

Aus dem Institut für Notfallmedizin und Medizinmanagement (INM)
Klinikum der Ludwig-Maximilians-Universität München
Geschäftsführender Vorstand: Prof. Dr. med. Chr. K. Lackner

**Präklinische Kapnometrie -
Prospektive multizentrische Studie zur Prozeßqualität der
endotrachealen Intubation**

Dissertation
zum Erwerb des Doktorgrades der Medizin
an der Medizinischen Fakultät der
Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von
Claudia Marie Elisabeth Netzsch
aus München

2004

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter: Prof. Dr. med. Chr. K. Lackner

Mitberichterstatter: Prof. Dr. P. Conzen
Prof. Dr. D. Inthorn
Prof. Dr. R. Gärtner

Mitbetreuung durch
promovierte Mitarbeiter: Dr. med. Michael Reith
Dr. med. Matthias Ruppert
Dr. med. Jörg Widmann

Dekan: Prof. Dr. med. Dr. h. c. K. Peter

Tag der mündlichen Prüfung: 29.04.2004

*Meinem Vater Wolfgang Netzsch
und
Frau Dr. med. Ernestine Hattar
gewidmet*

Gliederung

1.	Einleitung	1
2.	Studienziele	3
3.	Medizinische Grundlagen: Physiologie und Pathophysiologie zur endexpiratorischen CO₂-Messung	4
3.1.	CO ₂ -Produktion im Gewebe und –Transport im Blut	4
3.2.	Pulmonaler Gasaustausch	5
3.3.	Ventilations- /Perfusions-Verhältnis	11
3.4.	Zusammenhang zwischen arteriellem und endexpiratorischen CO ₂ -Partialdruck	12
3.5.	Endexpiratorische CO ₂ -Messung	13
4.	Methodik	27
4.1.	Studienablauf	29
4.2.	Verwendete Kapnometrieeräte	32
5.	Statistik	36
6.	Ergebnisse	38
6.1.	Gesamtkollektiv	38
6.2.	Subkollektiv Trauma	64
6.3.	Subkollektiv Nicht-Trauma	73
6.4.	Subkollektiv Herz-Kreislauf-Stillstand	83
6.5.	Statistische Ergebnisse	95
7.	Diskussion	98
7.1.	Material und Methode	98
7.2.	Allgemeines zu den Kollektiven	99
7.3.	Intubation	100
7.4.	Kapnometrieeräte	110
7.5.	Verifizierung der Tubuslage	115

7.6	Bewertung der Kapnometriergeräte	119
8.	Zusammenfassung	121
9.	Abbildungsverzeichnis	125
10.	Tabellenverzeichnis	128
11.	Glossar	130
12.	Literaturverzeichnis	133
13.	Anhang	141
13.1.	Basisdatensatzprotokoll	141
13.2.	Erweitertes Dokumentationsprotokoll	143

1. Einleitung

Die endotracheale Intubation zur Sicherung der Atemwege wurde erstmals 1858 von John Snow am Tier beschrieben. 1878 führte sie der schottische Chirurg William Macewen (Abb.: 1.-1) das erste Mal bei einem Menschen durch, damals unter Verwendung eines flexiblen Metalltubus [21] (Abb.: 1.-2). Joseph O'Dwyer gelang 1885 die erste Intubation mit einem kurzen Metalltubus [21].



Abb.: 1.-1: William Macewen [21]



Abb.: 1.-2: Intubationstuben nach William Macewen [21]

In den folgenden Jahren gewann die endotracheale Intubation zunehmend an Bedeutung. Zu Beginn des 20. Jahrhunderts hielt sie Einzug in Deutschland und begann sich Ende der 50er Jahre als eine Standardmethode zum Freihalten der Atemwege zu etablieren. Mit der Vereinfachung der Technik und der Etablierung eines arztgestützten Rettungsdienstsystems in Deutschland hielt die endotracheale Intubation auch Einzug in die präklinische Notfallmedizin.

Kontroll- und Monitoringverfahren bezüglich richtiger Tubuslage und Beatmung wurden notwendig. Gerade unter den erschwerten Bedingungen präklinischer Intubationen gilt die unentdeckte oesophageale Fehlintonation als eine seltene, aber folgenschwere Komplikation [13, 40, 79, 80]. Zusätzlich zu den nicht-apparativen klinischen Methoden der Evaluierung der Tubuslage (wie z.B. Auskultation und Thoraxexkursion) wurde in den letzten Jahren die Messung des endexpiratorischen Kohlendioxids (CO₂), die Kapnometrie, als technisches Monitoringverfahren entwickelt.

Anders als im klinischen Bereich anaesthesiologischer Intubationen, wo die Kapnometrie als Standardmonitoring eingesetzt wird [35], konnte sie sich in der präklinischen Notfallmedizin bisher nicht flächendeckend durchsetzen.

Studien, zur Evaluation des präklinischen Einsatzes der Kapnometrie wurden bis dato, im Gegensatz zu klinischen Studien [6, 13, 40, 47, 59, 77], nur vereinzelt durchgeführt [19, 60].

Die hier vorliegende Multicenterstudie verfolgte zwei Ziele:

Die Evaluation der Schwierigkeit präklinischer Intubation und Verifizierung der korrekten endotrachealen Tubuslage (Abb.: 1.-3) mit nicht-apparativen Methoden sowie die Untersuchung der Diagnosesicherheit portabler Kapnometrieeräte zur Verifizierung der endotrachealen Tubuslage.

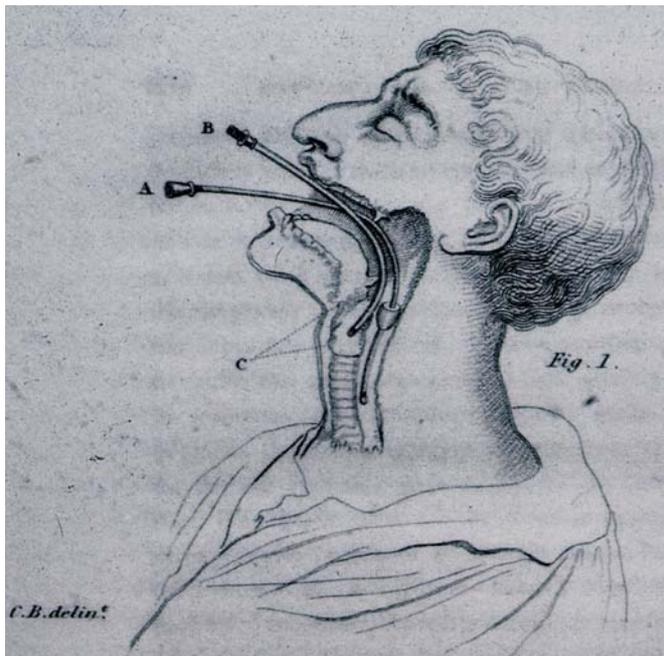


Abb.: 1.-3: Die endotracheale Tubuslage nach James Curry 1815 [21]

2. Studienziele

Ziel der Studie ist die Untersuchung der Diagnosesicherheit nicht-apparativer Methoden zur Verifizierung der Tubuslage nach präklinischer Intubation. In Korrelation hierzu, soll der standardisierte Einsatz von Kapnometriesystemen in der präklinischen Versorgung unter folgenden Fragestellungen evaluiert werden:

1. Wie sicher ist die präklinische Verifizierung der Tubuslage unter Zuhilfenahme nicht-apparativer Methoden?
2. Verbessert der präklinische Einsatz der Kapnometrie die Diagnosesicherheit der Tubuslage?
3. Wie sicher und praktikabel sind portable präklinische Kapnometriesysteme?

Im Verlauf der Studie wurde außerdem eine Evaluierung von Zeitintervallen zur präklinischen Versorgung, im Besonderen der präklinischen Intubation, durchgeführt.

3. Medizinische Grundlagen: Physiologie und Pathophysiologie zur endexpiratorischen CO₂-Messung

3.1. CO₂-Produktion im Gewebe und –Transport im Blut

Die einzelnen Zellen des Organismus benötigen zur Aufrechterhaltung ihrer Struktur, Funktionsbereitschaft und zur Durchführung ihrer spezifischen Aufgaben eine bestimmte Energiemenge. Unter physiologischen Bedingungen gewinnt die Zelle in Anwesenheit von Sauerstoff (O₂) ihre Energie durch den oxidativen Abbau von Kohlenhydraten, Eiweißen und Fetten [73]. Das dabei entstehende Kohlendioxid (CO₂) wird über die Blutbahn aus dem Gewebe zu der Lunge und den Nieren transportiert und dort eliminiert.

Der Transport von Kohlendioxid kann in drei Formen erfolgen:

Der größte Teil des anfallenden Kohlendioxids wird als Bikarbonat (HCO₃⁻) transportiert [73].



Beschleunigt durch das Enzym Carboanhydrase aus den Erythrozyten um den Faktor 1000 entsteht aus Wasser und Kohlendioxid Bikarbonat. Das Bikarbonat diffundiert im Austausch gegen Chlorid ins Plasma (**Hamburger Shift**). Die zurückbleibenden Wasserstoffionen werden durch Haemoglobin abgepuffert. In der Lunge erfolgt diese Reaktion in die entgegengesetzte Richtung. Bikarbonat wird aus CO₂ wieder freigesetzt.

Etwa 5% des anfallenden CO₂ wird in Carbamat umgewandelt [73].



Zusätzlich kann ein geringer Teil des anfallenden CO₂, auch in physikalisch gelöster Form, transportiert werden.

Diese verschiedenen Möglichkeiten des Transportes erklären, warum es für den CO₂-Transport keinen maximalen Wert gibt, bzw. warum die CO₂-Bindungskurve gegen unendlich strebt.

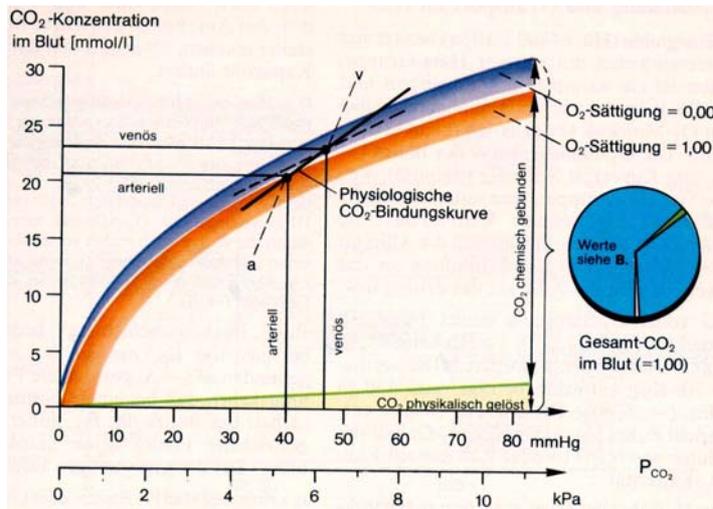


Abb.: 3.1.-1: Die CO₂-Bindungskurve [74]

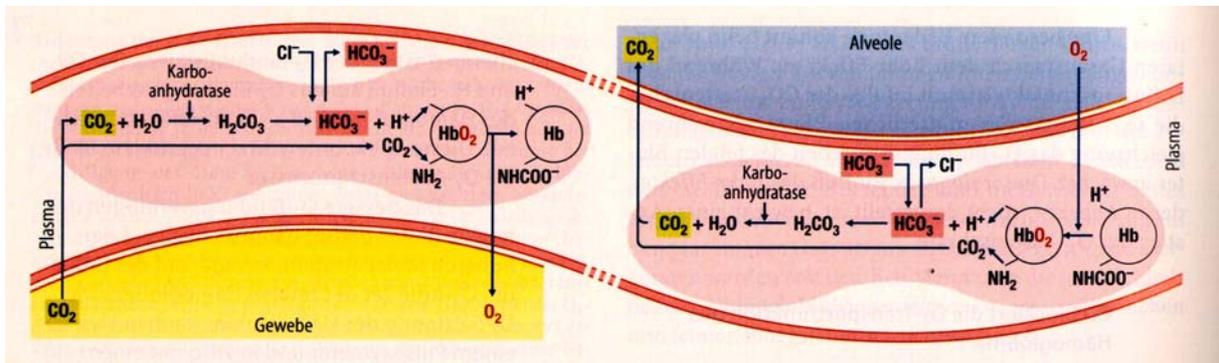


Abb.: 3.2.-2: Der CO₂-Transport im Blut [73]

3.2. Pulmonaler Gasaustausch

Der pulmonale Gasaustausch wird von den Einflußgrößen Ventilation, Perfusion und Diffusion bestimmt. In der Umgebungsluft sind ca. 21% Sauerstoff (O₂), 70% Stickstoff (N₂), 0,03% Kohlendioxid (CO₂) sowie einige Edelgase, in geringen Mengen, enthalten [74]. Der Sauerstoff, den der Organismus zur Durchführung seiner Stoffwechselfvorgänge benötigt, wird bei der Ventilation durch aktive Inspiration der Umgebungsluft dem Alveolarraum zugeführt. Hier findet die Diffusion von O₂ in die Blutbahn und von CO₂ aus der Blutbahn in die Alveole statt. Durch den arteriellen Schenkel der Perfusion gelangt der Sauerstoff aus der Lunge ins Gewebe und diffundiert dort gegen CO₂ in die Zelle. Das CO₂ gelangt dann über den venösen Schenkel der Perfusion in die Lunge und wird durch passive Expiration aus dem Körper eliminiert. Das Einatemvolumen ist größer als das Ausatemvolumen, da mehr O₂ eingeatmet als CO₂ ausgeatmet wird.

