.* waren sowohl Probanden als auch Mannequin fixiert. Zudem hatten die Probanden vorab bereits ca. 75 Intubationen am Mannequin durchgeführt.³⁰ Betrachtet man Rang 3, der von der Erfahrung der Probanden aus der Studie von Rabitsch *et al.* am ähnlichsten ist, so ergeben sich nur geringfügige Abweichungen.

Somit ist auf Grundlage dessen nicht zwingend von einem zusätzlichen Vorteil durch eine Fixation auszugehen. Auch wenn in der Studie von Rabitsch *et al.* die Probandengruppe ebenso aus dem Berufsfeld des Rettungsdienstes gewählt wurde, so zeigen sich im Versuchsaufbau deutliche Unterschiede. Bei Rabitsch *et al.* wird die Zeit künstlich durch die kurze schwerelose Zeitspanne während des Parabelflugs begrenzt. Somit wurden Zeiten, die oberhalb von 25 s lagen als nicht erfolgreich gewertet. Zudem wird dort auch die Lernkurve der Probanden beurteilt, während in der Studie dieser Arbeit jeder Proband nur einmalig bei seiner Intubation bewertet wird.³⁰ Des Weiteren muss bei Versuchsaufbauten, bei denen der Mannequin vorab fixiert wurde, mit bedacht werden, dass eben diese Fixation in einer Notfallsituation zusätzliche Zeit kostet.

Für die Videolaryngoskopie existiert nur eine Studie, in der sich dissonante Ergebnisse für die notwendigen Intubationszeiten im Vergleich zu dieser Arbeit ergeben (vgl. Tab. 27).

	Starck <i>et al.</i> ³¹ Anfänger	Starck <i>et al.</i> ³¹ Experten	Durchschnitt Rang 0 - 2
Durchschnittliche Intubationszeit [s]	15,2 ± 5,6	10,9 ± 5,1	67,0 ± 33,5

Tabelle 27: Ergebnisübersicht der Intubationszeiten der Videolaryngoskopie

*Die Tabelle zeigt einen Vergleich der Ergebnisse von Starck *et al.*³¹ sowie dem Gesamtdurchschnitt aller Probanden, die in dieser Arbeit erfolgreich mit dem Videolaryngoskop unter schwerelosen Bedingungen intubieren konnten.*

Die durch Starck *et al.* erhobenen Zeiten für die Videolaryngoskopie weichen stark von den in dieser Arbeit gemessenen Intubationszeiten ab. Ein möglicher Einflussfaktor könnte der Cut-off Wert für die Zeit in Starck *et al.*s. Studie sein. Denn das Team simulierte die Schwerelosigkeit durch einen Parabelflug.

Da die schwerelosen Phasen während eines solchen Fluges bei weniger als 25 s liegen, sorgt dies dafür, dass alle Intubationen, die länger als 25 s dauerten, als nicht erfolgreich gewertet wurden und in den Durchschnitt nicht einfließen. Zudem wurde für die Studie dieser Arbeit ein anderes Videolaryngoskop verwendet als das von Starck *et al.* Gewählte. Dieses meldeten die Probanden als weniger intuitiv und nicht einfach zu handhaben zurück.³¹

Zusammenfassend unterscheiden sich die hier gewonnenen Ergebnisse von denen durch Starck und seinem Team gewonnenen Daten. Allerdings ist auch die Spannweite der vorherigen Anwendungen mit null bis zehn deutlich geringer als bei den anderen Atemwegshilfen. Demnach wäre für eine genauere Aussage, wie viel Erfahrung Probanden für den erfolgreichen Umgang und Intubation mit dem Videolaryngoskop benötigen, eine differenziertere Untersuchung mit Probanden, die bereits mehr Erfahrung im Umgang mit diesem haben, notwendig. Denn da das Videolaryngoskop im Rettungsdienst noch nicht verbreitet ist, entsteht durch die Wahl der Probandengruppe ein Bias, wodurch eine genaue Auswertung kaum möglich ist.

5.1.3. Kongruente Ergebnisse unter Normalbedingungen

Im Folgenden werden die Ergebnisse hinsichtlich kongruenter Daten, auch unter Einbezug weiterer Studien, die unter Normalbedingungen erhoben wurden, diskutiert. Beginnend mit der konventionellen endotrachealen Intubation decken sich die Ergebnisse der durchschnittlichen Intubationszeiten mit den Untersuchungen von Keller *et al.* sowie Warnecke *et al.*, Winterhalter *et al.* und Leventis *et al.*^{16,28,33,34} Die Ergebnisse von Keller *et al.* sowie Warnecke *et al.* sind vergleichbar mit denen von Rang 2 sowie Rang 3. Dies lässt auf keine weiteren signifikanten Verbesserungen nach Rang 2 schließen, da die Probanden von Keller *et al.* und Warnecke *et al.* aus Anästhesisten bestanden und damit deutlich geübter waren (vgl. Tab. 28).^{16,28}

	Durchschnittliche Zeit zur Intubation [s]	Erfolgsrate 1. Versuch [%]	Erfolgsrate 2. Versuch [%]	Erfolgsrate 3. Versuch [%]
Rang 0	28,3 ± 4,0	75	0	0
Rang 1	50,2 ± 17,2	80	20	0
Rang 2	24,2 ± 5,4	60	40	0
Rang 3	23,8 ± 9,4	100	0	0
Gesamt	31,3 ± 14,9	80	15	0
Finteis <i>et al.</i> ³⁵	19,8	88,4	10,5	
Leventis <i>et al.</i> ³⁴	24,3 ± 5,0	-	-	-
Keller <i>et al.</i> ²⁸	19 ± 3 ^a	100		
Rabitsch <i>et al.</i> ³⁰	-	86		
Rocca <i>et al.</i> ³⁶	-	80,1	10,6	4,5
Saeedi <i>et al.</i> ³⁷ (EMT-B)	20,8 ± 10,5	56		
Saeedi <i>et al.</i> ³⁷ (Paramedics)	20,8 ± 9,3	93,7		
Starck <i>et al.</i> ³¹ (Anfänger)	14,8 ± 3,9	40		
Starck <i>et al.</i> ³¹ (Experten)	11,0 ± 4 ^a	84		
Toda <i>et al.</i> ³⁸	-	Zu Beginn: 71 Nach 30 Intubationen: 87		
Wahlen <i>et al.</i> ³⁹ (Anästhesisten)	19,8	100		
Wahlen <i>et al.</i> ³⁹ (weitere Berufsgruppen)	40,4 – 44,5	80 – 84		
Wang <i>et al.</i> ⁴⁰	-	96,9		
Warnecke <i>et al.</i> ¹⁶	27,4 ± 11 ^a	95 (nach drei Versuchen)		
Winterhalter <i>et al.</i> ³³	1. Versuch: 31,9 ± 14,2 2. Versuch: 30,3 ± 14,7	93	2	-

Tabelle 28: Ergebnisübersicht zur endotrachealen Intubation unter Normalbedingungen im Vergleich zu weiteren Studien

Die Tabelle zeigt eine Gesamtübersicht der Ergebnisse dieser Studie sowie weiterer Untersuchungen, die im Folgenden zur Diskussion der Ergebnisse der konventionellen endotrachealen Intubation herangezogen werden.^{16,28,30,31,33–40}

^a Keine Nachkommastelle durch Autor angegeben

Leventis *et al.* untersuchen die endotracheale Intubation an Paramedics. Der Erfahrungsbereich der Paramedics ist durchmischt. Im Vergleich mit dem Gesamtdurchschnitt dieser Arbeit und im Hinblick auf die vergleichbare Probandengruppe sind die zeitlichen Ergebnisse im Rahmen der Standardabweichung gut übereinstimmend.³⁴

Rabitsch *et al.* registrierten eine mediane Zeit von 18 s mit einer Spannweite von 16 – 22 s. Die mediane Zeit der vergleichbaren Probanden aus Rang 3, der in dieser Arbeit untersuchten Studie, lag bei 20 s mit einer Spannweite von 14 – 38 s.³⁰ Es zeigen sich somit nur marginale Differenzen trotz der unterschiedlichen Verteilungsbreite der Erfahrung. Denn während die Probanden in der Studie dieser Arbeit in ihrer Erfahrung breit gestreut sind, sollten in der Studie von Rabitsch *et al.* alle Probanden einen Mannequin vorab 75 Mal intubieren.³⁰ Dies lässt den Schluss zu, dass trotz der durchschnittlich größeren Erfahrung der Probanden von Rabitsch *et al.* von keiner signifikanten Steigerung der Erfolgsrate und der zeitlichen Intubationsergebnisse auszugehen ist.

Saeedi *et al.* untersuchten die Intubation durch den Endotrachealtubus durch unerfahrene EMT-B (vergleichbar mit einem Sanitätshelfer) sowie erfahreneren Paramedics. Die in Tabelle 28 abgebildeten Zeiten der erfahrenen Probanden stimmen im Rahmen der Standardabweichung sehr gut mit denen aus Rang 3 übereinstimmen, während die Probanden aus Rang 0 mit durchschnittlich geringfügig oberhalb der Zeiten der Anfänger liegen. Die Daten dieser Arbeit können somit durch Saeedi *et al.* noch einmal bestätigt werden.³⁷

Zudem lassen sich durch die Untersuchungen von Keller *et al.*, Warnecke *et al.*, Wang *et al.*, Rocca *et al.*, Finteis *et al.*, Wahlen *et al.* sowie Winterhalter *et al.* die Plausibilität der Erfolgsraten belegen (vgl. Tab. 28). Und auch die Erfolgsrate von Saeedi *et al.* für die erfahrenen Probanden ist vergleichbar mit derer aus Rang 3.³⁷

Die Erfolgsrate im Erstversuch von Finteis *et al.* stellt sich im Vergleich zu den Ergebnissen dieser Arbeit als höher dar. Beide Probandengruppen bestehen aus Rettungsdienstmitarbeitern, allerdings ist der Anteil der Probanden mit viel Erfahrung bei Finteis *et al.* etwas höher ist als in dieser Arbeit, was möglicherweise auch eine Auswirkung auf die Erfolgsrate im Erstversuch gehabt haben könnte. Insgesamt bestätigen die Ergebnisse hinsichtlich der Erfolgsrate die in dieser Arbeit erhobenen Daten.³⁵

Wahlen *et al.* untersuchten die endotracheale Intubation in fünf unterschiedlichen Erfahrungsgruppen. Eine Gruppe bestand aus Gesundheits- und Krankenpflegern (GKP), eine weitere aus Gesundheits- und Krankenpflegern, die in der Anästhesiologie arbeiteten, zudem gab es eine aus Paramedics bestehende Gruppe. Außerdem wurde noch zwischen Ärzten und Anästhesisten unterschieden. Hierbei zeigten sich deutliche Zeitunterschiede. Die Anästhesisten konnten die Zeit der anderen Gruppen um über 50% unterbieten und auch die

Erfolgsrate der Anästhesisten lag höher, als die der anderen Gruppen (vgl. Tab. 28).³⁹ Diese Untersuchung unterstützt deutlich, dass fortlaufendes Training für die erfolgreiche und schnelle Platzierung des endotrachealen Tubus ein relevanter Aspekt ist.

In der Untersuchung von Winterhalter *et al.* wird die Probandengruppe aus 131 Teilnehmern eines Kurses für Rettungsmedizin zusammengestellt. Dabei handelt es sich um sieben Ärzte im Praktikum, 45 Ärzte in Weiterbildung sowie sieben Fachärzte mit weit gestreutem Erfahrungsspektrum. Die dort verzeichneten Erfolgsraten sind vergleichbar mit der Quote von Rang 3. Auch haben die Probanden von Winterhalter *et al.* im Durchschnitt eine vergleichbare Erfahrung, wie die Probanden aus Rang 3.³³

Toda *et al.* untersuchen in ihrer Studie 32 Paramedics und insgesamt 1045 endotracheale Intubationen im Operationssaal im Hinblick auf Verbesserungen. Es ergibt sich eine leichte, zeitliche Verbesserung nach 13 endotrachealen Intubationen. Ein vergleichbares Ergebnis ist auch in dieser Arbeit mit der Verbesserung zwischen Rang 1 und 2 zu verzeichnen. Somit lassen sich die Ergebnisse dieser Studie durch die Ergebnisse von Toda *et al.* bestätigen. Außerdem verzeichnen Toda *et al.* eine Zunahme in der Erfolgsrate nach 30 durchgeführten Intubationen.³⁸ In dieser Arbeit ist ein vergleichbarer Anstieg zwischen Rang 0 und Rang 3 zu verzeichnen. Toda *et al.* legen in Ihrer Untersuchung den Fokus auf die Lernkurve bei Probanden, die eine unterschiedliche Erfahrung mitbringen. Sie zeigen, dass sich die Erfolgsrate durch regelmäßige Wiederholung verbessert.³⁸ Es ergibt sich hieraus also weiterführend, dass eine Ergebnisverbesserung zum einen durch Vorerfahrung, aber zusätzlich auch durch regelmäßige Übung erreicht werden kann.

Insgesamt lässt sich zusammenfassen, dass sich die Einzelergebnisse mit denen aus anderen Studien decken. Zudem zeigt sich anhand der Ergebnisse von Saeedi *et al.* und Wahlen *et al.*, dass fortlaufende Übung unter Normalbedingung deutlich bessere Ergebnisse erbringt. Hierzu wäre ein direkter Vergleich im Rahmen einer Untersuchung zwischen Berufsgruppen mit verschiedener Erfahrung interessant, wie sie von Wahlen *et al.* unter normalen Bedingungen durchgeführt wurde. Denn unter identischen Bedingungen und einem Versuchsaufbau, der sowohl einen schwerelosen, als auch einen Versuchsdurchlauf unter Einfluss der Schwerkraft einschließt, wird die Vergleichbarkeit der Ergebnisse deutlich besser.^{37,39}

In Tabelle 29 sind die Ergebnisse der Larynxmaske im Vergleich zu weiteren Studienergebnissen dargestellt. Dort gut ersichtlich sind die zeitlich übereinstimmenden Ergebnisse für die Anwendung der Larynxmaske dieser Arbeit mit den Untersuchungen von Finteis *et al.*, Keller *et al.*, Warnecke *et al.* sowie Winterhalter *et al.* ^{16,28,33,35}

Die zeitlichen Ergebnisse von Saeedi *et al.* sowie Wahlen *et al.* sind nicht identisch mit den Ergebnissen in dieser Arbeit, was in Abschnitt 5.1.4 diskutiert werden soll.^{37,39}

	Durchschnittliche Zeit zur Einlage [s]	Erfolgsrate 1. Versuch [%]	Erfolgsrate 2. Versuch [%]	Erfolgsrate 3. Versuch [%]
Rang 0	24,7 ± 19,7	33,3	0	16,7
Rang 1	19,0 ± 6,6	0	42,9	0
Rang 2	21,8 ± 8,4	25	50	25
Rang 3	23,0 ± 5,7	0	66,7	0
Gesamt	22,0 ± 10,2	15	35	10
Chan <i>et al.</i> ⁴¹	-	75,6	13,8	0
Finteis <i>et al.</i> ³⁵	16,6	82,6	17,4	
Frascone <i>et al.</i> ⁴²	36,8 ± 17	100		
Keller <i>et al.</i> ²⁸ (Standardlarynxmaske)	19 ± 2 ^a	95	5	-
Keller <i>et al.</i> ²⁸ (Intubations- larynxmaske)	19 ± 2 ^a	100	0	-
Saeedi <i>et al.</i> ³⁷ (EMT-B)	6,5 ± 2,3	100		
Saeedi <i>et al.</i> ³⁷ (Paramedics)	7,0 ± 3,8	100		
Timmermann <i>et al.</i> ⁴³		90	10	-
Wahlen <i>et al.</i> ³⁹ (Anästhesisten)	11,0	100	0	0
Wahlen <i>et al.</i> ³⁹ (weitere Berufsgruppen)	10,1 – 11,5	92 - 96	4 - 8	0
Warnecke <i>et al.</i> ¹⁶	16,8 ± 8 ^a	100		
Winterhalter <i>et al.</i> ³³	1. Versuch: 25,3 ± 13,3 2. Versuch: 21,4 ± 9,4	90	4	-

Tabelle 29: Ergebnisübersicht zur Anwendung der Larynxmaske unter Normalbedingungen im Vergleich zu weiteren Studien

Die Tabelle zeigt eine Gesamtübersicht der Ergebnisse dieser Studie sowie weiterer Untersuchungen, die im Folgenden zur Diskussion der Ergebnisse zur Larynxmaske herangezogen werden^{16,28,33,35,37,39,41–43}

Beide Untersuchungen unterscheiden zwischen verschiedenen Gruppen, die eine unterschiedliche Vorerfahrung aufweisen und in beiden Studien konnten keine signifikanten Unterschiede in der benötigten Anwendungszeit sowie Erfolgsrate detektiert werden

^a Keine Nachkommastelle durch Autor angegeben

(vgl. Tab. 29). Dies bestätigt die einfache Anwendbarkeit der Larynxmaske, auch ohne Vorerfahrung, wie es in dieser Arbeit erhoben wurde.^{37,39}

Tabelle 30 zeigt eine Übersicht der in dieser Arbeit erhobenen Ergebnisse sowie die Ergebnisse weiterer Studien für den Larynxtubus. Insgesamt zeigen sich die Ergebnisse von Länkimäki *et al.*, Genzwürker *et al.*, Wahlen *et al.* sowie Warnecke *et al.* im Hinblick auf die zeitlichen Ergebnisse, aber auch in Bezug auf die Erfolgsraten als gut übereinstimmend.^{16,39,44,45} Da es sich bei den Probanden von Warnecke *et al.* um Anästhesisten handelt und auch Wahlen *et al.* eine Gruppe von Anästhesisten untersuchte, die in beiden Untersuchungen, trotz größerer Expertise, vergleichbare Ergebnisse erreichten, bestätigt dies, die einfache Anwendung des Larynxtubus bereits bei geringer Vorerfahrung.^{16,39}

	Durchschnittliche Zeit zur Einlage [s]	Erfolgsrate 1. Versuch [%]	Erfolgsrate 2. Versuch [%]	Erfolgsrate 3. Versuch [%]
Rang 0	12,6 ± 3,8	60	40	0
Rang 1	17,0 ± 5,6	75	25	0
Rang 2	11,3 ± 1,5	66,7	33,3	0
Rang 3	13,5 ± 6,7	50	50	0
Gesamt	13,7 ± 5,3 ^{12*}	60	40	0
Genzwürker <i>et al.</i> ⁴⁵	17,3	96,7		
Länkimäki <i>et al.</i> ⁴⁴	-	71,9	Insg. 97,9	
Sunde <i>et al.</i> ⁴⁶	-	85,3		
Wahlen <i>et al.</i> ³⁹ (Anästhesisten)	11,2	100	0	0
Wahlen <i>et al.</i> ³⁹ (weitere Berufsgruppen)	10,8 – 13,0	100	0	
Warnecke <i>et al.</i> ¹⁶	15,1 ± 8 ^a	100		

Tabelle 30: Ergebnisübersicht zur Anwendung des Larynxtubus unter Normalbedingungen im Vergleich zu weiteren Studien

Die Tabelle zeigt eine Gesamtübersicht der Ergebnisse dieser Studie sowie weiterer Untersuchungen, die im Folgenden zur Diskussion der Ergebnisse zum Larynxtubus herangezogen werden.^{16,39,44–46} Die Angabe „12*“ markiert bereits publizierte Studienergebnisse.

Die Untersuchung von Aghamohammadi *et al.* zur Lernkurve der endotrachealen Intubation mit Videolaryngoskop, bei der Probanden ohne Erfahrung in der endotrachealen Intubation, diese wiederholt durchgeführten, wurde die zeitliche Entwicklung der Intubation beobachtet. Hierbei zeigte sich, dass die Probanden für die erste Intubation deutlich mehr Zeit benötigten,

^a Keine Nachkommastelle durch Autor angegeben

als nach sechs Durchläufen (vgl. Tab. 31).⁴⁷ Der Erfahrungsstand der Probanden aus Rang 1 dieser Studie liegt zwischen einer und neun vorab durchgeführten Intubationen mit dem Videolaryngoskop. Dieses Ergebnis stimmt gut mit den durch Aghamohammadi und seinem Team erhobenen Werten überein. Die Probanden aus Rang 2, die mindestens zehn durchgeführte Intubationen mit dem Videolaryngoskop angaben, intubierten im Vergleich signifikant schneller. Dieses Ergebnis spricht für eine weitere Fortführung der Lernkurve und unterstützt die These, dass die Spannweite der Erfahrung aufgrund des gleichen beruflichen Hintergrundes und des Fehlens von Videolaryngoskopen auf den RTWs, nicht groß genug war, um die notwendige Zahl vorab durchgeführter Intubationen, die zur sicheren Anwendung des Videolaryngoskops notwendig sind, zu identifizieren.⁴⁷

	Durchschnittliche Zeit zur Intubation [s]	Erfolgsrate 1. Versuch [%]	Erfolgsrate 2. Versuch [%]	Erfolgsrate 3. Versuch [%]
Rang 0	57,3 ± 40,2	36,4	27,3	9,1
Rang 1	78,3 ± 50,2	71,4	14,3	0
Rang 2	27,0 ± 1,4	50	50	0
Gesamt	61,4 ± 43,3	50	25	5
Aghamohammadi <i>et al.</i> ⁴⁷ (keine Intubations- erfahrung)	110,4 ± 6,8	-	-	-
Aghamohammadi <i>et al.</i> ⁴⁷ (nach 6 Intubationen)	42,3 ± 8,8	-	-	-
Starck <i>et al.</i> ³¹ (Anfänger)	15,6 ± 4,3	28		
Starck <i>et al.</i> ³¹ (Experten)	9,9 ± 3,5	80		
Steel <i>et al.</i> ⁴⁸ (Rettungsdienst)	-	81,3		
Steel <i>et al.</i> ⁴⁸ (Anästhesisten)	-	81,9		