3.2.1. Ventilation

Der menschliche Organismus benötigt in Ruhe ein Atemminutenvolumen (V_E) von etwa 7,5 Liter. Dieses Atemminutenvolumen errechnet sich, aus dem Atemzugvolumen (AZV) und der Atemfrequenz pro Minute (f) [73].

$$V_E = AZV \times f$$

Das Atemzugvolumen setzt sich zusammen aus der alveolären Ventilation (V_A) und der Totraumventilation (V_D) [73].

$$V_E = V_D + V_A$$

Der Totraum [74] besteht aus einem anatomischen (V_{Da}) und einem physiologischen (V_{Dp}) Anteil.

$$V_D = V_{Da} + V_{Dp}$$

Mundhöhle, Trachea, Hauptbronchien und Bronchiolen bis hin zum Bronchiolus terminalis bilden den anatomischen Totraum. Er umfaßt ein relativ konstantes Volumen, das im Sitzen etwa dem doppelten Körpergewicht in ml, beim Erwachsenen ca. 150-180 ml entspricht. Dieses Volumen nimmt bei tiefen Atemzügen zu, da durch die Thoraxerweiterung auch Bronchien und Bronchiolen gedehnt werden [73]. Hierzu addiert sich der physiologische Totraum, der je nach Zustand der Lunge, differieren kann.

Werden einige Lungenareale schlechter oder gar nicht perfundiert, die dazugehörigen Alveolen allerdings belüftet, findet kein Gasaustausch statt. Diese Bereiche werden als physiologische Shunts bezeichnet und stellen den physiologischen Totraum dar.

Die Totraumventilation pro Zeiteinheit errechnet sich aus der Totraumventilation und der Atemfrequenz pro Minute [74].

$$\dot{V}_D = V_D \times f$$

Mit alveolärer Ventilation bezeichnet man jenes Volumen, das auch wirklich bei der Einatmung in eine perfundierte Alveole gelangt und damit am Gasaustausch teilnimmt.

Dieser Bereich besteht aus den perfundierten Arealen des Bronchiolus respiratorius bis hin zum Saccus alveolaris.

Die alveoläre Ventilation pro Zeiteinheit errechnet sich aus alveolärer Ventilation und der Atemfrequenz pro Minute [74].

$$\dot{V}_A = V_A \times f$$

Die Ventilation der Lunge ist nicht immer in allen Lungenabschnitten gleich. So sind im Sitzen die cranialen, im Liegen die ventralen Lungenabschnitte besser belüftet. Diese Phänomene gelten für die Ventilation in Ruhe. Wird im Organismus der Stoffwechsel angeregt, benötigen die arbeitenden Organsysteme vermehrt Sauerstoff, um Leistung zu erbringen. Durch die Erhöhung des Atemminutenvolumens versucht der Organismus diesem gesteigerten Bedarf an Sauerstoff gerecht zu werden.

Es gibt zwei Möglichkeiten für den Organismus sein Atemminutenvolumen zu steigern. Er versucht dies durch eine Steigerung des AZV und/oder durch die Erhöhung der Atemfrequenz.

Wird das Atemzugvolumen erhöht, gelangt die zusätzlich vermehrt eingeatmete Luft in vorher nicht oder schlechter ventilierte Alveolen und nimmt dort aktiv am Gasaustausch teil. Kommt es nur zu einer Steigerung der Atemfrequenz, erhöht sich dadurch vor allem die Totraumventilation. Das vermehrt eingeatmete Volumen verschiebt sich überwiegend in den oberen Atemwegen und nimmt nur in geringem Umfang am Gasaustausch teil.

Pathologische Veränderungen der physiologischen Atemfrequenz werden als Hyperventilation (f steigt) oder Hypoventilation (f sinkt) bezeichnet.

Die Hyperventilation entsteht beispielsweise aus einer psychischen Belastungssituation des Patienten heraus. Es kommt zu einer verstärkten Abatmung von CO_2 , was sich in einem verminderten endexpiratorischen CO_2 -Gehalt der Atemluft reguliert. Durch das Fehlen saurer Äquivalente kommt es zu einer relativen respiratorischen Alkalose.

Die Hypoventilation kann akut oder chronisch auftreten. Akute Ursachen sind z.B. die Hypoventilation aufgrund eines Atemstillstandes, einer zerebralen Schädigung (Blutung oder Trauma), einer metabolischen Entgleisung (z.B. Coma diabeticum, Coma hepaticum) und der Verlegung der Atemwege durch z.B. eine Fremdkörperaspiration. Chronische Ursachen sind z.B. eine chronisch obstruktive Lungenerkrankung (COPD) wie das Asthma bronchiale.

Bei der Hypoventilation kommt es zu einer verminderten Aufnahme von Sauerstoff und einer

verminderten Abgabe von CO₂. Dadurch kommt es im arteriellen Blut zum Absinken des pO₂ und zu einem Anstieg des pCO₂ auf Werte oberhalb der Normwerte (45-50 Millimeter Quecksilbersäule (mmHg)). Gemäß der Henderson-Hasselbach-Gleichung [74] führt diese Erhöhung des pCO₂ zur Verminderung des pH auf Werte unter 7,35 und damit zur respiratorischen Azidose.

Erst nach länger bestehender Azidose verändert sich das Bikarbonat und der Base Excess (BE) als Zeichen der metabolischen Kompensation der Azidose.

$$\text{pH} = \text{pK}' + \log(\text{CO}_2(\text{mmol/l Plasma}) / 0,0308 \times \text{pCO}_2(\text{mmHg}) - 1)$$

pK' = negativer dekadischer Logarithmus der Massenwirkungskonstant K. Im Bikarbonat-Kohlensäuresystem ist der pK' = 6,1

3.2.2. Perfusion

Die Perfusion der Lunge ist abhängig vom Herz-Zeit-Volumen des Körpers. Durch die parallele Anordnung des Körper- und des Lungenkreislaufes muß nahezu das gesamte Herz-Zeit-Volumen die Lungenstrombahn passieren. Das Blutvolumen in der Lunge beträgt etwa 0,1 – 1 Liter, wovon sich ca. 50 % in den Lungenvenen befindet. Das gesamte Kapillarovolumen der Lunge beträgt etwa 75 ml. In der Lunge herrscht ein mittlerer Perfusionsdruck von ca. 15 mmHg.

Die Perfusion der Lunge ist nicht immer in allen Lungenabschnitten gleich:

Bei liegender oder sitzender Haltung sind aufgrund des hydrostatischen Druckes in Ruhe die basalen Lungenabschnitte besser perfundiert als die cranialen Abschnitte. Entsteht allerdings ein erhöhter Sauerstoffbedarf, so werden die cranialen Areale zusätzlich perfundiert, um die Gasaustauschfläche zu vergrößern. Diese minderperfundierten Lungenareale werden als physiologische Shunts bezeichnet. Bei einer Steigerung des Herzzeitvolumens kommt es beim sogenannten Lungengesunden zur Eröffnung weiterer Gefäße (sog. Rekrutment) und damit zu einer Senkung des pulmonalen Strömungswiderstandes.

Die Perfusion der Lunge kann durch einen Herz-Kreislauf-Stillstand, Lungenembolie, Herzinfarkt und andere Faktoren beeinträchtigt werden.

Im ungünstigsten Fall findet aufgrund dieser Faktoren eine stark verminderte oder gar keine Perfusion der Lunge mehr statt.

Ein Abfall des alveolären pO_2 führt zu einer Kontraktion der glatten Muskulatur im Bereich präkapillärer Gefäße (Euler-Liljestrand-Mechanismus) [73, 74]. Es folgt daraus, daß weniger gut belüftete Alveolen auch schlechter perfundiert werden. Diese hypoxische Vasokonstriktion ist ein Schutzmechanismus des Körpers. Nachteilig wirkt er sich allerdings bei Bronchialerkrankungen und bei niedriger O_2 -Spannung in der Umgebungsluft aus. In diesen Fällen werden belüftete Alveolen von der Perfusion wegen zu geringer O_2 -Spannung ausgeschlossen, obwohl hier theoretisch ein Gasaustausch möglich wäre.

3.2.3. Diffusion

Die Hauptaufgabe der Lunge ist der Gasaustausch. Während einer Kontaktzeit von ca. 0,75 Sekunden zwischen Alveole und Erythrozyt kommt es zur Diffusion von Sauerstoff (O_2) aus der Alveole ins Blut und von Kohlendioxid (CO_2) aus dem Blut in die Alveole. Der Diffusionsstrom beider Gase ist, nach dem ersten Fick'schen Diffusionsgesetz, abhängig von Fläche (F) und Dicke (d) der Diffusionsschicht, dem Partialdruckunterschied (ΔP) und dem Kroghschen Diffusionskoeffizienten (K) [74].

$$M = K \times F / d \times \Delta P$$

Die Diffusionsfläche beträgt, beim sogenannten Lungengesunden, mit etwa 300 Millionen Alveolen 70 m^2 . Eine Verminderung der Alveolenanzahl, wie z.B. beim Lungenemphysem, oder der Lungenstrombahn, wie z.B. bei der Lungenembolie, führt daher zu einer Einschränkung des Diffusionsstroms mit Auswirkungen auf die Gasverteilung in der Expirationsluft.

Die Dicke der Diffusionsschicht setzt sich aus Alveolarepithel, Interstitium, Kapillarendothel, Plasma, Erythrozytenmembran und Erythrozyteninneren zusammen. Sie beträgt in etwa $1 - 2 \mu\text{m}$.

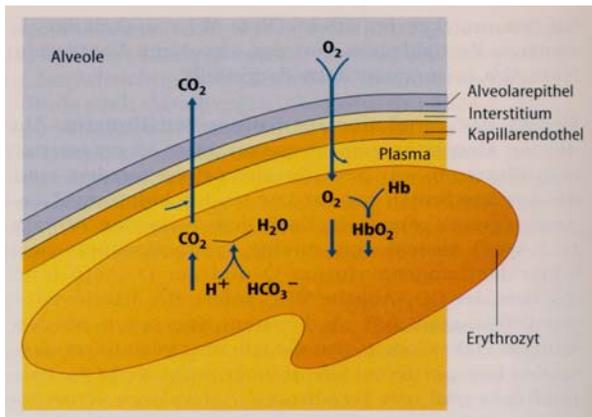


Abb.: 3.2.3.-1: Diffusion von CO₂ und O₂ in der Lunge [73]

Krankheiten, die zu einer Zunahme der Dicke der Diffusionsschicht führen, wie z.B. bei interstitiellen Pneumonien, können den Gasaustausch erheblich behindern.

Während der mittlere O₂-Partialdruck in der Alveolen 13,33 kPa (100 mmHg) beträgt, herrscht im venösen Blut der Arteria pulmonalis nur noch ein O₂-Partialdruck von 5,33 kPa (40 mmHg). Der CO₂-Partialdruck verhält sich entgegengesetzt und beträgt im venösen Blut der Arteria pulmonalis 6,13 kPa (46 mmHg) und in der Alveole 5,33 kPa (40 mmHg). Es besteht eine O₂-Partialdruckdifferenz von 8 kPa (60 mmHg) in die eine Richtung, und für CO₂ eine Partialdruckdifferenz von 0,8 kPa (6 mmHg) in die entgegengesetzte Richtung. Das es trotz der unterschiedlich hohen Partialdruckdifferenzen für O₂ und CO₂ in der gleichen Zeit zu deren Ausgleich kommt, ist bedingt durch den Kroghschen Diffusionskoeffizient (K = Diffusionsleitfähigkeit).

Diese Materialkonstante, die von Art und Größe des diffundierenden Teilchens, vom Diffusionsmedium und der Temperatur abhängig ist, ist für CO₂ (K_{CO2}) 23 mal größer als für O₂ (K_{O2}) [74].

$$K_{CO_2} = K_{O_2} \times 23$$

Diese Tatsache macht es möglich, daß CO₂ trotz der geringeren Partialdruckdifferenz, in der gleichen Zeit, vom Erythrozyten durch die Alveolarmembran in die Alveole diffundieren kann.

3.3. Ventilations- /Perfusions-Verhältnis

Wie in den Unterpunkten Ventilation und Perfusion bereits erwähnt (siehe 3.1 und 3.2), herrscht in Ruhe ein sich innerhalb der Lungenareale veränderndes Ventilations-/Perfusionsverhältnis. Bei zunehmendem Lungenvolumen kommt es zunächst zum Absinken des Strömungswiderstandes und im weiteren Verlauf zu dessen erneuter Zunahme. Daraus folgt, daß der Widerstand der Gefäße außerhalb der Alveole mit zunehmenden Volumen abnimmt, da der interstitielle Druck im Gewebe aufgrund seiner elastischen Eigenschaften mit Ausdehnung des Lungenvolumens abnimmt.