Tabelle 31: Ergebnisübersicht zur Anwendung des Videolaryngoskops unter Normalbedingungen im Vergleich zu weiteren Studien

Die Tabelle zeigt eine Gesamtübersicht der Ergebnisse dieser Studie sowie weiterer Untersuchungen, die im Folgenden zur Diskussion der Ergebnisse zur endotrachealen Intubation mit dem Videolaryngoskop herangezogen werden.^{31,47,48}

5.1.4. Dissonante Ergebnisse unter Normalbedingungen

Auch für die Ergebnisse unter Normalbedingungen existieren nicht kongruente Daten aus weiteren Untersuchungen, die nun diskutiert werden. Starck *et al.* unterschieden auch unter Normalbedingungen zwischen Anfängern und Experten. Auch dort konnte man eine deutliche Zunahme der Erfolgsrate verzeichnen, allerdings liegen die Ergebnisse für beide Gruppen deutlich unter denen von Rang 0 sowie Rang 3. Starck *et al.* werten jeden Versuch einzeln und geben nicht die Möglichkeit, dreimal zur Intubation anzusetzen, weswegen die Ergebnisse mit denen des Erstversuchs verglichen werden müssen. Auch die zeitlichen Ergebnisse von Starck *et al.* liegen unter denen dieser Arbeit (vgl. Tab. 28).³¹

Die zeitliche Differenz und auch die Unterschiede in der Erfolgsrate sind erklärbar durch den Cut-off Wert, der in der Untersuchung von Starck *et al.* verwendet wurde. Um ihre Daten besser mit denen in der Schwerelosigkeit vergleichbar zu machen, wurde die maximale Intubationszeit auch in diesem Versuchsteil auf ca. 25 s limitiert.³¹ Weiterführend ist ersichtlich, dass die Experten bzw. Rang 3 durch vermehrte Übung häufiger in der Lage waren, suffizient im Erstversuch zu intubieren und, wie Starck *et al.* zeigen, stellt auch eine zeitliche Limitation eine geringere Hürde für geübte Probanden dar.

Auch Saeedi *et al.* messen für die unerfahreneren Probanden eine Erfolgsrate, die unter derer dieser Studie liegt. Da es sich bei den unerfahrenen Probanden um EMT-B handelt, die vergleichbar mit dem Sanitätshelfer sind, könnte sich der Unterschied aus der verschiedenen Vorbildung bezüglich der endotrachealen Intubation und deren Ablauf ergeben.³⁷

Betrachtet man die Ergebnisse für die Larynxmaske unter Normalbedingungen so fällt über alle Vergleichsstudien hinweg ein deutlicher Unterschied in den ermittelten Erfolgsraten auf (vgl. Tab. 29). Alle Vergleichsstudien zeigen deutlich höhere Erfolgsraten, als sie in der Untersuchung aus dieser Arbeit erhoben wurden.^{16,28,33,35,37,39,41–43}

Eine mögliche Ursache für diese Abweichung könnte darin liegen, dass der Mannequin keinen Speichel oder andere Flüssigkeit besitzt, um den Mundraum anzufeuchten und somit den Reibungswiderstand von Plastik auf Plastik zu verringern. Möglicherweise wurde die Larynxmaske selbst nicht ausreichend befeuchtet und dies führte zu einer Erhöhung der Versuchsdurchläufe, in denen die Maske bereits beim Einführen in den Mund umgeklappt ist. Da die Larynxmaske unter Wasser aufgrund des umgebenden Wassers deutlich weniger Reibung auf dem Plastikmannequin erfährt und dieser Einflussfaktor dort wegfällt, wäre dies eine mögliche Ursache für die Differenzen, die sich ausschließlich unter Normalbedingungen zeigen.

Chan *et al.* untersuchen in Ihrer Studie den Larynxtubus und die Larynxmaske in der Anwendung beim Herzkreislaufstillstand außerhalb des Krankenhauses (OHCA) durch

Sanitäter in Singapur. Während die Sanitäter die Larynxmaske im Verlauf ihrer Ausbildung kennenlernten, war ihnen der Larynxtubus nicht bekannt und sie erhielten zu diesem ein achtestündiges Training. Auch für Chan *et al.* Untersuchung zeigen sich höhere Erfolgsraten im Vergleich zu den Ergebnissen aus dieser Arbeit. Ein möglicher weiterer Einflussfaktor wäre die Routine, die die Probanden von Chan *et al.* in der Anwendung haben. Zwar wurden keine genauen Daten hierzu erhoben, allerdings ist die Larynxmaske dem Rettungsdienst in Singapur geläufiger als der Larynxtubus, während es in vielen Teilen von Deutschland umgekehrt der Fall ist.⁴¹ Allerdings zeigen sich in den Daten dieser Arbeit keine deutlichen Verbesserungen in Abhängigkeit der Erfahrung. Somit ist darauf zu schließen, dass für die Differenzen wahrscheinlich die unterschiedlichen Umgebungsbedingungen bzw. die mangelnde Befeuchtung des Mannequins in dieser Arbeit ursächlich ist.

Die Untersuchungen von Saeedi *et al.* sowie Wahlen *et al.* zeigen im Vergleich mit den durchschnittlichen Intubationszeiten dieser Arbeit deutlich kürzere bzw. längere Zeiten. Innerhalb der beiden Untersuchungen zeigen die Ergebnisse keine signifikanten Differenzen in Abhängigkeit der Erfahrung der Probanden (vgl. Tab. 29). Möglicherweise nutzten die beiden Studien auch einen anderen Zeitpunkt, um die Messung zu starten/ zu stoppen. In Saeedis Arbeit wird der Zeitpunkt nur damit umrissen, dass die Zeit bis zu dem Punkt, an dem eine erfolgreiche Ventilation möglich wäre, gemessen wurde.^{37,39} Dies wäre eine mögliche Erklärung für die dissonanten zeitlichen Ergebnisse, die durch die anderen Studien nicht gedeckt werden können.

In einer retrospektiven Studie von Sunde *et al.* wurde die Anwendung des Larynxtubus durch Paramedics in Norwegen beim OHCA untersucht. Diese ergab eine im Vergleich zu dieser Arbeit etwas geringere Erfolgsquote nach mehreren Versuchen (vgl. Tab. 30). Allerdings konnten Sunde *et al.* auch Probleme, die mit der Einbringung assoziiert waren, in 52,7% der Fälle registrieren.⁴⁶ Auch Schalk *et al.* konnten in ihrer Untersuchung zur Anwendung des Larynxtubus durch Rettungsdienst und Notärzte beim OHCA eine Regurgitation bei 16,6% der Patienten feststellen.⁴⁹ Da supraglottische Atemwegshilfen keinen sicheren Regurgitationsschutz bieten, sollte diese Komplikation bei der Auswahl des Atemwegshilfsmittels berücksichtigt werden.

Girrbach *et al.* diskutieren die Nutzung des Larynxtubus in der Notfallmedizin insgesamt. Der Larynxtubus ist als Atemwegshilfe einfach und schnell durch wenig geübte Probanden zu platzieren, was auch in dieser Arbeit in beiden Situationen festgestellt werden konnte. Um das Aspirationsrisiko zu reduzieren, empfehlen sie die zusätzliche Einführung einer Magensonde. Zudem sehen auch sie die Zeitersparnis bei der Platzierung im Vergleich zur endotrachealen Intubation, die auch im Rahmen der erhobenen Ergebnisse für beide Szenarien bestätigt wurde. Weiterhin sehen sie im Larynxtubus im Vergleich zur Larynxmaske durch den distalen

Cuff des Larynxtubus einen bedingten, aber im Vergleich zur Larynxmaske besseren Aspirationsschutz. Allerdings berichten sie auch von einer Gesamtkomplikationsrate von ca. 50% bei Anwendung des Larynxtubus und fordern eine bessere Aufklärung über potenzielle Komplikationen und deren Prävention.⁵⁰

Auch wurden bereits in verschiedenen Untersuchungen die diversen Komplikationen sowie deren Häufigkeit beleuchtet. Schalk *et al.* beobachteten in 38,6% der Anwendungen eine deutliche Zungenschwellung, die durch zu hoch geblockte Tuben entstand. Außerdem kam es in 10% zu einer Magendistension. Zudem beobachteten sie in 20% das Dislozieren des Tubus durch Umlagerung.⁵¹

Weiterhin stellten Schalk *et al.* fest, dass bei 82% der platzierten Larynxtuben der Cuffdruck zu hoch ist. Weitere beobachtete Komplikationen sind die Leckage bei nicht korrekt positioniertem Tubus, ein Glottisödem oder sogar die Perforation des Ösophagus, die durch Manipulation durch den Tubus entstehen kann sowie das Umklappen des unteren Endes des Tubus. Sie empfehlen den Larynxtubus nur zur Überbrückung, nicht aber als dauerhaft platzierten Tubus zu nutzen und empfehlen einen frühen Wechsel auf die endotracheale Intubation.⁵²

Bei der Anwendung des Larynxtubus unter schwerelosen Bedingungen, wie etwa auf der ISS oder einer längeren Weltraummission, ist von keiner Möglichkeit der kurzfristigen Überführung in ein Krankenhaus auszugehen. Zudem disloziert der Larynxtubus häufig bereits bei Umlagerung oder anderweitiger Bewegung des Patienten. Sollte eine Überführung in ein Krankenhaus möglich sein, wäre dies nur über eine kurzfristige Rückreise mit einer Rückkehrkapsel durchführbar. Spätestens hier ist aufgrund der Bewegung der Kapsel von einer Dislozierung des Tubus auszugehen. Zur Verringerung der Komplikationen wird vielfach empfohlen, umfangreicher über diese und deren Prävention aufzuklären.^{50,53}

Im Rahmen der Diskussion konnte festgestellt werden, dass der Larynxtubus deutlich komplikationsbehaftet ist. Dahingehend ist nicht geklärt, ob ungeübte Anwender solche potenziellen Komplikationen erkennen, präventiv gegensteuern oder diese beheben könnten. Zudem sind extraglottische Atemwegshilfen ursprünglich für die kurzfristige Anwendung gedacht. Bei einem längeren Aufenthalt in der Schwerelosigkeit ist nicht davon auszugehen, dass der Patient immer bereits nach wenigen Stunden wieder extubiert werden kann.

In der Studie von Starck *et al.* wurden auch Vergleichsdaten zur Intubation mit dem Videolaryngoskop unter Normalbedingungen erhoben. Die dort gemessenen Zeiten weichen deutlich, von den in dieser Arbeit gewonnenen Zeiten, ab (vgl. Tab. 31). Eine mögliche Ursache für die signifikante Abweichung könnte auch hier erneut der Cut-off Wert von 25 s für die Intubationsdauer sein. Auch könnte die deutlich geringere Erfolgsrate der Anfänger

hierdurch mitbegründet sein, da diese aufgrund der mangelnden Erfahrung häufig länger als 25 s benötigt haben und hierdurch als nicht erfolgreich gewertet wurden.³¹

Dies würde zu der deutlich längeren durchschnittlichen Intubationszeit, die in dieser Arbeit für Rang 0 und 1 erhoben wurde, passen. Hinzu kommt, dass die in dieser Arbeit erhobene Erfolgsrate von 80% insgesamt drei Intubationsversuche einschließt, während die Anfänger, mit denen die Probanden dieser Arbeit vergleichbar sind, nur jeweils einen Versuch erhielten.³¹

Eine andere Studie von Steel *et al.* beschäftigte sich mit der Anwendung des Videolaryngoskops in der Notfallmedizin. Hierbei untersuchten sie sowohl Notärzte als auch die Mitarbeiter des Rettungsdienstes. Das Team kam zu dem Ergebnis, dass die Erfolgsrate sich nicht signifikant von der Erfolgsrate für die reguläre endotracheale Intubation unterschied, aber zu mehr Situationsbewusstsein führte. Zudem gelangten sie zu der Erkenntnis, dass der Einsatz der Videolaryngoskopie keinen signifikanten Einfluss darauf hatte, wie häufig hypoxische Episoden, die mit der Intubation assoziiert waren, auftraten.⁴⁸ Insgesamt ist die Erfolgsrate, die im Erstversuch erreicht wurde, für beide Gruppen höher als die in dieser Arbeit erhobene Rate. Allerdings wird für die Gruppe des Rettungsdienstes durch Steel keine genaue Vorerfahrung in der endotrachealen Intubation mit dem Videolaryngoskop angegeben. Es wäre daher möglich, dass die Probanden aufgrund von mehr Erfahrung ähnliche Ergebnisse, wie die intubationserprobten Ärzte, vorweisen konnten.⁴⁸

In beiden Versuchsteilen zum Videolaryngoskop wurde die unter Abbildung 1 abgedruckte Schutzbox verwendet, um das Eindringen von Wasser in das Videolaryngoskop zu verhindern. Möglicherweise hatte diese Umhüllung dahingehend einen Einfluss auf das Intubationsergebnis, als dass die Handhabung hierdurch auch für geübte Probanden neu und erschwert war. Zukünftig sollten weitere Untersuchungen erfolgen, welche Einflussfaktoren die Intubation mit dem Videolaryngoskop erleichtern könnten, da dieses mehr Situationsbewusstsein und einen einfacheren Überblick schaffen kann, im Vergleich zur regulären Laryngoskopie.⁴⁸

5.2 Limitationen der Studie

Es handelt sich um eine doppelt randomisierte Cross-over Studie, in der Schwerelosigkeit in einem Tauchbecken simuliert wurde. Zusätzlich erfolgte eine Abfrage von demografischen Daten sowie der jeweiligen Erfahrung der Probanden.

In einem Tauchbecken ist die normale Ventilation des Mannequins mit dem Beatmungsbeutel nicht durchführbar, da sowohl in den Mannequin, als auch den Beatmungsbeutel Wasser eindringt. Daher wurde sowohl die Lunge des Ambuman als auch der Beatmungsbeutel mit

Wasser gefüllt. Da auch das Wasser bei korrekter Lage des Tubus in die Lunge des Ambuman strömt, bläst sich die Lunge auf und eine Thoraxhebung ist sichtbar. Eine potenzielle Leckage konnte hierdurch nur eingeschränkt beurteilt werden. Eine weitere Einschränkung bestand in der Verwendung eines Mannequins, der die Anatomie des Menschen nur in Anteilen wiedergeben und dementsprechend potenzielle Herausforderungen nicht vollumfänglich abbilden kann. Hürden in der Verwendung des Larynxtubus, wie etwa eine mögliche Fehleinlage in die Plica aryepiglottica, konnte der Mannequin nicht simulieren.

Zusätzlich erfolgte eine Lagekontrolle durch einen erfahrenen Anästhesisten. Diese konnte visuell sowie taktil vorgenommen werden, da eine Auskultation unter Wasser nicht möglich war, eine Kapnometrie und Pulsoxymetrie bei dem Ambuman nicht zielführend gewesen wären und weitere Verifizierungen, wie etwa die Visualisierung mittels Ultraschallgerät, bei dem Mannequin nicht umsetzbar sind.⁵⁴ Aufgrund der doppelten Kontrolle ist von keinem qualitativen Nachteil, im Vergleich zu einem Parabelflug hinsichtlich der Verifizierung der korrekten Tubuslage, auszugehen.

Limitationen der Studie lagen unter anderem auch in dem Untersuchungsteil des Videolaryngoskops. Das verwendete Videolaryngoskop war nicht wasserfest, weswegen die in Abbildung 1 abgebildete Box zum Schutz vor dem Eindringen von Wasser genutzt wurde. Diese sorgte allerdings für eine erschwerte Handhabung, wie sich im Verlauf der Studie herausstellte. Die Probanden meldeten zu der Umhüllung zurück, dass sie diese als unhandlich empfanden und die Sicht auf das Videobild beziehungsweise dessen Qualität nicht optimal sei. Zur besseren Vergleichbarkeit von Schwerelosigkeit und Intubation unter Einwirkung der Schwerkraft, wurde die Umhüllung des Videolaryngoskops in beiden Versuchsteilen mitverwendet. Weiterhin wurde die Analyse der notwendigen Erfahrung in der Anwendung des Videolaryngoskops durch die geringe Spannweite der bereits vorhandenen Erfahrung der Probanden limitiert.

Nach dem dritten Newtonschen Axiom ($actio = reactio$) wird der Körper des Probanden in der Schwerelosigkeit eine Gegenbewegung zu der Bewegung, die der Proband beispielsweise bei Einführung des Laryngoskops ausführt, machen. Die Schwerelosigkeit wird in der Studie in dem Medium Wasser simuliert. Der Einfluss der Gegenkraft auf den Probanden ist unter Wasser allerdings deutlich geringer, da die Wasserdichte, im Vergleich zum Medium Luft um Faktor 1000 größer ist.⁵⁵ Die erhöhte Dichte führt zu einem größeren Widerstand, der die Gegenbewegung auch bei frei flottierendem Versuchsaufbau fast komplett ausbremst.⁵⁶ Somit lässt sich aus den Ergebnissen nicht schlussfolgern, ob in Schwerelosigkeit der Einfluss einer Gegenbewegung eine zusätzliche Hürde darstellen könnte und Probanden gegebenenfalls zur Intubation ihren Körper und den des Patienten fixieren müssten.

LeJeune postuliert in seinem Beitrag „Laryngoscopy in Space Travel“ außerdem, dass eine zeitgleiche Stabilisation des Patientenkopfes und Intubation aufgrund der Mitbewegung des Patientenkopfes durch die anterior gerichtete Laryngoskopbewegung unmöglich sind.²⁰ Diese Aussage kann durch die in dieser Arbeit untersuchten Studie nicht überprüft werden, da der Wasserwiderstand für ein Ausbremsen der Bewegung sorgt.⁵⁵

Darüber hinaus verändert sich die Sicht unter Wasser, da ein Teil des einfallenden Lichts absorbiert wird und durch die veränderte Lichtbrechung beim Übergang von Wasser zu Hornhaut die Sehschärfe nicht derer in der gewohnten Umgebung entspricht.

Zudem haben die Probanden mehrheitlich kaum bis keine Erfahrung im Umgang mit dem Videolaryngoskop, da die Probanden alle aus dem Bereich des Rettungsdienstes kamen. Nach aktueller Norm DIN EN 1789 ist auf den Rettungskraftwagen (RTW) kein Videolaryngoskop vorgeschrieben.⁵⁷ Auch für den Notfallrucksack sowie das Notarzteinsetzfahrzeug (NEF) existiert nach den zugehörigen, aktuellen Normen keine verpflichtende Mitführung von Videolaryngoskopen.^{58,59} Somit kommt es durch die Auswahl der Probandengruppe zu einem Selektionsbias.

Durch die Simulation der Schwerelosigkeit unter Wasser benötigten die Probanden eine Tauchausrüstung. Diese könnte grundsätzlich auch auf die Intubation selbst, die dabei eingenommene Position und damit auch auf das Intubationsergebnis Einfluss nehmen. Allerdings befand sich die Sauerstoffflasche der Probanden auf deren Rücken und damit nicht im primären Handlungsfeld der Probanden. Zudem waren die Probanden frei in ihrer Positionierung, soweit diese frei-schwebend war. Durch diese Entscheidungsfreiheit wurde den Probanden keine potenziell schwierig herzustellende Intubationsposition vorgegeben.

5.3 Ausblick auf zukünftige Forschungsaufgaben

Der Larynxtubus erreichte insgesamt die kürzesten Zeiten und auch im Vergleich mit den gleichen Rängen der Larynxmaske, stellen sich die für den Larynxtubus erhobenen Zeiten jeweils als kürzer dar. Eine Studie von Asai *et al.* vergleicht die Effektivität von Larynxtubus und Larynxmaske bei Anwendung durch unerfahrene Probanden unter regulärer Schwerkraft. Dort zeigt sich ein deutlich geringerer Anteil an Mageninsufflation bei der Anwendung des Larynxtubus im Vergleich zur Larynxmaske. Außerdem ergibt sich ein signifikant höheres Tidalvolumen bei Verwendung des Larynxtubus im Vergleich zur Maske.³² In weiteren Untersuchungen sollten zusätzliche Parameter, wie etwa das durchschnittliche Tidalvolumen bei den verschiedenen Atemwegshilfen in einem schwerelosen Zustand, untersucht werden, da diese auch die Wahl der Atemwegshilfe beeinflussen könnten.