Die Perfusion der Lunge nimmt von der Spitze zur Basis hin mehr zu, als die Ventilation in der gleichen Richtung abnimmt. Das Ventilations-/Perfusionsverhältnis der Lunge verteilt sich wie folgt über die verschiedenen Lungenareale (Modell nach West) [74].

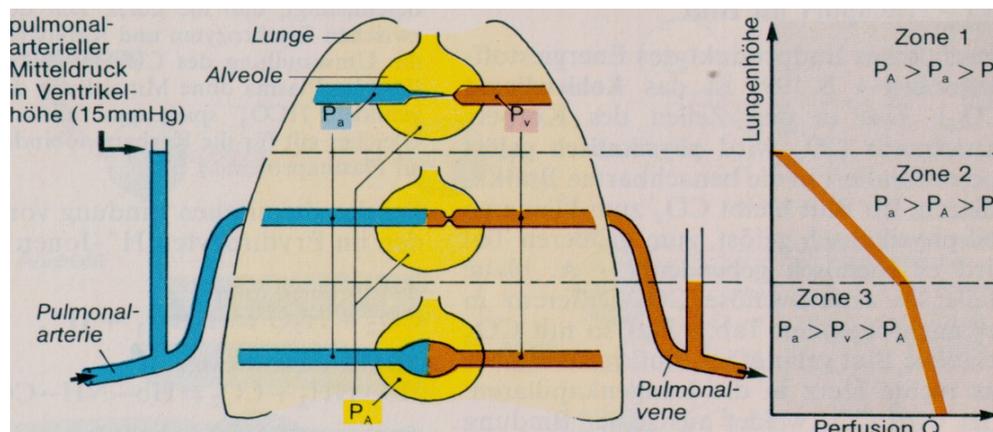


Abb.: 3.3.-1: Modell nach West [74]

- Zone I: Der Perfusionsdruck ist kleiner als der Alveolardruck => die Kapillare wird nicht mehr perfundiert
- Zone II: Der Alveolardruck liegt zwischen dem arteriellen und dem venösen Perfusionsdruck => die Kapillare wird in der Systole perfundiert
- Zone III: Der Alveolardruck ist geringer als der arterielle und der venöse Perfusionsdruck => die Perfusion ist vom Alveolardruck unabhängig.

In Ruhe beträgt das durchschnittliche Ventilations-/Perfusionsverhältnis etwa 0,8 – 0,85. Bei Belastung steigt der Quotient an, da die Ventilation mehr als die Perfusion gesteigert wird. Findet in der Lunge keine Ventilation bei erhaltener Perfusion mehr statt (z.B. bei totaler Atemwegsverlegung aufgrund einer Bolusaspiration), wird der Quotient 0. Im Falle

vorhandener Ventilation, bei aufgehobener Perfusion (z.B. bei fulminanter Lungenembolie) strebt dieser Wert gegen unendlich (vgl. Tab. 3.3.-1).

Tabelle 3.3.-1: Veränderungen V/Q-Verhältnis [15]

Ursache	Art. pO ₂	Art. pCO ₂	Alveo.-art.-Gradient	
			O ₂	CO ₂
Physiologisch	Normal	Normal	∅	∅
Verteilungsstörung (primär ventilatorisch)	Sinkt	Steigt	+	+
Verteilungsstörung (primär zirkulatorisch)	Sinkt	Steigt	+	+
Shunts (z.B. Atelektase)	Sinkt	Steigt (n)	+	+
Totraumventilation	Sinkt	Steigt	+	+
Diffusionsstörung	Sinkt	Normal	+	∅
Globale Hypoventilation	Sinkt	Steigt	∅	∅

3.4. Zusammenhang zwischen arteriellem und endexpiratorischen CO₂-Partialdruck

Aufgrund verschiedener physiologischer Vorgänge im Körper entspricht der CO₂-Gehalt des arteriellen Blutes (p_aCO₂) nicht genau dem endexpiratorischen CO₂-Wert (etpCO₂). Der arterielle pCO₂ entspricht dem endexpiratorischen CO₂-Gehalt nur, wenn die Perfusion gleich der Ventilation ist. Diese beiden Werte stimmen nur im idealisierten Gedankenmodell überein. Der Unterschied beträgt beim sogenannten Lungengesunden ca. 3 - 5 mmHg. In diesem Zustand kommt es bei der Diffusion zu einem vollständigen Partialdruckausgleich.

Zu einer Erhöhung der arterio-endexpiratorischen CO₂-Differenz führt die Vergrößerung des alveolären Totraums, ein Abfall des Ventilations-/Perfusionsverhältnisses, Rechts-Links-Shunts und Veränderungen im Inspirations-/Expirationsverhältnis zu Gunsten der Expiration.

Zu einem Abfall der arterio-endexpiratorischen CO₂-Differenz kommt es bei einer Verminderung des alveolären Totraums, einer Erhöhung des Atemminutenvolumens sowie bei einer Verschiebung des Inspirations-/Expirationsverhältnis zu Gunsten der Inspiration.

Auch pathophysiologische Parameter haben Einfluß auf die arterio-endexpiratorische CO₂-Differenz.

Frei und Konrad [31] konnten nachweisen, daß eine vorbestehende Lungenfunktionsstörung diese Differenz deutlich erhöhen kann. Auch Alter und Körpergewicht verändern die arterio-endexpiratorische CO₂-Differenz.

Im Gegensatz zu einer Studie von Ensle 1996 [30] konnten Raemer und Catalang [65] nachweisen, daß es keinen festen Zusammenhang zwischen dem etpCO₂ und dem p_aCO₂ gibt.

3.5. Endexpiratorische CO₂-Messung

3.5.1. Grundlagen der Kapnometrie

Der Begriff Kapnometrie leitet sich vom griechischen Wort „Capnos“ = Rauch ab. Die Endung „-metrie“ bedeutet Messung.

Im folgenden sind die wichtigsten Grundlagen der Kapnometrie/Kapnographie erklärt [11, 16, 20, 50, 66]:

Grundsätzlich wird mit der Kapnometrie der Kohlendioxidgehalt der Atemluft inspiratorisch und expiratorisch gemessen. Das Ergebnis der Messung kann in zwei unterschiedlichen Einheiten angegeben werden.

Wird der endexpiratorische CO₂-Wert als Absolutwert der Konzentration angegeben, spricht man vom etCO₂-Wert. Häufig aber wird er als Partialdruck des Gasgemisches nach dem Gasgesetz von Dalton angegeben. Dieser Wert wird als etpCO₂-Wert bezeichnet. Der etpCO₂-Wert muß allerdings unter Berücksichtigung der Umgebungswerte für Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Atmosphärendruck gesehen und interpretiert werden.

Das Gasgesetz nach Dalton:

Die Summe der Partialdrücke der Einzelgase ist gleich dem Gesamtgasdruck des Gasgemisches [73].

$$p_B = p_A + p_B + p_C + \dots + p_{H_2O}$$

Dieses Gesetz, beschreibt das Verhalten von Gasen in einem Gasgemisch. Der Partialdruck des einzelnen Gases, ergibt sich als Produkt des prozentualen Anteils des Gases am Gesamtgasgemisch und dem Gesamtgasdruck. Unter normalen Bedingungen, kann der Gesamtgasdruck dem atmosphärischen Druck (p_B) gleichgesetzt werden. Der Partialdruck

kann aus dem Gesamtgasdruck und dem fraktionellen Anteil bzw. der Konzentration des Gases berechnet werden [73].

$$P_{\text{Einzelgas}}(\text{mmHg}) = \text{Anteil}_{\text{Einzelgas}}(\%) \times p_{\text{B}}(\text{mmHg})$$

Da die Atemluft im Respirationstrakt angefeuchtet wird, muß zur korrekten Ermittlung des Partialdruckes eines Einzelgases im Gasgemisch, der Wasserdampfpartialdruck vom atmosphärischen Gesamtgasdruck abgezogen werden. Dieser Wasserdampfdruck ist direkt abhängig von der Temperatur und nicht vom Barometerdruck. Er beträgt bei einer Körpertemperatur von 37°C ca. 47 mmHg.

Unterschiedliche Meßbedingungen:

Das allgemeine Gasgesetz beschreibt die Abhängigkeit eines Gasvolumens (V) von den Parametern Druck (p), der Anzahl der Gasmoleküle (n), der allgemeinen Gaskonstante (R) und der Temperatur (T) [73].

$$V = n \times R \times T / p$$

Um ein Gasvolumen richtig angeben zu können, müssen die jeweils verwendeten Meßbedingungen bekannt sein. Folgende Meßbedingungen können unterschieden werden:

- **STPD-Bedingungen:** (Standard temperature, pressure, dry).

Dem Meßvorgang liegen normale physikalische Umgebungswerte zu Grunde:

$$T=273 \text{ K} = 0^{\circ}\text{C}, p=760 \text{ mmHg}, p_{\text{H}_2\text{O}}=0$$

- **BTPS-Bedingungen:** (Body temperature, pressure, saturated).

Die Meßbedingungen entsprechen den Bedingungen, die in der Lunge vorgefunden werden: $T=310 \text{ K} = 37^{\circ}\text{C}$, $p=$ aktueller Barometerdruck, $p_{\text{H}_2\text{O}}=47 \text{ mmHg}$

- **ATPD-Bedingungen:** (Ambient temperature, pressure, dry).

Hierbei handelt es sich um die aktuellen Umgebungsbedingungen außerhalb des Körpers: $T = 273 \text{ K} \pm$ Umgebungstemperatur = $0^{\circ}\text{C} \pm$ Umgebungstemperatur, $p =$ aktueller Luftdruck und $p_{\text{H}_2\text{O}} = 47 \text{ mmHg}$ bei Expirationsluft, $p_{\text{H}_2\text{O}} = 0$ bei Inspirationsluft

Die heutigen Kapnometrieeräte geben das Messergebnis (etpCO₂-Werte) entweder in mmHg oder in Vol% an. Als Normalwerte für den endexpiratorischen CO₂-Wert gelten 35-45 mmHg bzw. 3-5 Vol%.

Die verwendeten Einheiten sind über folgende Korrelationen miteinander verbunden:

$$\mathbf{1 \text{ Vol\%} = 7 \text{ mmHg}}$$

$$\mathbf{1 \text{ mmHg} = 0,15 \text{ Vol\%}}$$

Durch die alveoläre Gasgleichung ist es möglich, die alveolären Partialdrücke der Gase zu berechnen.

Die O₂-Aufnahme des Blutes (V_{O2}) errechnet sich aus der während der Inspiration zugeführten O₂ Menge (FiO₂ x V_A) und der expiratorisch abgeführten O₂-Menge [73].

$$\mathbf{V_{O_2} = F_{iO_2} \times V_A - F_{aO_2} \times V_A}$$

Die Berechnung der CO₂-Abgabe aus dem Blut erfolgt nur über die CO₂-Menge, die expiratorisch aus der Alveole entfernt wird, da nur geringe Mengen von CO₂ in der Inspirationsluft enthalten sind [73].

$$\mathbf{V_{CO_2} = F_{aCO_2} \times V_A}$$

3.5.2. Grundlagen der Kapnographie

Wird der Verlauf des CO₂-Gehaltes der Atemluft während des Atemzyklus in Form einer Kurve in Abhängigkeit der Zeit dargestellt, bezeichnet man das als Kapnographie, die aufgezeichnete Kurve als Kapnogramm. Die Endung „-graphie“ leitet sich von dem griechischen „graphein“ = schreiben bzw. „-gamma“ = etwas Geschriebenes ab.

Das physiologische Kapnogramm setzt sich aus verschiedenen Phasen zusammen:

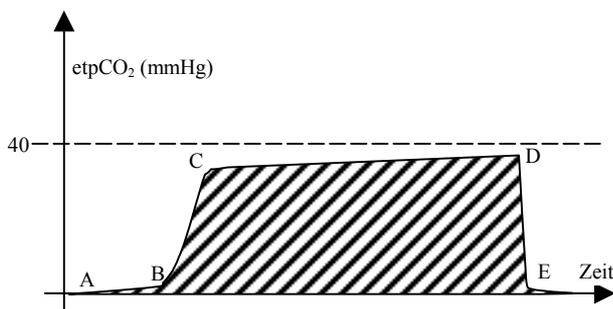


Abb.: 3.5.2.-1: Physiologisches Kapnogramm [15]

- Phase I: Inspiratorische Nulllinie (vgl. Strecke A-B)
- Phase II: Beginn der Expiration,
Anstieg der CO₂-Kurve durch Abatmung von CO₂-haltiger Luft aus den großen Atemwegen (Anstiegsphase) (vgl. Strecke B-C)
- Phase III: Abatmung von CO₂-haltiger Alveolarluft (Plateauphase) (vgl. Strecke C-D)
- Phase IV: Inspiratorischer Abfall (vgl. Strecke D-E).

Der endexpiratorische CO₂-Wert entspricht dem Maximalwert der Kurve am Ende der Phase III. Er ist nur zu verwenden, wenn die Kurve ein regelrechtes Plateau aufweist.

Beurteilung des Kapnogramms:

Beurteilungskriterien sind unter anderem Höhe, Frequenz, Rhythmus, Kurvenform und identifizierbare Basislinie.

Im Folgenden sind kurz wichtige Punkte zur Beurteilung eines Kapnogramms aufgelistet:

- Werden Atemzüge registriert?
 - besteht eine Ventilation?
 - Atemfrequenz? Rhythmus? Atempausen?