Hinsichtlich der notwendigen Vorerfahrung muss berücksichtigt werden, wie sich die praktischen Fähigkeiten nach dem erstmaligen Erlernen verhalten. Ruetzler *et al.* haben hierzu eine Untersuchung an Paramedics durchgeführt, die vorab keine Erfahrung in der Atemwegssicherung mitbrachten. Die Probanden erhielten erst eine 45-minütige theoretische Einweisung und durften dann praktisch am Mannequin üben. Im Anschluss begann die Datenaufnahme. Hierzu intubierten die Probanden den Mannequin in randomisierter Reihenfolge unter anderem mit einem Larynxtubus, einer Larynxmaske sowie endotracheal. Dies wurde nach dreimonatiger Pause wiederholt.⁶⁰

Ergebnis der Untersuchung war, dass die Probanden zu beiden Zeitpunkten zu 100% in der Lage waren, den Mannequin mit dem Larynxtubus sowie der Larynxmaske zu intubieren. Die Erfolgsrate der endotrachealen Intubation sank jedoch deutlich von anfangs 78% auf 58% nach nur drei Monaten. Zeitlich konnten keine signifikanten Unterschiede aufgenommen werden.⁶⁰

In einer weiteren Untersuchung, die von Jänig *et al.* stammt, wurde untersucht, wie sich die Anwendungsfertigkeiten im Umgang mit dem Larynxtubus nach einem Jahr verändert haben. Hierzu wurde während der jährlichen BLS-Fortbildung einer Gruppe Gesundheits- und Krankenpfleger zusätzlich eine theoretische sowie praktische Einweisung in die Anwendung des Larynxtubus durchgeführt. Im Anschluss erfolgte die Datenaufnahme an einem Mannequin.⁶¹

Insgesamt 109 Probanden intubierten den Mannequin nach einem Jahr erneut. Dabei zeigt sich zum einen, dass die Erfolgsquote von initial 83% im Erstversuch auf 66% nach nur einem Jahr abgefallen war. Allerdings wurde auch eine zeitliche Zunahme beobachtet. Zuerst benötigten die Probanden durchschnittlich $24,6 \pm 11,6$ s, während die mittlere Zeit nach einem Jahr bereits bei $35,9 \pm 14,7$ s lag.⁶¹ Demnach zeigt sich, dass nicht nur die endotracheale Intubation stetiger Übung bedarf, auch für die erfolgreiche Anwendung der supraglottischen Atemwegshilfen benötigt man diese.

Die DGAI gibt in ihren Handlungsempfehlungen an, dass zur korrekten Anwendung extraglottischer Atemwegshilfen zehn erfolgreich durchgeführte Einlagen sowie mindestens drei Anwendungen pro Jahr notwendig sind. Für die endotracheale Intubation wird angegeben, dass zum Erlernen mindestens 50 bis 60 endotracheale Intubationen vorab durchgeführt werden müssen.⁶²

Die ÖGARl gibt sogar vor, dass zur Notfallkompetenz der Atemwegssicherung mit extraglottischen Atemwegshilfen 40 Stunden theoretische Einweisung und 20 erfolgreiche Einlagen an Patienten notwendig sind.⁶³ Auch Hinkelbein *et al.* fordern in einem Bericht über die notfallmedizinische Forschung, dass Notfallsanitäter zur korrekten und sicheren

Anwendung des Larynxtubus mindestens 45 erfolgreich gelegte Larynxtuben am Patienten sowie 25 an Intubationsmannequins nachweisen müssen. Zudem empfehlen sie eine Schulung, die sich mit den potenziellen Komplikationen des Larynxtubus auseinandersetzt.⁶⁴ Dementsprechend muss zukünftig nicht nur die notwendige Vorerfahrung evaluiert werden, sondern auch die regelmäßige Übung, die unter schwerelosen Bedingungen zur erfolgreichen Anwendung der Atemwegshilfen beitragen könnte.

In der unter Einfluss der Schwerkraft durchgeführten Studie zur endotrachealen Intubation mit dem regulären sowie einem Videolaryngoskop durch ungeübte Probanden von Aghamohammadi *et al.* zeigt sich ein leichter zeitlicher Vorsprung bei größerer Intubationserfahrung.⁴⁷ Ein weiterer Vergleich von Eismann *et al.* zeigt außerdem eine bessere Sichtbarkeit der Glottis mit dem Videolaryngoskop im Vergleich zu einem normalen Laryngoskop für ungeübtere Anwender.⁶⁵ Dies bestätigen auch Risse *et al.* in ihrer Untersuchung an Paramedics.⁶⁶ Zudem zeigt sich bei Eismann *et al.*, dass ein hyperangulierter Laryngoskopspatel bei schweren Atemwegen, bei denen die Mundöffnung auch nur begrenzt möglich ist, als vorteilhaft erweist.⁶⁵

Hinkelbein berichtet in seinem Beitrag im British Journal of Anaesthesia davon, dass die Lernkurve für die Videolaryngoskopie steiler und höher ausfällt, als die des regulären Laryngoskops.⁶⁷ Auch im Hinblick hierauf, wäre eine erneute Untersuchung des Videolaryngoskops mit einer breiteren Streuung der Erfahrung interessant. Um hierbei keine enge zeitliche Begrenzung zu haben, wäre es außerdem relevant, nach Alternativen zu suchen, um das Videolaryngoskop wasserfest zu machen. Denn die in dieser Arbeit verwendete Umhüllung des Videolaryngoskops hatte möglicherweise auch einen Einfluss auf das Intubationsergebnis, so dass Alternativen zu dieser Umhüllung relevant wären.

Hinkelbein gibt außerdem an, dass die Erfolgsrate der endotrachealen Intubation durch Fixation von Patient sowie Intubateur zu- und die notwendige Intubationszeit abnimmt.⁶⁷ Auch Warnecke *et al.* empfehlen eine Fixierung von Intubateur und Patient in Schwerelosigkeit.⁶⁸ In dieser Arbeit wurde bewusst auf eine Fixierung verzichtet, da aktuell keine Konzepte zu einer schnellen Umsetzung der Fixation existieren. Durch Thierry *et al.* wurde bereits ein Vergleich zwischen einer frei-schwebenden Position und einer in der Arbeit als „Ice-pick“ Position bezeichneten Haltung unternommen. Bei letzterer schwebt der Proband spiegelbildlich über dem Mannequin. Sie zeigten das die Ice-pick Position sowohl in Schwerelosigkeit, als auch unter Normalbedingungen eine geringe Erfolgsquote aufweist.⁶⁹ Ein zeitlicher Vergleich der frei-schwebenden Intubation mit einer anderen fixierten Intubation, bei der die notwendige Zeit zur Fixierung eingeschlossen wird, könnte mehr Klarheit darüber erbringen, welche der beiden Optionen in der Gesamtzeit am schnellsten ist.

Es existieren bereits Studien, die zeigen, dass sich die Erfolgsraten und durchschnittlichen Zeiten der Intubation mit dem Videolaryngoskop auch hinsichtlich der Wahl des Videolaryngoskops deutlich unterscheiden. In zwei dieser Studien werden diverse Videolaryngoskope mit einem regulären Laryngoskop verglichen. Es ergibt sich, dass das C-MAC Videolaryngoskop von Storz eine der höchsten Erfolgsraten unter den Videolaryngoskopen erreicht.^{70,71} Außerdem ist eine vergleichbar hohe Erfolgsrate des C-MACs und des regulären Laryngoskops von Macintosh ersichtlich. In derselben Studie wurden außerdem etwas kürzere Zeiten für die normale endotracheale Intubation im Vergleich zu den Videolaryngoskopen gemessen.⁷⁰ Das in dieser Arbeit verwendete Pentax Airway Scope stellte sich in der Arbeit von Pieters *et al.* als herausfordernder im Vergleich zu den anderen Videolaryngoskopen dar.⁷¹ Somit sollte hinsichtlich der Verwendbarkeit des Videolaryngoskops unter Schwerelosigkeit zusätzlich zu der Wahl einer Probandengruppe mit breiter gestreuter Erfahrung auch verschiedene Videolaryngoskope auf ihre Anwendbarkeit unter schwerelosen Bedingungen untersucht werden, um optimale Intubationsvoraussetzungen zu schaffen.

Auch die Verwendung der diversen Atemwegshilfen bei einem schwierigen Atemweg, insbesondere die Videolaryngoskopie und die Verwendung verschiedener Laryngoskopspatel bei unterschiedlichen Ursachen für den schwierigen Atemweg im schwerelosen Versuchsaufbau, sollten zukünftig noch weiter untersucht werden. Außerdem sollte hierbei auch das Intubationsergebnis bei schwierigen Atemwegen in Abhängigkeit der Erfahrung differenziert beleuchtet werden.

Zudem konnten Schalk *et al.* in einer Untersuchung zur Nachbildung der Anatomie der Atemwege bei verschiedenen Intubationsmannequins zeigen, dass diese mehrheitlich deutliche Abweichungen von realen Atemwegen aufweisen. Hierbei wurden verschiedene anatomische Parameter von realen Patienten mit denen der Mannequins aufgrund von CT-Daten verglichen. Da kein Mannequin die menschliche Anatomie perfekt nachbilden konnte, sollte bei zukünftigen Untersuchungen konkret darauf geachtet werden, dass der gewählte Mannequin die Anatomie, die im Rahmen der durchgeführten Studie potenziell relevant ist, bestmöglich simuliert.⁷²

Im Abschnitt 5.1.4 wurde bereits die Regurgitation als Risiko der extraglottischen Atemwegssicherung besprochen. Unter normalen Bedingungen werden Patienten vor Operationen nüchtern belassen, damit das Regurgitationsrisiko gesenkt werden kann. Außerdem kann durch gezielte Lagerungsmanöver der Einfluss der Schwerkraft ausgenutzt werden. Zudem liegt der Magen selbst mit der Curvatura major nach leicht dorsal gekippt im Abdomen. Dies sorgt aufgrund der Einwirkung der Schwerkraft im Liegen zusätzlich dafür,

dass Magensaft weniger wahrscheinlich zurück in den Ösophagus und potenziell in die Trachea fließt.

All diese Aspekte fallen in Schwerelosigkeit bei einer notfallmäßigen Intubation weg. Allerdings begünstigt die Eigenspannung des Magens sowie die Wandspannung des Bauchs auch in Schwerelosigkeit eine Aspiration, da diese zu einer Erhöhung des Drucks auf den Mageninhalt führen. Der Ösophagussphinkter wirkt diesem erhöhten Druck auch in der Schwerelosigkeit entgegen.

Zur genaueren Beurteilung, ob eine extraglottische Atemwegshilfe in Schwerelosigkeit nicht potenziell mit einem zu hohen Aspirationsrisiko einhergeht, sollte durch Ösophagus- sowie Magenmanometrie in Schwerelosigkeit und mit Schwerkraft im Vergleich untersucht werden, wie sich die verschiedenen Drücke verhalten. In Schwerelosigkeit ist von einer anderen Verteilung des Magensafts auszugehen.