- Stimmt die Grundlinie mit der Nulllinie überein?
 - *Anhalt für inspiratorisches CO₂*
 - *Rückatmung des Patienten*
- Anstiegsphase: steil? Verzögert?
 - *Verzögerte Ausatmung durch Obstruktion*
- Plateauphase: horizontale Ausrichtung?
 - *Hinweise auf ungleichmäßige alveoläre Expiration*
- Plateauphase: Inspiratorische Einziehungen?
 - *Hinweise auf inspiratorische Anstrengungen des Patienten*
- Inspirationsbeginn: Schlagartig? Verzögert?
 - *verzögerte Inspirationsphase*
- Endexpiratorischer CO₂-Wert: Größe?
 - *Hypoventilation, Hyperventilation*

Mit Hilfe dieser Angaben ist es möglich pathologische Veränderungen des Kapnogramms schnell und zuverlässig zu erfassen und zu interpretieren.

Kapnometrisch bestimmte etpCO₂-Werte spiegeln den alveolären CO₂-Wert nur dann annähernd wieder, wenn die Messung am Ende einer horizontal verlaufenden Plateauphase erfolgt. Das Vorliegen einer horizontalen Plateauphase repräsentiert die Abatmung von Alveolarluft und stellt damit die Messung des CO₂-Wertes der Alveolarluft sicher. Wenn diese Voraussetzung nicht gegeben ist, zeigt der gemessene endexpiratorische CO₂-Wert den CO₂-Wert der Alveolen an, die sich als letzte in der Expirationsphase entleeren.

Beim Fehlen des kapnographischen Plateaus, sollte die Interpretation des endexpiratorischen CO₂-Wertes mit Vorsicht erfolgen, da unter Umständen nicht die Messung des CO₂-Gehaltes der Alveolarluft, sondern die des Totraums erfolgt. Sicherheit über den exakten CO₂-Gehalt im Blut, sowie über den Säure-Basen-Haushalt wird nur durch die arterielle Blutgasanalyse erreicht. Da diese in der präklinischen Notfallmedizin nur begrenzt möglich ist, können die etpCO₂-Werte nur in ihrem Verlauf beurteilt werden. Absolutwerte besitzen eine eingeschränkte Aussagekraft.

Das Kapnogramm ermöglicht keine Aussagen über den CO₂-Flow, da dieses nur Angaben über die CO₂-Konzentration zu einem bestimmten Zeitpunkt liefert [12].

3.5.3. Messverfahren der Kapnometrie

Infrarotspektroskopie

Die Grundlage der Infrarotspektroskopie bildet die Veröffentlichung des deutschen Physikers Luft von 1943 [54]: „Über eine neue Methode der registrierenden Gasanalyse mit Hilfe der Absorption ultraroter Strahlen ohne spektrale Zerlegung“.

Das CO₂-Molekül, das durch seine Mehratomigkeit asymmetrisch aufgebaut ist, absorbiert Infrarotlicht mit einer Wellenlänge von 426 nm. Auf dieser Tatsache beruht die Methode der Infrarotspektroskopie.

Eine Lichtquelle sendet Infrarotlicht der Wellenlänge 426 nm aus. Auf seinem Weg durch die Meßkammer, trifft das Licht auf das zu messende Gasgemisch. Die hierbei absorbierte Lichtmenge ist proportional zur Anzahl der in der Gasprobe enthaltenen CO₂-Moleküle (Lambert-Beersches-Gesetz). Ein Detektor am anderen Ende der Meßkammer registriert das nicht absorbierte Licht und verwandelt dieses in ein elektrisches Signal.

(Eventuelle gerätebedingte Lichtabschwächungen gehen in die Gerätekonstante mit ein.)

Die Anzeige der CO₂-Konzentration erfolgt meist in Millimeter Quecksilbersäule (mmHg) als Partialdruck des Gasgemisches gemäß dem Gasgesetz nach Dalton. Gemessen wird die Summe der absorbierten CO₂-Moleküle. Bei der Umrechnung müssen die Umgebungswerte (siehe 3.5.1.) berücksichtigt werden.

Fehlermöglichkeit:

Andere mehratomige Moleküle, die Absorptionsspektren im Bereich derer des CO₂ besitzen, können zu Fehlmessungen führen. Diese sind z.B. Lachgas (N₂O) mit einem Absorptionsspektrum im Bereich von 455 nm und volatile Anästhetika z.B. im Bereich von 300 nm.

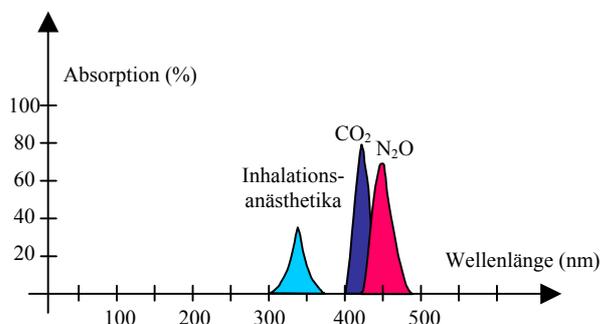


Abb.: 3.5.3.-1: Absorptionsspektren wichtiger Gase [15]

Obwohl O_2 und N_2 kein Licht im Infrarotbereich absorbieren, können auch sie zu Meßungenauigkeiten führen. Bei einem hohen pO_2 -Wert kommt es zu einer Verbreiterung des Absorptionsspektrums von CO_2 (pressure broadening oder collision broadening). Bei einer Grundkalibrierung des Gerätes gegen ein Gemisch aus CO_2 , O_2 und N_2 kann es im Falle der Beatmung mit 100% Sauerstoff zu einer Verfälschung des endexpiratorischen CO_2 -Wertes kommen. Die Geräte, die Verwendung in der Notfallmedizin finden, werden vom Hersteller in einer O_2 -Umgebung kalibriert.

Farbumschlag eines chemischen Indikators

Der Farbumschlag eines chemischen Indikators beruht auf einer pH-Änderung, hervorgerufen durch die Anwesenheit von CO_2 in der Atemluft. Der Indikator besitzt die Möglichkeit zwischen zwei verschiedenen Farben zu wechseln, und deren Zwischenstufen anzuzeigen. Quartenäre Ammoniumverbindungen sind die Grundlage der neuen sogenannten Colibri®-Technologie. Durch ihren hydrophoben Charakter und ihre Wassermoleküle sind sie ein effizienter Phasen-Transfer-Katalysator. Sie vermindern die Oberflächenspannung und erleichtern dadurch die Penetration des CO_2 in den Indikator-komplex. Die Anwesenheit eines hydrophoben Surfactant als zusätzliches Lösungsmittel, beschleunigt diesen Vorgang. Der Aufbau des Indikators ähnelt dem Aufbau einer Mizelle (Abb.3.5.3.-2).

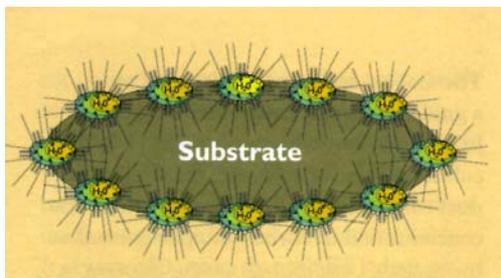


Abb.: 3.5.3.-2: Aufbau des Colibri™-Indikators [25]

Die hydrophoben Anteile, die quartenäre Ammoniumverbindungen und das Surfactant schließen den wässrigen Anteil des Indikator-komplexes ein. Sie können leicht von CO_2 in beide Richtungen passiert werden. Ihre große Oberfläche bietet eine breite Reaktionsfläche für das in der Atemluft enthaltene CO_2 . Durch die hydrophobe Außenstruktur ist der Komplex wasserunlöslich und kann damit auch im feuchten Atemmilieu längere Zeit verwendet werden. Die einfache Passage der Außenschicht ermöglicht den Farbumschlag mit jedem Atemzug bis hin zu 50 Atemzügen pro Minute.

Diese Technologie reagiert schnell auf eine Änderung des CO_2 in der Atemluft [32]. Auch

konnte nachgewiesen werden, daß Wasserdampf oder Narkosegase keinen Effekt auf die Funktionsfähigkeit des Indikators haben. Der Indikator ist bis zu 24 h einsatzfähig.

Der Farbumschlag reicht von blau (ca. 0,5 Vol% CO₂), dunkelgrün (ca. 1,0 Vol%CO₂), über hellgrün (ca., 2,0 Vol% CO₂) bis gelb (ca. 4,0 Vol% CO₂).

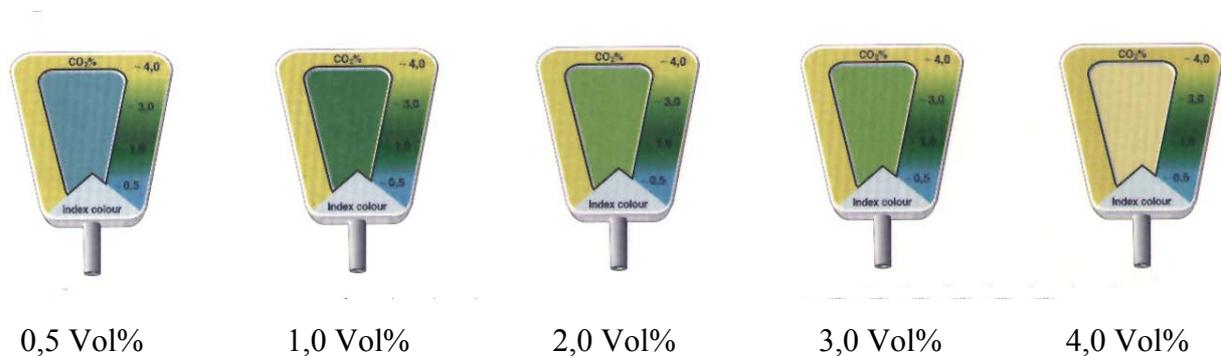


Abb.: 3.5.3.-3: Farbumschlag eines chemischen Indikators [25]

Massenspektrometrie

Die Gasprobe wird in einer Vakuum-Messkammer elektrisch ionisiert und durchläuft dann ein Magnetfeld. Dabei kommt es zum Auftrennen der Gasprobe nach dem jeweiligen Molekulargewicht. Diese Trennung beruht darauf, daß unterschiedliche Molekülmassen zu unterschiedlichen Ablenkwinkeln im Magnetfeld führen. Die verschiedenen Ablenkwinkel werden vom Detektor erfasst und ausgewertet.

Vorteil dieser Meßmethode ist die hohe Sensitivität und Spezifität, Nachteil dieser Methode ist, daß die Geräte beim jetzigen Entwicklungsstand noch zu groß, zu unhandlich und deshalb präklinisch noch nicht anwendbar sind.

Ramanspektrometrie

Durch die Absorption von Licht verändert sich der physikalische Energiezustand eines Moleküls. Dies kann, bei einem bestimmten Anteil von Gasmolekülen, zu einem instabilen physikalischen Energiezustand führen. Die Gasmoleküle geben daraufhin ihre überschüssige Energie sofort wieder ab. Diese Energieabgabe wird als sogenannte Ramanstreuung bezeichnet. Überwachen hochspezialisierte Detektoren diese Streuung, kann daraus der Partialdruck des entsprechenden Gases ermittelt werden.

Als Lichtquelle für diese Methode dienen präzise Laser. Mit ihrer Genauigkeit reicht diese Methode an die der Massenspektrometrie heran und dient deshalb im Moment als Meßmethode im klinischen Forschungsbereich. Geräte, die für den klinischen oder präklinischen Einsatz geeignet sind, sind derzeit noch in der Entwicklungsphase.

Photoakustische Infrarotspektrometrie

Diese Methode beruht auf den Grundlagen der Infrarotspektrometrie. Hier werden die Energieänderung, der CO₂-Moleküle (hervorgerufen durch Druckänderungen des Gases nach dem Absorptionsvorgang) in Schallpulsationen umgesetzt. Diese Schallpulsationen werden durch Mikrophone erfasst. Die Größe der Schallpulsationen ist proportional zur Gaskonzentration im Gasgemisch. Diese Methode wurde in wenigen klinischen Geräten bereits verwirklicht.

Hauptstromverfahren

Beim Hauptstromverfahren, auch als „Mainstream-Kapnometrie“ oder „Inlineverfahren“ bezeichnet, wird der Meßsensor, bestehend aus Infrarotlicht oder einem chemischen Gemisch, Meßkammer und Detektor direkt in den Atemstrom des Patienten eingebracht. Dort wird, entweder spektrometrisch oder über einen Farbindikator der CO₂-Gehalt der Atemluft bestimmt.

Vorteile dieser Methode sind die verzögerungsfreie Darstellung des Meßergebnisses, kein Verlust von Atemvolumen und kein zusätzlicher Schlauch. Eine Kalibration gegen ein anderes Gas-Gasgemisch ist, bei diesem Verfahren, nicht notwendig.