Um das Risiko einer Aspiration bei Verwendung extraglottischer Atemwegshilfen zu reduzieren, wird normalerweise eine Magensonde eingeführt. Daher sollte untersucht werden, wie effektiv eine Magensonde in der Schwerelosigkeit aufgrund der veränderten Fluideigenschaften ist. Möglicherweise kann bei der Magensonde das Prinzip der Kapillarkraft von Vorteil sein. Hierbei entsteht aufgrund der Oberflächenspannung ein stetiger Fluidstrom.⁷³ Dahingehend muss untersucht werden, ob sich die im Magen befindlichen Fluide ausreichend über die Magensonde ableiten lassen, ob Absaugen oder ein über ein Vakuum erzeugter Unterdruck am distalen Ende der Magensonde hierbei von Vorteil sein könnten. Es ist davon auszugehen, dass der Mageninhalt sich einerseits durch Adhäsionskräfte an den Schleimhautwänden verteilen wird, allerdings wird wahrscheinlich ein Teil der Fluide durch Kohäsionskräfte als Tropfen geformt frei im Raum flottieren. Dies könnte zu einem gesteigerten Risiko für Mikroaspirationen führen und wäre möglicherweise ein Grund, die endotracheale Intubation der Verwendung supraglottischer Atemwegshilfsmittel vorzuziehen.

Außerdem könnte in diesem Kontext die Anwendung sowie der Einfluss des Sellick-Handgriffs zur Regurgitationsprophylaxe in Schwerelosigkeit untersucht werden. Darüber hinaus ist relevant, durch Ösophagus- sowie Magenmanometrie zu untersuchen, ob es in Schwerelosigkeit zu einer Änderung der Druckverhältnisse und damit auch zu einer veränderten Regurgitationswahrscheinlichkeit kommt.

Zudem werden supraglottische Atemwegshilfen in der Regel nur über kürzere Zeiträume eingesetzt. Auf einer längeren Weltraummission wäre daher möglicherweise eine Umintubation und damit ein Wechsel auf einen Endotrachealtubus im Verlauf möglich.

5.4 Zusammenfassung und Fazit

In dieser Arbeit wurde anhand einer Probandengruppe aus dem Bereich Rettungsdienst untersucht, wie viel Erfahrung zur suffizienten Intubation eines Mannequins notwendig ist. Dies wurde sowohl unter Einfluss der Schwerkraft als auch frei flottierend unter schwerelosen Bedingungen, durch einen im Wasser frei-schwebenden Mannequin und Probanden, simuliert. Als Atemwegshilfen wurden ein Larynxtubus, eine Larynxmaske und ein Endotrachealtubus, der sowohl mit regulärem Laryngoskop als auch mit Videolaryngoskop inseriert wurde, in randomisierter Reihenfolge verwendet.

Es zeigte sich, dass die supraglottischen Atemwegshilfen am schnellsten und mit der größten Erfolgsrate eingeführt werden konnten. Für die Larynxmaske sowie den Larynxtubus konnten keine deutlichen Unterschiede in Abhängigkeit der Erfahrung unter schwerelosen Bedingungen ermittelt werden. Die Erfolgsrate zeigte weiterhin für die supraglottischen Atemwegshilfen keine Veränderungen in Abhängigkeit der Erfahrung. Für die endotracheale Intubation mit dem regulären Laryngoskop konnte eine deutliche zeitliche Verbesserung ab sechs bis 15 Intubationen ermittelt werden. Beim Videolaryngoskop stellte sich die Auswertung in Abhängigkeit der Erfahrung als erschwert dar, da sich die Verteilungsbreite der Erfahrung dort als äußerst gering herausstellte.

Insgesamt stellte sich heraus, dass die supraglottischen Atemwegshilfsmittel der endotrachealen Intubation hinsichtlich Zeit und Erfolgsrate überlegen waren und eine deutlich geringere Erfahrung hierzu benötigten. Die durch die Schwerelosigkeit aufgebaute Hürde zeigte sich bei der endotrachealen Intubation deutlicher als bei den supraglottischen Atemwegshilfen, die auch für ungeübte Anwender einfach zu platzieren waren.

Trotzdem können die Ergebnisse auf Grundlage des Vergleichs mit anderen Studien als realistisch und glaubhaft bewertet werden. Es finden sich leichte Abweichungen bei der Anwendung der Larynxmaske unter Einwirkung der Schwerkraft, die wahrscheinlich auf mangelnde Befeuchtung der Maske und dadurch erhöhten Reibungswiderstand an dem Mannequin zurückgeführt werden können.

Zukünftig sollte die Videolaryngoskopie in der Schwerelosigkeit in Abhängigkeit der Erfahrung anhand einer Probandengruppe mit größerer Verteilungsbreite genauer untersucht werden. Weiterhin muss zukünftig die Entwicklung des Aspirationsrisikos eingehender erforscht werden, um die Anwendung von supraglottischen Atemwegshilfsmitteln realistisch einschätzen zu können. Zudem nimmt die Atemwegssicherung eine zentrale Position ein, da vielfältige Ursachen eine solche notwendig machen können und die Besatzung zwingend und möglichst schnell darauf reagieren muss, um die Folgen der Hypoxie möglichst gering zu halten.

Des Weiteren kann, erst nachdem Untersuchungen zu den gängigsten Notfallsituationen in Schwerelosigkeit durchgeführt und die Erhebung der zur Behebung solcher Situationen notwendigen Kompetenzen erfolgt sind, abschließend geklärt werden, ob zukünftig zwingend ein Arzt einer bestimmten Fachrichtung oder mit einer gesonderten Zusatzausbildung auf solchen Langzeitmissionen anwesend sein muss oder ob hierfür eine erweiterte und optimierte CMO-Ausbildung ausreichend ist. Im Hinblick auf die Atemwegssicherung ist die weitere Erforschung des Regurgitationsverhaltens und der -wahrscheinlichkeit besonders spannend, da vor allem davon abhängig ist, welche Atemwegshilfen zukünftig zum Einsatz kommen werden.

6. Literaturverzeichnis

- 1 Corlett T, Stavnichuk M, Komarova SV. Population analysis of space travelers. *Life Sciences in Space Research* 2020; **27**: 1–5. <https://doi.org/10.1016/j.lssr.2020.06.003>.
- 2 Piper S. Beginn des Weltraumzeitalters. In: Piper S, ed. *Space – Die Zukunft liegt im All*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2019: 21–44.
- 3 Osterhage WW. Raumstationen. In: Osterhage WW, ed. *Die Geschichte der Raumfahrt*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2021: 133–51.
- 4 Mars Architecture Steering Group. Human Exploration of Mars. Design Reference Architecture 5.0. Houston, Texas, 2009.
- 5 Summers RL, Johnston SL, Marshburn TH, Williams DR. Emergencies in space. *Ann Emerg Med* 2005; **46**: 177–84. <https://doi.org/10.1016/j.annemergmed.2005.02.010>.
- 6 Komorowski M, Fleming S, Kirkpatrick AW. Fundamentals of Anesthesiology for Spaceflight. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 2016; **30**: 781–90. <https://doi.org/10.1053/j.jvca.2016.01.007>.
- 7 Barratt MR. Physical and Bioenvironmental Aspects of Human Space Flight. In: Barratt MR, Pool SL, eds. *Principles of Clinical Medicine for Space Flight*. New York, NY: Springer New York, 2008: 3–26.
- 8 Komorowski M, Fleming S, Mawkin M, Hinkelbein J. Anaesthesia in austere environments: literature review and considerations for future space exploration missions. *NPJ Microgravity* 2018; **4**: 5. <https://doi.org/10.1038/s41526-018-0039-y>.
- 9 Hinkelbein J, Spelten O. Going Beyond Anesthesia in Space Exploration Missions: Emergency Medicine and Emergency Medical Care. *Aviation, Space, and Environmental Medicine* 2013; **84**: 747. <https://doi.org/10.3357/ASEM.3708.2013>.
- 10 Stewart LH, Trunkey D, Rebagliati GS. Emergency medicine in space. *J Emerg Med* 2007; **32**: 45–54. <https://doi.org/10.1016/j.jemermed.2006.05.031>.
- 11 Mittmeyer-Riehl M. Wenn Astronauten im All krank werden. <https://www.aerztezeitung.de/Panorama/Wenn-Astronauten-im-All-krank-werden-251490.html> (accessed Jan 13, 2025).
- 12 Hinkelbein J, Ahlbäck A, Antwerber C, et al. Using supraglottic airways by paramedics for airway management in analogue microgravity increases speed and success of ventilation. *Sci Rep* 2021; **11**: 9286. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-88008-x>.
- 13 European Space Agency. Astronaut selection 2021-22 FAQs. https://www.esa.int/About_Us/Careers_at_ESA/ESA_Astronaut_Selection/Astronaut_selection_2021-22_FAQs (accessed Jan 16, 2025).
- 14 Canga MA, Shah RV, Mindock JA, Antonsen EL. A strategic approach to medical care for exploration missions. https://www.researchgate.net/profile/Erik-Antonsen-2/publication/309549465_A_Strategic_Approach_to_Medical_Care_for_Exploration_Miss

- ions/links/5c854816299bf1268d4f8335/A-Strategic-Approach-to-Medical-Care-for-Exploration-Missions.pdf (accessed Jan 07, 2025).
- 15 Piper S. Weltraumtourismus. In: Piper S, ed. Space – Die Zukunft liegt im All. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2019: 77–83.
 - 16 Warnecke T, Dauth L, Ahlbäck A, et al. Time to ventilation and success rate of airway devices in microgravity: A randomized crossover manikin-trial using an underwater setting. *Acta Anaesthesiol Scand* 2021; **65**: 681–87. <https://doi.org/10.1111/aas.13780>.
 - 17 Buis ML, Maissan IM, Hoeks SE, Klimek M, Stolker RJ. Defining the learning curve for endotracheal intubation using direct laryngoscopy: A systematic review. *Resuscitation* 2016; **99**: 63–71. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2015.11.005>.
 - 18 Thierbach A, Piepho T, Kleine-Weischede B, Haag G, Maybauer M, Werner C. Vergleich zwischen Larynx-tubus-S und endotrachealer Intubation Simulation der Sicherung der Atemwege im Notfall. *Anaesthesist* 2006; **55**: 154–59. <https://doi.org/10.1007/s00101-005-0929-8>.
 - 19 Lütcke B, Schlicke T. Sicherung der Atemwege - Endotracheal versus supraglottisch. *retten!* 2012; **1**: 109–16. <https://doi.org/10.1055/s-0032-1311808>.
 - 20 LeJeune FE. Laryngoscopy in space travel. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 1979; **88**: 813–17. <https://doi.org/10.1177/000348947908800613>.
 - 21 National Aeronautics and Space Administration. International Space Station Medical Operations Requirements Documents (ISS MORD). International Space Station Program. https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjhlZmVlePyAhU_gf0HHQxSAYIQFnoECAMQAQ&url=http%3A%2F%2Femits.sso.esa.int%2Femits-doc%2FESTEC%2FAO6216-SoW-RD9.pdf&usg=AOvVaw24sDP5B_YbSuvJeiBqM2uk (accessed Jun 13, 2021).
 - 22 Ausbildungs- und Prüfungsverordnung für Rettungssanitäterinnen und Rettungssanitäter sowie Rettungshelferinnen und Rettungshelfer. RettAPO. In: Gesetz- und Verordnungsblatt (GV. NRW.), 2018: 917–44.
 - 23 Ausbildungs- und Prüfungsverordnung für Rettungsassistentinnen und Rettungsassistenten. RettAssAPrV. In: Bürgerliches Gesetzbuch, 1989: 1966.
 - 24 Ausbildungs- und Prüfungsverordnung für Notfallsanitäterinnen und Notfallsanitäter. NotSan-APrV. In: Bürgerliches Gesetzbuch, 2013: 2295.
 - 25 PADI. Open Water Diver. <https://www.padi.com/de/kurse/open-water-diver> (accessed Jan 06, 2025).
 - 26 SSI. Open Water Diver. <https://www.divessi.com/de/get-certified/scuba-diving/open-water-diver> (accessed Jan 06, 2025).
 - 27 CMAS. CMAS One-Star Diver Standard. <https://archives.cmas.org/technique/one-star-diver-training-programme> (accessed Jan 09, 2025).