Nachteil dieser Methode ist eine Vergrößerung des Totraums durch die Küvette. Beim Erwachsenen fällt diese Volumenzunahme nicht ins Gewicht, kann allerdings bei Kleinkindern zu einer erheblichen Behinderung der Ventilation führen. Neuere Sensoren, vor allem Farbindikatoren, können auf einen zusätzlichen Anschluß auf dem Luftfilter aufgeschraubt werden. Bei dieser Methode fällt die künstliche Totraumvergrößerung weg, da Atemwegsfilter heute bereits Standard sind. Ein weiterer Nachteil ist sicherlich die Beeinträchtigung des Meßergebnisses durch Blut, Schleim oder Erbrochenem in der Küvette. Dies kann weitgehendst mit der Anbringung der Küvette hinter dem Atemwegsfilter vermieden werden.

Durch die Anbringung des Meßsensors nahe am Patienten, kann es leichter zu Beschädigungen kommen, als bei Geräten mit einem, im Gehäuse eingebautem Meßsensor.

Nebenstromverfahren

Beim Nebenstromverfahren, auch „Sidestream-Kapnometrie“ oder „lateral sampling Methode“ bezeichnet, erfolgt die Messung des CO₂ nicht im Atemstrom. Über eine Küvette, die in den Atemstrom eingebracht wird, wird in regelmäßigen Abständen Atemluft zum Gerät hin abgesaugt. Um eine Verfälschung des Meßergebnisses durch Wasserdampf zu vermeiden,

wird die Gasprobe im Gerät durch einen Filter (sog. „Wasserfalle“) geleitet und dabei vollständig getrocknet.

Vorteil dieser Methode ist, daß der Meßsensor mit seinem Gewicht nicht direkt am Tubus hängt und damit auch nicht so leicht zu Dislokationen des Endotrachealtubus führen kann.

Der Nachteil besteht in einer verzögerten Darstellung der gemessenen Daten und dem Volumenleck im Atemsystem. Beim Erwachsenen mit einem AZV von ca. 7,5 l/min, führt dieser Volumenverlust von ca. 50 – 150 ml/min zu keinen Beatmungskomplikationen, kann aber bei Neugeborenen und kleinen Kindern doch zu einer merklichen Abnahme des Atemminutenvolumens führen. Eine begrenzte Kapazität des Filters, kann, bei längeren Messungen, trotzdem zu Verfälschungen des Ergebnisses durch Wasserdampf führen.

Tabelle 3.5.3.-1: Vergleich Hauptstrom- und Nebenstromverfahren [15]

	Hauptstromverfahren	Nebenstromverfahren
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> - verzögerungsfreie Darstellung von Meßergebnissen - kein Verlust von Atemvolumen - kein zusätzlicher Schlauch - keine Kalibration gegen ein anderes Gas-Gas-Gemisch nötig 	<ul style="list-style-type: none"> - kein zusätzliches Gewicht durch den Meßsensor am Tubus
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> - Vergrößerung des Totraums durch die Küvette - Beeinträchtigung des Messergebnisses durch Blut oder Schleim in der Küvette - Leichte Beschädigung des Meßsensors durch die nahe Anbringung am Patienten - Zusätzliches Gewicht am Tubus 	<ul style="list-style-type: none"> - verzögerte Darstellung des Meßergebnisses - Volumenleckage - Beeinträchtigung des Meßergebnisses durch Blut oder Schleim in der Küvette und Verstopfung des Probenschlauches

3.5.4. Einflußfaktoren auf den endexpiratorischen CO₂-Gehalt

Die wichtigsten physiologischen und pathophysiologischen Einflußfaktoren und deren Konsequenz für den endexpiratorischen CO₂-Gehalt der Atemluft sind kurz in der folgenden Tabelle dargestellt:

Tabelle 3.5.4.-1: Einflußfaktoren auf den etpCO₂ [15]

EtCO₂	Zirkulation (CO₂-Transport)	Ventilation (CO₂-Elimination)	Metabolismus (CO₂-Produktion)	Artefakte
Nimmt ab oder fehlt	HZV↓, Herzstillstand, Schock, Luftembolie, Thromboembolie	Atemstillstand, Obstruktion, Hyperventilation, inkorrekte Tubuslage, CO ₂ -Veränderungen in der Schwangerschaft	Hypothermie, Adrenalin	Schlauchleck, Gaszumischung, Eichfehler
Nimmt zu	Wiederherstellung der Zirkulation	Hypoventilation, Rückatmung	Hyperthermie, Muskelaktivität, Schmerzen, NaHCO ₃ , Krampfanfall	Wasser in der Analysekammer, Eichfehler

Ein weiterer Einfluß auf den etCO₂-Wert wurde von Bowie 1993 [17] in einer Tierversuchsstudie entdeckt. So zeigt sich, dass nach Einbringen eines PEEP-Ventils in den Atemstrom es kurzfristig zu einem Ausbleiben des Kapnogramms kommen kann. Dies wird wahrscheinlich durch eine plötzliche Verminderung des V_T bedingt. Nach etwa 6 Atemzügen normalisiert sich das Kapnogramm wieder.

Kapnometrie in der Luftrettung

Wie bereits erwähnt wurde, ist der CO₂-Partialdruck abhängig von Umgebungsbedingungen. In einer Studie von 1996 konnte Böbel [16] zeigen, daß die Kapnometriewerte während eines länger dauernden Steig- oder Sinkfluges, nur eingeschränkt verwendbar sind. Kurz nach Erreichen einer konstanten Flughöhe bzw. Barometerdruckhöhe zeigen alle in der Studie getesteten Geräte CO₂-Werte an, die im akzeptablen Bereich zu den CO₂-Sollwerten liegen.

Potentielle Fehlerquellen der Kapnometrie

Im Allgemeinen gilt der Nachweis von endexpiratorischen CO₂ in der Ausatemluft als eine sichere Methode zur Verifizierung der endotrachealen Tubuslage. Folgende Situationen können allerdings zu einer Fehlinterpretation des Meßwertes führen:

Gerätefehler

Wie bei jedem medizinischen Gerät, kann es auch bei der Kapnometrie zu Fehlmessungen kommen. Aus diesem Grund sollten die Meßwerte immer im Zusammenhang mit den

klinischen Parametern des Patienten gesehen und interpretiert werden. Eine Therapieentscheidung allein aufgrund eines Kapnometriewertes ist grundsätzlich kritisch zu sehen.

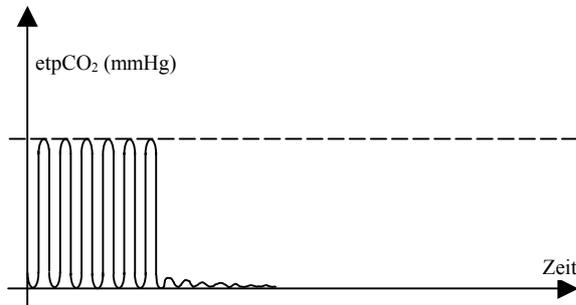


Abb.: 3.5.5.-1: mögliches Kapnogramm bei Gerätefehlern [15]

Der sogenannte „Cola-Effekt“

Sollte der Patient kurz vor dem Eintreten der Notfallsituation eine größere Menge kohlenstoffhaltiges Getränk konsumiert oder Antazida eingenommen haben, kann das Gerät CO₂-Werte anzeigen, auch wenn der Tubus im Oesophagus platziert ist. Das gleiche Phänomen kann auch nach forcierter Maskenbeatmung beobachtet werden [84]. Die Werte der Kapnometrieanzeige verringern sich allerdings deutlich bereits nach einigen wenigen Beatmungshüben, da das CO₂ durch die Belüftung des Magens „ausgewaschen“ wird.

In der Kapnometrie zeigt sich dies durch einen Abfall des CO₂-Wertes mit jedem Beatmungshub. Das dazugehörige Kapnogramm zeigt keine gradlinige Plateauphase, sondern einen Abfall der Kurve gegen die Nulllinie.

Dieser Einflussfaktor auf die Kapnometrie, ist bereits in mehreren Studien untersucht und obwohl auch Zweifel an seiner klinischen Relevanz geäußert worden sind [60], konnten doch einige Studien seine klinische Relevanz bestätigen [58, 62, 76, 77, 88].

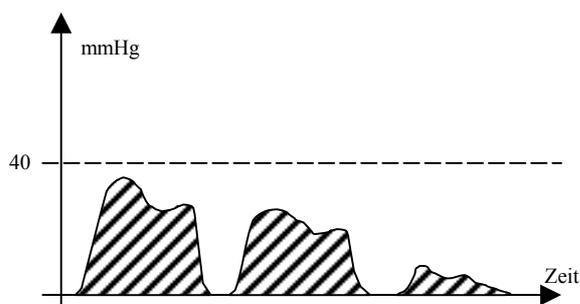


Abb.: 3.5.4.-2: mögliches Kapnogramm beim sogenannten Colaeffekt [75]

Herz-Kreislauf-Stillstand

Beim Herz-Kreislauf-Stillstand kommt es zu Veränderungen der Parameter Perfusion, Metabolismus und Ventilation, die alle Auswirkungen auf den CO₂-Gehalt der Ausatemluft haben können:

Durch den Stillstand des Herzens und damit der Perfusion wird kein O₂ mehr von der Lunge zu den Zellen und kein CO₂ mehr von den Zellen zur Lunge transportiert.

Solange noch genügend Sauerstoff in der Zelle vorhanden ist, läuft die aerobe Energiegewinnung unter Entstehung von CO₂ weiter. Ist dieser Vorrat erschöpft, versucht der Körper seine Energie auf anaerobem Wege, unter Entstehung von Laktat, zu gewinnen. In der Peripherie beginnend, kommt es im Verlauf zu einer Laktatazidose des Organismus. Dabei entsteht kein CO₂ mehr.

Durch die fehlende Ventilation kommt der Gasaustausch in der Lunge zum Erliegen. Das Blut kann nicht mehr mit Sauerstoff aufgesättigt und vom CO₂ „gereinigt“ werden.

Im Herz-Kreislauf-Stillstand wird mangels Entstehung, Transport und Abatmung von CO₂ kein CO₂ in der Kapnometrie angezeigt.

Durch künstliche Beatmung und Herz-Druck-Massage wird wieder CO₂ in die Lunge transportiert und abventiliert. Da aber zuerst die stehende Alveolarluft mit hoher CO₂-Konzentration abventiliert wird, sind die ersten etpCO₂-Werte zum Teil stark erhöht. Im weiteren Verlauf normalisieren sie sich wieder.

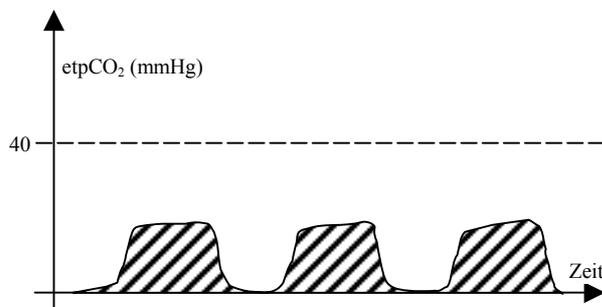


Abb.: 3.5.5.-2: mögliches Kapnogramm bei Reanimation [15]

Protrahierter Schockzustand

Bei einem manifesten Schockzustand, einem absoluten oder relativen Volumenmangel, kommt es zur Kreislaufzentralisation. Gehirn, Herz und Lunge werden bis zuletzt durchblutet. Sollte der Volumenmangel noch weiter zunehmen, kommt die Perfusion des Organismus zum Erliegen. Gehirn, Herz und Lunge werden somit auch nicht mehr versorgt.

In der Kapnometrie macht sich ein Schockzustand durch einen niedrigen oder gar keinen etpCO₂ bemerkbar. Durch das kleinere Gefäßbett bei der Zentralisation gelangt nur das CO₂,

das in den oben genannten Organen produziert wird, in die Lunge. In der Peripherie kommen der aerobe Stoffwechsel und die CO₂-Produktion mangels zugeführtem Sauerstoff zum Erliegen. Das letzte entstehende CO₂ kann, wegen mangelnder Perfusion, nicht mehr abtransportiert werden.

Sollten die therapeutischen Maßnahmen nicht zum Erfolg führen, sinkt der etpCO₂ Wert kontinuierlich ab. Kommt die Perfusion mangels Volumen vollkommen zum Erliegen, wird gar kein CO₂ mehr in die Lunge transportiert und abgeatmet.

Das Kapnogramm zeigt, im Verlauf eines zunehmenden Schocks, eine kontinuierliche Abnahme der Plateauhöhe bei jedem Atemzug.

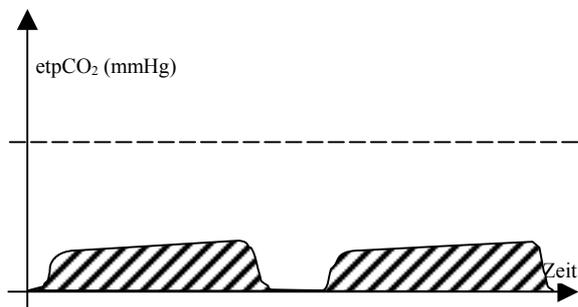


Abb.: 3.5.3.-3: mögliches Kapnogramm im Schock [15]

4. Methodik

Als Studiendesign wurde eine prospektive, multizentrische „Online“-Datenerhebung in Kombination mit einer Anwendungsbeobachtung gewählt. Die Daten wurden anhand standardisierter Dokumentationsprotokolle erfaßt und ausgewertet.