- 28 Keller C, Brimacombe J, A FR, et al. Airway management during spaceflight: A comparison of four airway devices in simulated microgravity. *Anesthesiology* 2000; **92**: 1237–41. <https://doi.org/10.1097/00000542-200005000-00010>.
- 29 Groemer GE, Brimacombe J, Haas T, et al. The feasibility of laryngoscope-guided tracheal intubation in microgravity during parabolic flight: a comparison of two techniques. *Anesth Analg* 2005; **101**: 1533–35. <https://doi.org/10.1213/01.ANE.0000181001.25777.53>.
- 30 Rabitsch W, Moser D, Inzunza MR, et al. Airway management with endotracheal tube versus Combitube during parabolic flights. *Anesthesiology* 2006; **105**: 696–702. <https://doi.org/10.1097/00000542-200610000-00014>.
- 31 Starck C, Thierry S, Bernard CI, et al. Tracheal intubation in microgravity: a simulation study comparing direct laryngoscopy and videolaryngoscopy†. *Br J Anaesth* 2020; **125**: e47-e53. <https://doi.org/10.1016/j.bja.2019.11.029>.
- 32 Asai T, Hidaka I, Kawachi S. Efficacy of the laryngeal tube by inexperienced personnel. *Resuscitation* 2002; **55**: 171–75. [https://doi.org/10.1016/s0300-9572\(02\)00170-3](https://doi.org/10.1016/s0300-9572(02)00170-3).
- 33 Winterhalter M, Brummerloh C, Lüttje K, Panning B, Hecker H, Adams HA. Anwendungsstudie zur Atemwegsicherung mit Tubus, Larynxmaske und ösophagotrachealem Kombinationstubus im Kurs Rettungsmedizin. *Anesthesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther* 2002; **37**: 532–36. <https://doi.org/10.1055/s-2002-33764>.
- 34 Leventis C, Chalkias A, Sampanis MA, Foulidou X, Xanthos T. Emergency airway management by paramedics: comparison between standard endotracheal intubation, laryngeal mask airway, and I-gel. *Eur J Emerg Med* 2014; **21**: 371–73. <https://doi.org/10.1097/MEJ.0000000000000101>.
- 35 Finteis T, Genzwürker H, Blankenburg A, Ellinger K, Kuhnert-Frey B. Atemwegsmanagement durch nicht-ärztliches Personal. *Notfall & Rettungsmedizin* 2001; **4**: 327–34. <https://doi.org/10.1007/s100490170041>.
- 36 Rocca B, Crosby E, Maloney J, Bryson G. An assessment of paramedic performance during invasive airway management. *Prehosp Emerg Care* 2000; **4**: 164–67. <https://doi.org/10.1080/10903120090941443>.
- 37 Saeedi M, Hajiseyedjavadi H, Seyedhosseini J, Eslami V, Sheikhmotaharvahedi H. Comparison of endotracheal intubation, combitube, and laryngeal mask airway between inexperienced and experienced emergency medical staff: A manikin study. *Int J Crit Illn Inj Sci* 2014; **4**: 303–08. <https://doi.org/10.4103/2229-5151.147533>.
- 38 Toda J, Toda AA, Arakawa J. Learning curve for paramedic endotracheal intubation and complications. *Int J Emerg Med* 2013; **6**: 38. <https://doi.org/10.1186/1865-1380-6-38>.

- 39 Wahlen BM, Roewer N, Lange M, Kranke P. Tracheal intubation and alternative airway management devices used by healthcare professionals with different level of pre-existing skills: a manikin study. *Anaesthesia* 2009; **64**: 549–54. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2044.2008.05812.x>.
- 40 Wang HE, Seitz SR, Hostler D, Yealy DM. Defining the learning curve for paramedic student endotracheal intubation. *Prehosp Emerg Care* 2005; **9**: 156–62. <https://doi.org/10.1080/10903120590924645>.
- 41 Chan JJ, Goh ZX, Koh ZX, et al. Clinical evaluation of the use of laryngeal tube versus laryngeal mask airway for out-of-hospital cardiac arrest by paramedics in Singapore. *Singapore Med J* 2022; **63**: 157–61. <https://doi.org/10.11622/smedj.2020119>.
- 42 Frasccone RJ, Pippert G, Heegaard W, Molinari P, Dries D. Successful training of HEMS personnel in laryngeal mask airway and intubating laryngeal mask airway placement. *Air Med J* 2008; **27**: 185–87. <https://doi.org/10.1016/j.amj.2007.11.002>.
- 43 Timmermann A, Cremer S, Heuer J, Braun U, Graf BM, Russo SG. Larynxmaske LMA Supremetrade mark. Anwendung durch im Airwaymanagement unerfahrenes medizinisches Personal. *Anaesthesist* 2008; **57**: 970–75. <https://doi.org/10.1007/s00101-008-1425-8>.
- 44 Länkimäki S, Alahuhta S, Kurola J. Feasibility of a laryngeal tube for airway management during cardiac arrest by first responders. *Resuscitation* 2013; **84**: 446–49. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2012.08.326>.
- 45 Genzwürker H, Finteis T, Hinkelbein J, Ellinger K. Erste klinische Erfahrungen mit dem neuen LTS. Ein Larynx-Tubus mit ösophagealer Drainagemöglichkeit. *Anaesthesist* 2003; **52**: 697–702. <https://doi.org/10.1007/s00101-003-0539-2>.
- 46 Sunde GA, Brattebø G, Odegården T, Kjernlie DF, Rødne E, Heltne J-K. Laryngeal tube use in out-of-hospital cardiac arrest by paramedics in Norway. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med* 2012; **20**: 84. <https://doi.org/10.1186/1757-7241-20-84>.
- 47 Aghamohammadi H, Massoudi N, Fathi M, Jaffari A, Gharaei B, Moshki A. Intubation learning curve: comparison between video and direct laryngoscopy by inexperienced students. *J Med Life* 2015; **8**: 150–53.
- 48 Steel A, Haldane C, Cody D. Impact of videolaryngoscopy introduction into prehospital emergency medicine practice: a quality improvement project. *Emerg Med J* 2021; **38**: 549–55. <https://doi.org/10.1136/emered-2020-209944>.
- 49 Schalk R, Byhahn C, Fausel F, et al. Out-of-hospital airway management by paramedics and emergency physicians using laryngeal tubes. *Resuscitation* 2010; **81**: 323–26. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2009.11.007>.

- 50 Gırrbach F, Bercker S, Hinkelbein J. Alternative Hilfsmittel zum Atemwegsmanagement in der Notfallmedizin: Pro und Kontra. *Notfall & Rettungsmedizin* 2019; **22**: 679–84. <https://doi.org/10.1007/s10049-019-00658-7>.
- 51 Schalk R, Seeger FH, Mutlak H, et al. Complications associated with the prehospital use of laryngeal tubes--a systematic analysis of risk factors and strategies for prevention. *Resuscitation* 2014; **85**: 1629–32. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2014.07.014>.
- 52 Schalk R, Byhahn C, Klüner C, Bernhard M. Anwendung des Larynxtubus in der Notfallmedizin – Komplikationen und Fallstricke. *Notarzt* 2018; **34**: 124–31. <https://doi.org/10.1055/a-0602-3799>.
- 53 Bernhard M, Beres W, Timmermann A, et al. Prehospital airway management using the laryngeal tube. An emergency department point of view. *Anaesthesist* 2014; **63**: 589–96. <https://doi.org/10.1007/s00101-014-2348-1>.
- 54 Rudraraju P, Eisen LA. Confirmation of endotracheal tube position: a narrative review. *J Intensive Care Med* 2009; **24**: 283–92. <https://doi.org/10.1177/0885066609340501>.
- 55 Pfeiler W, ed. Experimentalphysik. Band 1, Mechanik, Schwingungen, Wellen; S.183-184. Berlin, Boston: De Gruyter, 2020.
- 56 Pfeiler W, ed. Experimentalphysik. Band 1, Mechanik, Schwingungen, Wellen; S. 43. Berlin, Boston: De Gruyter, 2020.
- 57 DIN Deutsches Institut für Normung e.V. Rettungsdienstfahrzeuge und deren Ausrüstung_ - Krankenkraftwagen. Deutsche Fassung EN_1789:2020. Berlin: Beuth Verlag GmbH: Beuth Verlag GmbH 01.12.2020; **11.160**; **43.160**.
- 58 DIN Deutsches Institut für Normung e.V. Notfall-Ausrüstung. Berlin: Beuth Verlag GmbH: Beuth Verlag GmbH; **11.160**.
- 59 DIN Deutsches Institut für Normung e.V. Notarzt-Einsatzfahrzeuge (NEF) - Begriffe, Anforderungen, Prüfung. Berlin: Beuth Verlag GmbH: Beuth Verlag GmbH; **11.160**; **43.160**.
- 60 Ruetzler K, Roessler B, Potura L, et al. Performance and skill retention of intubation by paramedics using seven different airway devices--a manikin study. *Resuscitation* 2011; **82**: 593–97. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2011.01.008>.
- 61 Jänig C, van den Bergh H, Höschel T, Poplawski A, Piepho T. Vergleich des Fertigkeitsebeneaus in der Anwendung des Larynxtubus und der Beutel-Masken-Beatmung durch Pflegekräfte im 1-Jahres-Intervall nach Erstausbildung. *Notfall & Rettungsmedizin* 2019; **22**: 394–401. <https://doi.org/10.1007/s10049-018-0502-z>.
- 62 Timmermann A, Byhahn C, Wenzel V, et al. Handlungsempfehlung für das präklinische Atemwegsmanagement. *Notf.med. up2date* 2012; **7**: 105–20. <https://doi.org/10.1055/s-0032-1314951>.