Die Konzeptions- und Planungsphase der Studie erstreckte sich über einen Zeitraum von Januar bis Juni 1999. Die anschließende Datenerhebung wurde von Juni 1999 bis August 2000 durchgeführt. Von Ende August bis Dezember 2000 erfolgte die Auswertung der erhobenen Daten.

Zur standardisierten Dokumentation der Einsätze wurden zwei verschiedene Dokumentationsprotokolle unterschiedlichen Umfangs entwickelt:

Basisdatensatzprotokoll

Dieses Protokoll umfasst die wichtigsten Basisdaten zum Notfalleinsatz, dem Patienten und zum Einsatz des Kapnometriegerätes. Es wurde vom Notarzt unmittelbar nach jedem Einsatz des Kapnometriegerätes ausgefüllt (Anhang 13.1.)

Erweitertes Dokumentationsprotokoll

Dieses Protokoll umfaßt einen erweiterten Datensatz, der neben den Basisdaten, unter anderem auch Informationen über Zeitintervalle und Medikation zur Narkoseeinleitung beinhaltet. Die erweiterten Daten wurden „online“ vom begleitenden Studienassistenten dokumentiert.

Das erweiterte Dokumentationsprotokoll wurde, auf den von Studienassistenten begleiteten Einsätzen des RTH „Christoph 1“ und des NAW „Florian 1/70/1“, eingesetzt (siehe Anhang 13.2)

Die „Online“-Datenerhebung der erweiterten Dokumentationsprotokolle, wurde von 8 Studienassistenten, die speziell für diesen Zweck geschult worden sind, durchgeführt. Die Studienassistenten waren, mit Ausnahme der Verfasserin (Doktorandin), selbst approbierte Ärzte und Notärzte, nahmen aber, in ihrer Funktion als Studienassistenten, nicht selbst an der aktiven Patientenversorgung teil. Die Studienassistenten waren, aufgrund ihrer Ausbildung mit den präklinischen Abläufen an der Einsatzstelle vertraut und nahmen nur in Ausnahmefällen (Massenanfall von Verletzten, erheblicher Mangel an aktuell verfügbaren Einsatzkräften) selbst aktiv an der Versorgung von Patienten teil. In diesen Fällen wurden die

Patienten nicht in die Studie eingeschlossen. Dies ermöglichte eine unabhängige, zeitsynchrone und objektiv dokumentierte Datenerhebung. Diese Methode der präklinischen Datenerhebung wird in der Literatur, als die Methode mit der höchsten Validität und Plausibilität beschrieben [28, 36, 49, 82, 86, 87].

Eingeschlossen wurden alle Patienten, die präklinisch durch die Besatzung eines, der an der Studie beteiligten Rettungsmittel, intubiert wurden. Ebenfalls eingeschlossen wurden alle Patienten, die bereits vor Eintreffen eines Studienrettungsmittels durch anderes Rettungsdienstpersonal präklinisch intubiert wurden und dann von der Besatzung des Studienrettungsmittels übernommen und weiter versorgt wurden.

Erfolgten mehr als zwei Intubationsversuche, so wurden nur die ersten zwei Versuche in die Studie eingeschlossen.

Ausgeschlossen wurden Kinder unter 3 Jahren aufgrund zu geringer Tidalvolumina, entsprechend der Betriebsanleitung der verwendeten Kapnometriegeräte der Studie, sowie Patienten, deren Tubuslage bereits mit klinischen Methoden (z.B. durch ein stationäres Kapnometriegerät oder eine Roentgen-Thorax-Aufnahme), verifiziert worden war (z.B. Interhospitaltransporte).

Studienstandorte mit arztbesetzten Rettungsmitteln

- 1) Rettungshubschrauberstation Harlaching (RTH „Christoph 1“ der ADAC-Luftrettung GmbH München)
- 2) Notarztstandort München-Mitte, Klinikum Innenstadt (NAW „Florian 1/70/1“ der Berufsfeuerwehr München)
- 3) Notarztstandort Rosenheim (NEF „RK 1510“ des Bayerischen Roten Kreuzes)
- 4) Rettungshubschrauberstation Kempten (RTH „Christoph 17“ des Bundesministeriums des Inneren)

Zu 1) Der Rettungstransporthubschrauber (RTH) „Christoph 1“ ist im Stadtteil Harlaching in München stationiert (RDB München). Er ist mit einem Piloten, einem Bordtechniker, einem Notarzt und einem Rettungsassistenten regelhaft besetzt. Die Notärzte, Ärzte des städtischen Krankenhauses Harlaching, gehören den Fachrichtungen Anaesthesiologie, Chirurgie und Internen Medizin an. Das Einsatzgebiet des vorrangig zur Primärrettung eingesetzten Helikopters erstreckt sich in einem 70 km-Radius um seinen Standort. Das Primär-Einsatzspektrum sind im

- Schwerpunkt Trauma-Patienten, es werden aber auch internistische Notfälle versorgt.
- Zu 2) Der Notarztwagen (NAW) „Florian 1/70/1“ ist im Stadtzentrum von München stationiert (RDB München). Er ist mit einem Notarzt und zwei Rettungsassistenten der Berufsfeuerwehr München besetzt. Die Notärzte, ausschließlich Ärzte des Klinikums der Universität München, gehören den Fachrichtungen Chirurgie, Anaesthesiologie oder Innere Medizin an. Das Einsatzspektrum dieses Rettungsmittels, umfaßt überwiegend internistische Notfallpatienten.
- Zu 3) Das Notarzteinsatzfahrzeug (NEF) „RK 1510“ ist mit einem Arzt und einem Rettungsassistenten/-sanitäter besetzt. Die Notärzte, Ärzte des Klinikums Rosenheim und niedergelassene Ärzte der Region, gehören den Fachrichtungen Innere Medizin, Anaesthesiologie oder Chirurgie an. Das Einsatzspektrum dieses Fahrzeuges ist aufgrund seines Standortes in Rosenheim heterogen: internistische Einsätze aufgrund der Stadtlage und Trauma-Patienten durch die nahe Lage zu der Bundesautobahn München/Salzburg und vielen Staatsstraßen (RDB Rosenheim).
- Zu 4) Der Rettungstransporthubschrauber (RTH) „Christoph 17“ ist in der Stadt Kempten stationiert (RDB Kempten). Er ist mit einem Piloten, einem Notarzt und einem Rettungsassistenten besetzt. Die Notärzte, Ärzte vor allem der Krankenhäuser Kempten und Immenstadt, gehören den Fachrichtungen Anaesthesiologie, Chirurgie und Interne Medizin an. Das Einsatzgebiet des Helikopters ist hauptsächlich das Alpenland aber auch kleinere umliegende Städte im Voralpengebiet. Sein Einsatzspektrum ist im Schwerpunkt die Trauma-Versorgung, es werden aber auch internistische Notfälle versorgt.

4.1. Studienablauf

Der Notarzt stellt, nach der ersten Sichtung des Patienten und der Situation die Indikation zur Intubation und führt diese durch oder delegiert sie weiter (siehe Punkt (☞) **A1**). Nach der erfolgten Intubation bestimmt der Intubierende die richtige endotracheale Tubuslage, unter Zuhilfenahme der herkömmlichen Methoden, wie Einstellbarkeit der Stimmbandebene, Auskultation, Begutachtung der Thoraxexkursion und Beschlagen des Tubus (☞ **B1**) [5, 13, 14, 40, 45, 47, 60, 63]. Es konnten 3 Möglichkeiten zur Tubuslage ausgewählt werden: Tubuslage sicher endotracheal (☞ **C1**), Tubuslage unsicher (☞ **C2**) und Tubuslage sicher oesophageal (☞ **C3**).

Entschied sich der Intubierende für die sicher endotracheale Tubuslage, erfolgte die Kapnometrie (☞E1). War sich der Intubierende der oesophagealen Tubuslage sicher, erfolgte entweder eine erneute Laryngoskopie mit Korrektur der Tubuslage, oder die Entfernung des Tubus mit erneuter Intubation (☞E2). War sich der Notarzt unsicher über die Tubuslage erfolgte nach seiner Entscheidung entweder direkt die Kapnometrie (☞E1) oder eine erneute Laryngoskopie mit Korrektur der Tubuslage oder die Entfernung des Tubus mit erneuter Intubation (☞E2).

Nach Einsatz des Kapnometriegerätes hatte der Intubierende, in Kenntnis des Kapnometriewertes, der Vitalparameter und der herkömmlichen Methoden der Verifizierung der Tubuslage, erneut drei Möglichkeiten zur Entscheidung über die Tubuslage:

Tubuslage sicher endotracheal (☞F1), Tubuslage unsicher (☞F2) oder Tubuslage sicher oesophageal (☞F3).

War sich der Intubierende nach Verwendung des Kapnometriegerätes der endotrachealen Tubuslage sicher, erfolgte die weitere Versorgung (☞H1) und der Transport ins Krankenhaus (☞I1). War er sich der oesophagealen Tubuslage sicher, erfolgte eine erneute Laryngoskopie mit Korrektur der Tubuslage oder die Entfernung des Tubus mit erneuter Intubation (☞H2).

War sich der Intubierende nach Verwendung des Kapnometriegerätes, in Kenntnis der Vitalparameter immer noch unsicher über die Tubuslage, erfolgte entweder die weitere Versorgung (☞H1) und der Transport ins Krankenhaus (☞I1), oder eine erneute Laryngoskopie mit Korrektur der Tubuslage, oder die Entfernung des Tubus mit erneuter Intubation (☞H2).

Die endgültige Tubuslage wurde im erstaufnehmenden Krankenhaus (☞J1/2), durch eine Röntgen-Thorax-Aufnahme, ein stationäres Kapnometriegerät, oder ein Thorax-CT, bestimmt. Ist der Patient am Einsatzort verstorben, erfolgte eine erneute Laryngoskopie mit Verifizierung der Tubuslage durch den Notarzt.

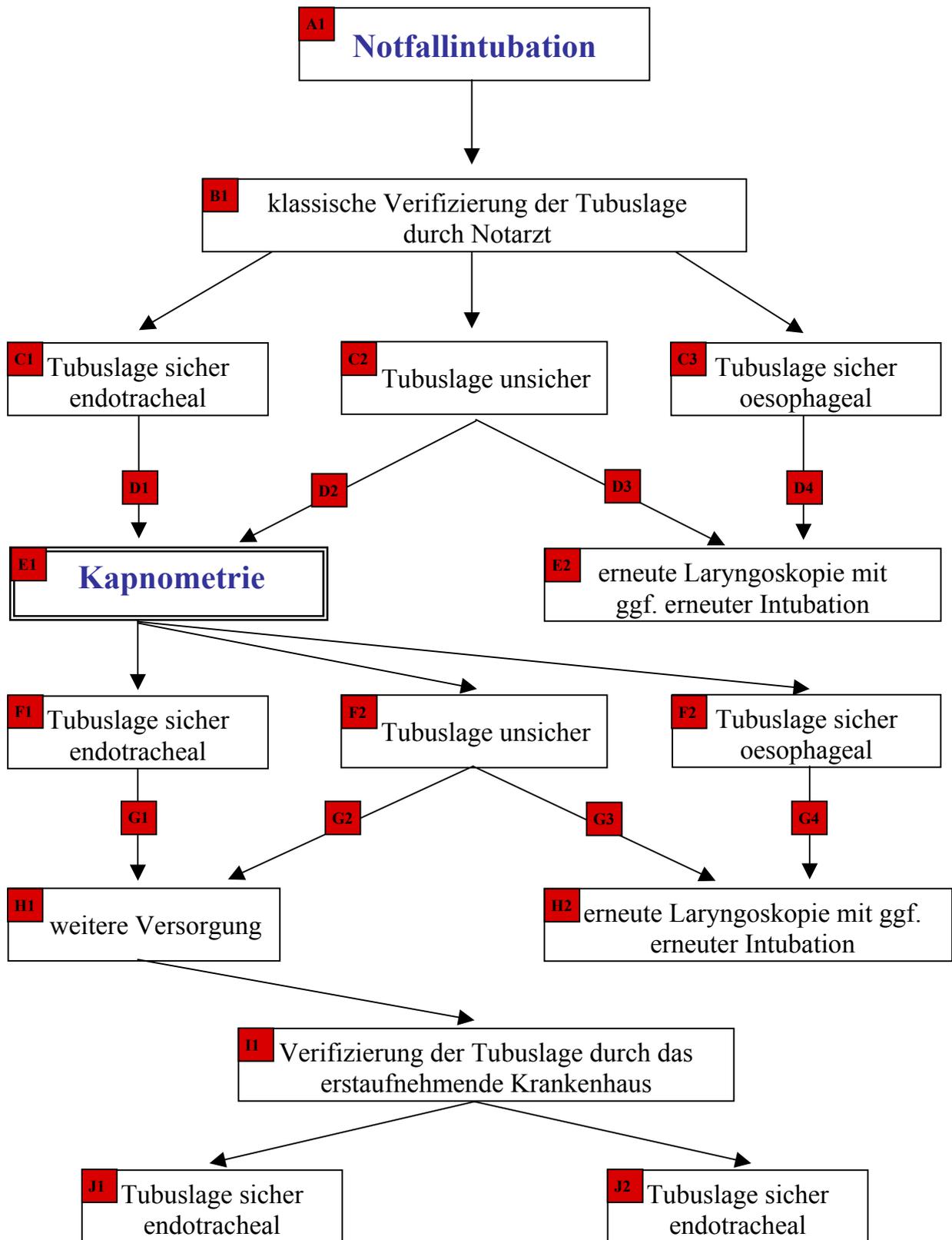


Abb.: 4.8.-1: Flußdiagramm „Entscheidungsweg zur Verifizierung der Tubuslage“

4.2. Verwendete Kapnometrieeräte

- 1) CO₂-Indikator **CO₂ntrol one™** der Firma Gibeck, Upplands Väsby, Schweden
- 2) Kapnometriemodul für Defibrillator/Monitor **LifePak 12®** der Firma Physio-Control, Redmond, USA
- 3) Mobiles Kapnometrieerät **Pocket Cap™** der Firma Nihon Kohden, Tokio, Japan

Zu 1) Das **CO₂ntrol one™** der Firma Gibeck besteht aus einer 5,4 cm langen Küvette und einer aufgesteckten Indikatorplatte. Die Küvette, mit genormtem Adapter für gängige Endotrachealtuben und Beatmungsschläuche, wird direkt im Atemstrom hinter dem Tubus oder Filter eingefügt. Das gesamte Gerät wiegt etwa 9 g. Mit seinem Totraumvolumen von 7 ml kann es für Tidalvolumina (V_T) > 150 ml verwendet werden. Bedingt durch seine neue Technologie, ist es bis zu 24h kontinuierlich einsetzbar.

Die semiquantitative Kohlendioxidmessung erfolgt im Hauptstromverfahren durch den Farbumschlag einer Indikatorsubstanz, die auf die Indikatorplatte aufgetragen ist. Dieser Farbumschlag tritt, atemsynchron bei jeder Ex- und Inspiration, bis zu einer Frequenz von bis zu 50 Atemzügen pro Minute auf. Das Ergebnis wird in Vol% angezeigt. Messungen sind bis zu 5 Vol% möglich.



Abb.: 4.2.-1: CO₂ntrol Pocket™ [25]

Zu 2) Der **LifePak 12®** ein Multifunktionsgerät mit Defibrillator inklusive integrierter EKG-Analyse-Einheit, Pulsoxymeter, NIBP (nicht invasive Blutdruckmessung) und Kapnometrie/-graphie. Bei einer Größe von 31,7 cm x 38,9 cm x 21,7 cm wiegt das Gerät ca. 9,0 kg. Als Akkus dienen NiCd-Akkus, die über eine separate Ladestation geladen werden können.

Das integrierte Kapnometer erlaubt CO₂-Messungen von 0 – 99 mmHg. Nach ca. 30sek. fehlender CO₂-Messung gibt das Gerät einen Apnoealarm. Es werden bis zu 60 Atemzüge pro Minute, bei einer Reaktionszeit von 2,9 Sekunden, registriert. Das Gerät arbeitet im Nebenstromprinzip nach dem nichtdispersiven, infrarotspektroskopischen, Microstreamverfahren. Die Probenflußrate beträgt 50 ml pro Minute.

Die Meßgenauigkeit differiert nach Einsatzdauer, Anzahl der Atemzüge und Meßwerte und wird vom Hersteller wie folgt angegeben:

- | | |
|--------------------------------|--|
| Genauigkeit des Meßergebnisses | <ul style="list-style-type: none"> ● bis 20 min bei 0 – 38 mmHg: +/- 4 mmHg ● 39 – 99 mmHg: +/- 12% des Ablesewertes |
| Genauigkeit des Meßergebnisses | <ul style="list-style-type: none"> ● > 20 min bei 0 – 38 mmHg: +/- 2 mmHg ● 39 – 99 mmHg: +/- 5% des Ablesewertes + 0,08% pro 1 mmHg |
| Genauigkeit der Atemfrequenz | <ul style="list-style-type: none"> ● bei 0 – 40 Atemzüge pro Minute: +/- 1 Atemzug pro Minute ● 41 – 60 Atemzüge pro Minute: +/- 2 Atemzüge pro Minute |



Abb.: 4.2.-2: LifePak® 12 [55]

Zu 3) Das **Pocket Cap™** ist ein Handgerät zur Messung der endexpiratorischen CO₂-Konzentration im präklinischen Bereich. Bei einer Größe von 100 x 65 x 22 mm wiegt es 156 g. Durch sein stabiles Gehäuse und den Spritzwasserschutz ist es universell einsetzbar. Eine innovative, sogenannte “No-fog-membran“, die aufgrund ihrer hydrophoben Eigenschaften das Beschlagen des Meßsystems verhindert, macht die Verwendung eines Heizelementes überflüssig. Das macht sich im relativ leichten

Gewicht des Sensors (23 g) bemerkbar.

Das Gerät arbeitet im Hauptstromprinzip nach der Methode der semi-quantitativen Infrarotspektrometrie. Es kann bis zu 60 Atemzüge pro Minute über 24 Stunden registrieren und gibt bei jeder Expiration ein akustisches Signal. Erfolgt für 20 Sekunden kein Atemzug gibt das Gerät einen Apnoealarm, der sich für maximal 60 Sekunden stummschalten läßt. Der Meßbereich reicht von 0 – 76 mmHg. Die Ergebnisse werden auf einer LED-Anzeige in 10er mmHg-Schritten, nach etwa 200 Millisekunden Meßzeit, angegeben.

Die Meßgenauigkeit beträgt bei ≤ 40 mmHg ± 4 mmHg. Bei Werten > 40 mmHg $\pm 10\%$ Ablesefehler.

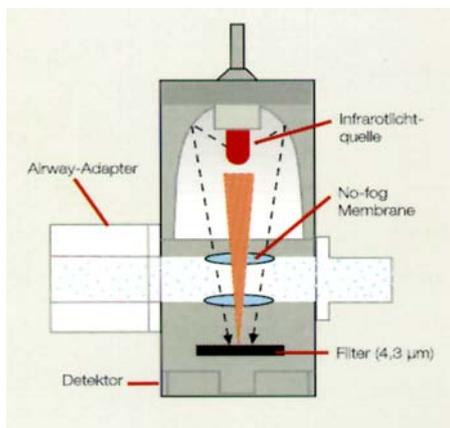


Abb.: 4.2.-3. Technologie des Pocket Cap™ [2]



Abb. 4.2.-4: Pocket Cap™ [2]

Es erfolgte eine randomisierte Verteilung der rein diagnostischen Studiengeräte (Pocket Cap, CO₂ntrol Pocket) auf die Studienstandorte. Die Geräte wurden nach einem bestimmten Zeitraum zwischen den Standorten neu verteilt.

Eine Einschränkung erfolgte beim Einsatz des LifePak12® Monitors und Defibrillators. Aufgrund seiner Größenabmessungen und dem sich daraus ergebenden Platzbedarf, war ein Einsatz auf dem RTH „Christoph 17“ und dem NEF „RK 1510“ nicht möglich. Die Einsätze des LifePak12® auf dem RTH „Christoph 1“ und dem NAW „Florian 1/70/1“ wurden alle von Studienassistenten begleitet. Aus organisatorischen Gründen war die notwendige Einweisung gemäß dem Medizin-Produkte-Gesetz (MPG) auf den LifePak12® Monitor und Defibrillator für alle beteiligten Personen nicht durchführbar. Alle Studienassistenten waren,

gemäß den Bestimmungen des Medizin-Produkte-Gesetzes (MPG) auf den LifePak12® Monitor und Defibrillator eingewiesen.



Abb.: 4.9.-5: Das Pocket Cap™ im Einsatz [2]

5. Statistik

Bei der Auswertung der Studie wurden hauptsächlich die Methoden der deskriptiven Statistik, wie z.B. der Median, das Minimum und das Maximum verwendet. Die Aufgaben der deskriptiven Statistik bestehen nach darin, „empirisch gewonnene Daten zu ordnen, tabellarisch und graphisch darzustellen und durch Kennzahlen wie z.B. Mittelwert Gesamtsumme, Minimum, Maximum oder der Streubreite zusammenzufassen“ [37]. Sie beruht auf Daten, die in einer Stichprobe gewonnen wurden und deren Übertragung auf die Grundgesamtheit nur mit Einschränkungen möglich ist.

Definition des Medianes

„Der Median liegt in der Mitte aller beobachteten Werte. Er wird von höchstens der Hälfte aller Werte unterschritten und von höchstens der Hälfte aller Werte überschritten“ [37]. Der Median ist in der Regel, im Gegensatz zum arithmetischen Mittelwert \bar{x} , gegen Ausreißer unempfindlich.

Definition des Minimums

Das Minimum ist der kleinste aller beobachteten Werte. Er wird von keinem anderen Wert unterschritten. Alle anderen Werte sind entweder gleich oder größer dem Minimum.

Definition des Maximums

Das Maximum ist der größte aller beobachteten Werte. Er wird von keinem anderen Wert überschritten. Alle anderen Werte sind entweder kleiner oder gleich dem Maximum.

Der χ^2 -Test

Der χ^2 -Test, der in unserer Studie verwendet wurde, dient zur Analyse kategorialer Daten.

Ein kategoriales oder qualitatives Merkmal weist Ausprägungen auf, die in bestimmten, qualitativ verschiedenen Kategorien oder Klassen, zusammengefasst werden. Neben Dichotomen- oder Alternativmerkmalen mit nur zwei Ausprägungen (z.B. Stimmbandebene einsehbar – Stimmbandebene nicht einsehbar), unterscheidet man nominal skalierte Merkmale, wobei Namen oder Bezeichnungen für bestimmte Kategorien existieren sowie ordinal skalierte Merkmale, bei denen die Kategorien aus Namen oder Bezeichnungen für Ränge, d.h. für Intensitätsstufen des Merkmals, bestehen.

Werden die Ausprägungen zweier kategorialer Merkmale gemeinsam betrachtet, so liegt im einfachsten Fall eine Vierfeldertafel vor. Ziel der Analyse einer Vier- oder Mehrfeldertafel ist die Erfassung der Beziehungsstruktur, der in der Tafel verknüpften kategorialen Merkmale. Zur Auswertung dieser Studie wurde unter anderem die einfache Vierfeldertafel verwendet.

Tabelle 5.-1: Die Vierfeldertafel [37]

	Ereignisse	Komplementärereignisse	Σ
1. Stichprobe	a	b	$a+b=n_1$
2. Stichprobe	c	d	$c+d=n_2$
Σ	$a+c$	$b+d$	$a+b+c+d=n$

Mit ihrer Hilfe wurde die Signifikanz unserer Ergebnisse, unter bestimmten Fragestellungen ermittelt. Nach dem Erstellen einer Nullhypothese (Homogenitätshypothese zwischen den Kategorien), erfolgte die Berechnung des jeweiligen χ^2 -Wertes. Danach erfolgte der Vergleich mit der Schranke von χ^2 für einseitige Tests mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha=0,05$ und einem Signifikanzniveau von 5%.

Die Berechnung von χ^2 erfolgte nach folgender Formel

$$\chi^2 = n(ad - bc)^2 / ((a+b) \times (c+d) \times (a+c) \times (b+d))$$

Im Weiteren wurde der errechnete χ^2 -Wert mit dem tabellarischen Wert für einen einseitigen Test mit $\alpha=0,05$ und dem Signifikanzniveau von $P=5\%$ verglichen. Das Signifikanzniveau gibt an, mit welcher Wahrscheinlichkeit eine ebenso große und größere Prüfgröße, wie die berechnete, erwartet werden kann. War der errechnete Wert kleiner dem tabellarischen Wert, wurde die Nullhypothese angenommen, war er größer dem tabellarischen Wert, wurde die Nullhypothese abgelehnt.

6. Ergebnisse

6.1. Gesamtkollektiv

6.1.1. Allgemeine Ergebnisse im Gesamtkollektiv

Erster Intubationsversuch

Im Erhebungszeitraum von Juni 1999 bis August 2000 konnten 207 (n_{ges}) präklinische Intubationen in die Studie eingeschlossen werden. Die Daten von 103 präklinischen Intubationen (49,8% von n_{ges}) wurden durch einen Studienassistenten „online“, anhand des erweiterten Dokumentationsprotokolls, die von 104 präklinischen Intubationen (50,2% von n_{ges}) durch Notärzte, im Basisdatensatzprotokoll, dokumentiert.

Die Dokumentation von 89 Einsätzen (43,0% von n_{ges}) erfolgte auf dem RTH „Christoph 1“, die von 83 Einsätzen (40,1% von n_{ges}) auf dem NAW „Florian 1/70/1“, von 13 Einsätzen (6,3% von n_{ges}) auf dem NEF „RK 1510“ und von 22 Einsätzen (10,6% von n_{ges}) auf dem RTH „Christoph 17“.