- 63 Trimmel H, Halmich M, Paal P. Stellungnahme der Österreichischen Gesellschaft für Anästhesiologie, Reanimation und Intensivmedizin (ÖGARI) zum Einsatz des Larynxtubus durch Rettungs- und Notfallsanitäter. *Anaesthesist* 2019; **68**: 391–95. <https://doi.org/10.1007/s00101-019-0606-y>.
- 64 Hinkelbein J, Singer D, Trentzsch H, et al. Aktuelle Ergebnisse notfallmedizinischer Forschung 2014/2015. *Notf.med. up2date* 2015; **10**: 353–70. <https://doi.org/10.1055/s-0041-110238>.
- 65 Eismann H, Sieg L, Etti N, et al. Improved success rates using videolaryngoscopy in unexperienced users: a randomized crossover study in airway manikins. *Eur J Med Res* 2017; **22**: 27. <https://doi.org/10.1186/s40001-017-0268-7>.
- 66 Risse J, Volberg C, Kratz T, et al. Comparison of videolaryngoscopy and direct laryngoscopy by German paramedics during out-of-hospital cardiopulmonary resuscitation; an observational prospective study. *BMC Emerg Med* 2020; **20**: 22. <https://doi.org/10.1186/s12873-020-00316-z>.
- 67 Hinkelbein J. Spaceflight: the final frontier for airway management? *Br J Anaesth* 2020; **125**: e5–e6. <https://doi.org/10.1016/j.bja.2019.12.002>.
- 68 Warnecke T, Tochtermann F, Kerkhoff S, Komorowski M, Neuhaus C, Hinkelbein J. Airway management in microgravity: A systematic review. *Acta Anaesthesiol Scand* 2019; **63**: 2–7. <https://doi.org/10.1111/aas.13251>.
- 69 Thierry S, Jaulin F, Starck C, et al. Evaluation of free-floating tracheal intubation in weightlessness via ice-pick position with a direct laryngoscopy and classic approach with indirect videolaryngoscopy. *NPJ Microgravity* 2023; **9**: 73. <https://doi.org/10.1038/s41526-023-00314-y>.
- 70 Wetsch WA, Spelten O, Hellmich M, et al. Comparison of different video laryngoscopes for emergency intubation in a standardized airway manikin with immobilized cervical spine by experienced anaesthetists. A randomized, controlled crossover trial. *Resuscitation* 2012; **83**: 740–45. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2011.11.024>.
- 71 Pieters BMA, Wilbers NER, Huijzer M, Winkens B, van Zundert AAJ. Comparison of seven videolaryngoscopes with the Macintosh laryngoscope in manikins by experienced and novice personnel. *Anaesthesia* 2016; **71**: 556–64. <https://doi.org/10.1111/anae.13413>.
- 72 Schalk R, Eichler K, Bergold MN, et al. A radiographic comparison of human airway anatomy and airway manikins--Implications for manikin-based testing of artificial airways. *Resuscitation* 2015; **92**: 129–36. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2015.05.001>.
- 73 Wiley VCH GmbH. Strömungsverhalten in der Schwerelosigkeit. <https://www.prophysik.de/nachrichten/stroemungsverhalten-der-schwerelosigkeit> (accessed Jan 07, 2025).

7. Anhang

7.1 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schutzhülle des Videolaryngoskops.....	15
Abbildung 2: CONSORT 2010 Flow Diagramm der Probanden.....	18
Abbildung 3: relatives Kräftegleichgewicht des frei-schwebenden Mannequins (eigene Darstellung)	21
Abbildung 4: Verteilung der Tauchqualifikationen	24
Abbildung 5: Verteilung der Intubationserfahrung	24
Abbildung 6: Notwendige Versuche zur erfolgreichen endotrachealen Intubation mit direktem Laryngoskop unter schwerelosen Bedingungen	27
Abbildung 7: Verteilung der notwendigen Intubationsversuche zur endotrachealen Intubation unter schwerelosen Bedingungen.....	28
Abbildung 8: Verteilung der notwendigen Intubationsversuche zur endotrachealen Intubation unter Normalbedingungen	30
Abbildung 9: Notwendige Versuche zur erfolgreichen endotrachealen Intubation mit direktem Laryngoskop unter Einwirkung der Schwerkraft.....	30
Abbildung 10: Verteilung der notwendigen Versuche zur erfolgreichen Einlage der Larynxmaske unter Normalbedingungen.....	34
Abbildung 11: Verteilung der notwendigen Einführungsversuche des Larynxtubus unter Normalbedingungen.....	38
Abbildung 12: Verteilung der notwendigen Intubationsversuche mit dem Videolaryngoskop unter schwerelosen Bedingungen	41
Abbildung 13: Verteilung der notwendigen Intubationsversuche zur endotrachealen Intubation mit dem Videolaryngoskop unter Normalbedingungen.....	43

7.2 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Aufteilung der Erfahrungsstufen.....	22
Tabelle 2: Übersicht Ränge endotracheale Intubation	25
Tabelle 3: Übersicht der Intubationszeiten der endotrachealen Intubation in simulierter Schwerelosigkeit	26
Tabelle 4: Anwendung des Mann-Whitney-U-Test auf die Ränge der Endotrachealen Intubation unter Normalbedingungen	28
Tabelle 5: Übersicht der Intubationszeiten der endotrachealen Intubation unter Normalbedingungen.....	29
Tabelle 6: Übersicht Ränge der Anwendung der Larynxmaske	31
Tabelle 7: Anwendung des Mann-Whitney-U-Test auf die Ränge der Larynxmaske unter simulierter Schwerelosigkeit.....	32
Tabelle 8: Übersicht der Einführungszeiten der Larynxmaske in simulierter Schwerelosigkeit	32
Tabelle 9: Übersicht der Einführungszeiten der Larynxmaske unter Normalbedingungen.....	33
Tabelle 10: Anwendung des Mann-Whitney-U-Test auf die Ränge der Larynxmaske unter Normalbedingungen.....	33
Tabelle 11: Übersicht Ränge der Anwendungen des Larynxtubus.....	35
Tabelle 12: Anwendung des Mann-Whitney-U-Test auf die Erfahrungsränge des Larynxtubus unter simulierter Schwerelosigkeit.....	36
Tabelle 13: Übersicht der Einführungszeiten des Larynxtubus in Schwerelosigkeit	36
Tabelle 14: Übersicht der Einführungszeiten des Larynxtubus unter Normalbedingungen.....	37
Tabelle 15: Anwendung des Mann-Whitney-U-Test auf die Erfahrungsränge des Larynxtubus unter Normalbedingungen.....	37
Tabelle 16: Übersicht der Ränge bei der endotrachealen Intubation mittels Videolaryngoskop	40
Tabelle 17: Anwendung des Mann-Whitney-U-Test auf die Erfahrungsränge des Videolaryngoskops unter Normalbedingungen	41
Tabelle 18: Übersicht der Intubationszeiten der endotrachealen Intubation mit Videolaryngoskop unter Normalbedingungen.....	42
Tabelle 19: Ergebnisübersicht	44
Tabelle 20: Übersicht der bisher durchgeführten Studien zur Atemwegssicherung in der Schwerelosigkeit ^{16,28–31}	49
Tabelle 21: Ergebnisvergleich zur endotrachealen Intubation unter simulierter Schwerelosigkeit	50

Tabelle 22: Ergebnisübersicht zur Anwendung der Larynxmaske unter schwereelosigkeitsähnlichen Bedingungen	51
Tabelle 23: Ergebnisübersicht zur Anwendung des Larynxtubus unter schwereelosigkeitsähnlichen Bedingungen	52
Tabelle 24: Ergebnisübersicht zur Anwendung des Videolaryngoskops unter schwereelosigkeitsähnlichen Bedingungen	53
Tabelle 25: Ergebnisübersicht der Erfolgsraten zur endotrachealen Intubation unter schwereelosigkeitsähnlichen Bedingungen	54
Tabelle 26: Ergebnisübersicht der medianen Intubationszeit sowie Spannweite für die endotracheale Intubation	56
Tabelle 27: Ergebnisübersicht der Intubationszeiten der Videolaryngoskopie.....	57
Tabelle 28: Ergebnisübersicht zur endotrachealen Intubation unter Normalbedingungen im Vergleich zu weiteren Studien	58
Tabelle 29: Ergebnisübersicht zur Anwendung der Larynxmaske unter Normalbedingungen im Vergleich zu weiteren Studien	61
Tabelle 30: Ergebnisübersicht zur Anwendung des Larynxtubus unter Normalbedingungen im Vergleich zu weiteren Studien	62
Tabelle 31: Ergebnisübersicht zur Anwendung des Videolaryngoskops unter Normalbedingungen im Vergleich zu weiteren Studien	63

7.3 Fragebogen für Probanden

Teilnehmernummer (wird vergeben)	
Wie alt sind Sie?	
Welche Tauchqualifikation besitzen Sie? (Bitte nur eine Nennung)	☐ SSI – Open Water Diver (OWD) ☐ CMAS * (1-Stern) ☐ PADI Open Water Diver ☐ ISO 24801-2 (Autonomous Diver) ☐ NAUI Scuba Diver ☐ Sonstige vergleichbare Tauchlizenz
Wie viele Tauchgänge haben Sie bereits absolviert?	☐ < 100 Tauchgänge ☐ ≥ 100 Tauchgänge
Welche medizinische Qualifikation haben Sie?	☐ Anästhesist*in ☐ Notarzt*ärztin, Notfallmediziner*in ☐ Rettungsdienstmitarbeiter*innen: Rettungssanitäter*in, Rettungsassistent*in, Notfallsanitäter*in
Wie viele Berufsjahre haben Sie?	☐ < 5 Jahre ☐ 5-10 Jahre ☐ > 10 Jahre
Wie oft haben Sie die folgenden Atemwegshilfen bereits eingesetzt (Schätzwert)?	☐ Endotracheale Intubation _____ ☐ Larynxmaske _____ ☐ Larynxtubus _____ ☐ Videolaryngoskop _____

Datenerfassung

Datum	
RANDOM-Gruppe	
Probandennummer	
Geschlecht	
Gewicht	
Größe	
Vorerkrankungen	
Ca. Anzahl Tauchgänge	
Anzahl Intubationen	
Anzahl SGAs	
Anzahl VL-Intubationen	
Anzahl LTs	

Information: Nur wenn alle Fragen mit nein beantwortet werden, kann der/die Proband*in an der Studie teilnehmen.

- 1) Haben Sie aktuell eine Ohrenentzündung?
- 2) Haben Sie aktuell eine Erkältung?
- 3) Sind Sie in Ihrem Leben an den Ohren operiert worden?
- 4) Haben Sie Probleme mit dem Druckausgleich?
- 5) Leiden Sie unter Herz-Kreislaufkrankungen, wie z.B. einer KHK?
- 6) Haben Sie Platzangst?
- 7) Sind Sie jünger als 18 Jahre?
- 8) Sind Sie älter als 70 Jahre?

8. Vorabveröffentlichungen von Ergebnissen

Hinkelbein J, Ahlbäck A, **Antwerber C**, *et al.* Using supraglottic airways by paramedics for airway management in analogue microgravity increases speed and success of ventilation. *Sci Rep* 2021; **11**: 9286. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-88008-x>.