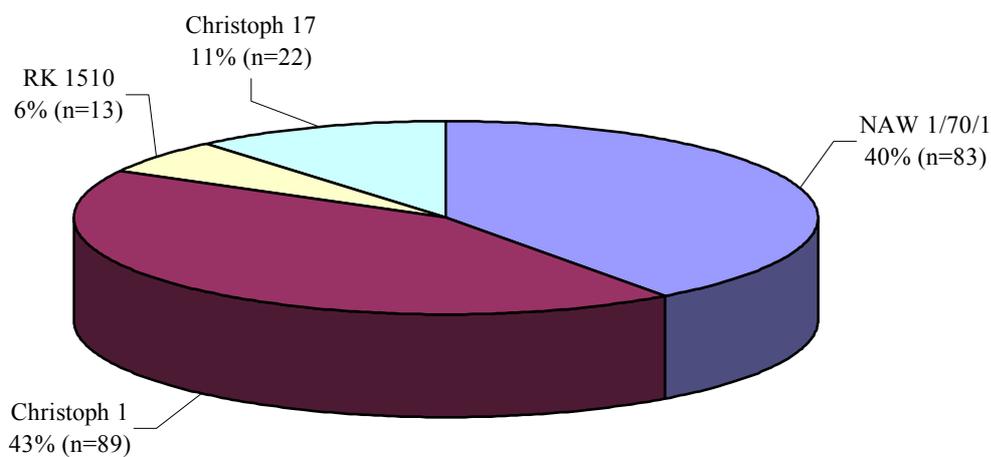


Abb.: 6.1.1.-1: Einsatzverteilung im Gesamtkollektiv (n=207)

Intubationsindikationen erster Intubationsversuch:

Die Intubation von 90 Studienpatienten (43,5% von n_{ges}) erfolgte aufgrund eines Traumas, die von 117 Studienpatienten (56,5% von n_{ges}) aufgrund einer nicht-trauma bedingten Ursache. Bei 70 Einsätzen (n_{Rea} ; 33,8% von n_{ges}) wurde der Patient aufgrund eines Herz-Kreislauf-Stillstandes (Trauma bedingt n=14 (6,8% von n_{ges}); Nicht-Trauma bedingt n=56 (27,1% von

n_{ges})), bei 45 Einsätzen (21,7% von n_{ges}) isolierten aufgrund eines Schädel-Hirn-Traumas intubiert. Eine weitere große Gruppe bilden die Intubationen nach Apoplex (n=14; 6,8% von n_{ges}). Eine detaillierte Darstellung der Indikation zur Intubation und deren Verteilung nach Rettungsmitteln ist in Abbildung 6.1.1.-2 und in Tabelle 6.1.1.-1 dargestellt.

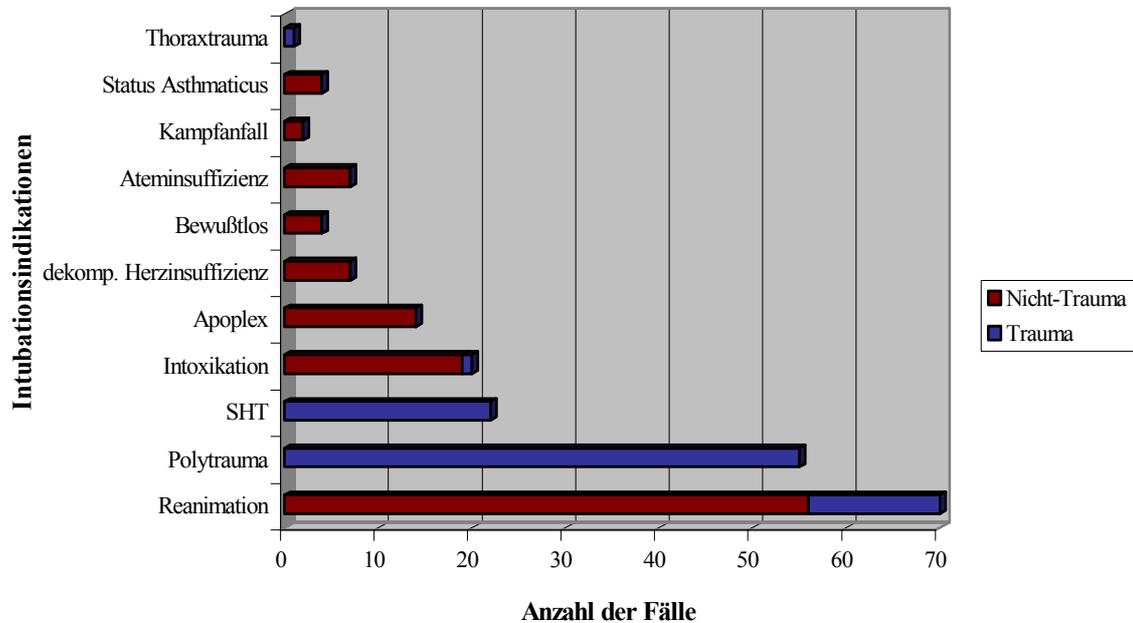


Abb.: 6.1.1.-2: Intubationsindikationen im Gesamtkollektiv (n=207)

Tabelle 6.1.1.-1: Intubationsindikation nach Rettungsmittel im Gesamtkollektiv

	„Christoph 1“	„NAW1/70/1“	„Christoph 17“	„RK 1510“	Gesamt
Reanimation	24	36	6	4	70
Polytrauma	30	4	8	3	45
SHT	14	6	4	1	25
Intoxikation	3	15	0	0	18
Apoplex	4	6	2	2	14
dekompensierte Herzinsuffizienz	1	4	0	2	7
Bewusstlosigkeit	3	1	0	0	4
Ateminsuffizienz	0	4	2	0	6
Status Epilepticus	0	1	0	0	1
Status Asthmaticus	0	2	0	1	3
Thoraxtrauma	2	0	0	0	2
Sonstige	8	4	0	0	12
Gesamt	89	83	22	13	207
Trauma	62	11	13	4	90
Nicht-Trauma	27	72	9	9	117

Geschlechts- und Altersverteilung im Gesamtkollektiv

Das Gesamtkollektiv setzte sich aus 66,2% (von n_{ges}) Männern und 32,4% (von n_{ges}) Frauen zusammen. Das Alter der männlichen Patienten lag, auf allen vier Rettungsmitteln, im Median unter dem der weiblichen Patienten (siehe Tab. 6.1.1.-2).

Tabelle 6.1.1.-2: Geschlechts- und Altersverteilung im Gesamtkollektiv im Median

	Geschlecht (%)		Alter	Alter	
	Männlich	Weiblich		Männlich	Weiblich
RTH „Christoph 1“	62 (69,7%)	27 (30,3%)	45,8 J.	42,5 J.	58,0 J.
NAW „Florian 1/70/1“	52 (62,7%)	28 (33,8%)	64,6 J.	62,2 J.	72,7 J.
NEF „RK 1510“	7 (53,9%)	6 (46,2%)	65,3 J.	55,8 J.	79,8 J.
RTH „Christoph 17“	16 (72,7%)	6 (27,3%)	57,4 J.	50,4 J.	68,0 J.
Gesamt	137 (66,2%)	67 (32,4%)	57,9 J.	55,3 J.	64,2 J.

Vitalparameter im Gesamtkollektiv

Die Vitalparameter der Patienten im Gesamtkollektiv und nach Rettungsmitteln sind in Tabelle 6.1.1.-3 dargestellt. Im Median wiesen die Patienten des NEF „RK 1510“ einen geringfügig höheren systolischen Blutdruck (145 mmHg), eine deutlich niedrigere Sauerstoffsättigung des Blutes ($SpO_2 = 88,5\%$) und einen im Median höheren GCS mit 6,5 Punkten auf. Die weiteren Parameter sind vergleichbar zu denen der anderen Rettungsmittel.

Tabelle 6.1.1.-3: Vitalparameter der Patienten im Median im Gesamtkollektiv

	Median Blutdruck systolisch (n)	Median Puls (n)	Median Atemfrequenz (n)	Median SpO_2 (n)	Median GCS (n)
RTH „Christoph 1“	120 mmHg (68)	90/min (71)	12/min (89)	96% (53)	3 (89)
NAW „Florian 1/70/1“	120 mmHg (40)	100/min (49)	8/min (81)	90% (40)	3 (83)
NEF „RK 1510“	145 mmHg (10)	112,5/min (10)	12/min (13)	88,5% (10)	6,5 (10)
RTH „Christoph 17“	130 mmHg (15)	90/min (17)	12/min (14)	98% (19)	3 (22)
Gesamt	120 mmHg (133)	96/min (147)	10/min (197)	94% (117)	3 (202)

Zweiter Intubationsversuch

In 28 Fällen (13,5% von n_{ges}) mußte ein zweiter Intubationsversuch unternommen werden. 18 dieser Einsätze (8,7% von n_{ges}) wurden durch einen Studienassistenten im erweiterten Dokumentationsprotokoll, zehn Einsätze (4,8% von n_{ges}) durch Notärzte im Basisdatensatzprotokoll dokumentiert.

Ein zweiter Intubationsversuch erfolgte in 15 Fällen (7,2% von n_{ges}) auf dem RTH „Christoph 1“, in 12 Fällen (5,8% von n_{ges}) auf dem NAW „Florian 1/70/1“, von denen drei durch einen Studienassistenten dokumentiert wurden und in einem Fall (0,5% von n_{ges}) auf dem RTH „Christoph 17“.

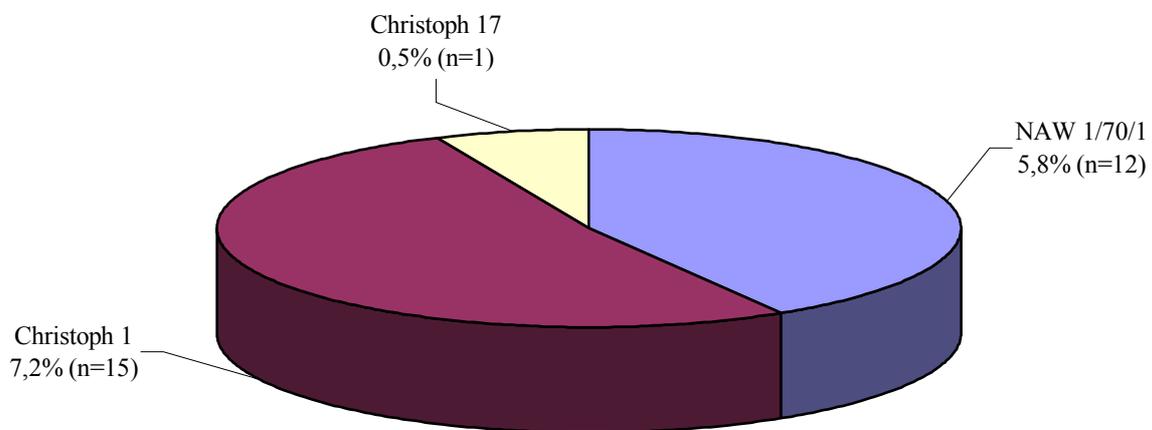


Abb. 6.1.1.-3: Einsatzverteilung zweiter Intubationsversuch im Gesamtkollektiv (n=28)

Intubationsindikationen zweiter Intubationsversuch

In 12 Fällen (5,8% von n_{ges}) erfolgte der zweite Intubationsversuch bei Patienten, die aufgrund eines Traumas, in 16 Fällen (7,7% von n_{ges}) bei Patienten, die nicht aufgrund eines Traumas intubationspflichtig geworden sind.

In der Gruppe der Herz-Kreislauf-Stillstände musste in 13 Fällen (6,3% von n_{ges}) ein zweiter Intubationsversuch durchgeführt werden. In weiteren fünf Fällen (2,4% von n_{ges}) erfolgte der zweite Versuch bei Patienten mit isoliertem Schädelhirntrauma, in vier Fällen (1,9% von n_{ges}) bei Patienten mit einer Polytraumatisierung und in drei Fällen (1,4% von n_{ges}) bei Patienten mit einem Apoplex.

6.1.2. Spezielle Ergebnisse zur Intubation im Gesamtkollektiv

Erster Intubationsversuch

Von den insgesamt 207 dokumentierten Intubationen wurden 153 (73,9% von n_{ges}) von der Besatzung des jeweiligen Studienrettungsmittels durchgeführt. Die Daten von 59 der genannten 153 Einsätze (29,0% von n_{ges}) konnten „online“ durch einen Dokumentationsassistenten im erweiterten Dokumentationsprotokoll festgehalten werden. Die weiteren 93 Einsätze (44,9% von n_{ges}) wurden vom jeweiligen Notarzt per Basisdatensatzprotokoll dokumentiert.

Die Intubation von 54 Patienten (26,1% von n_{ges}) erfolgte bereits vor Eintreffen des Studienrettungsmittels. Eine Maskenbeatmung vor dem Einführen des Laryngoskopes erfolgte in 36 Fällen. Bei 23 Patienten wurde die Intubation ohne vorhergehende Maskenbeatmung durchgeführt. Die Daten zur Maskenbeatmung wurden nur im erweiterten Dokumentationsprotokoll festgehalten.

Durchführung der Intubation im Gesamtkollektiv

Die Intubation im ersten Intubationsversuch wurde in 130 Fällen (62,8% von n_{ges}) durch den Notarzt und in 28 Fällen (12,6% von n_{ges}) durch den Rettungsassistenten (RA)/Rettungssanitäter (RS) des Studienrettungsmittels durchgeführt. In 49 Fällen (23,7% von n_{ges}) erfolgte die Intubation bereits vor Eintreffen des Studienrettungsmittels durch die Besatzung des ersten Rettungsmittels am Einsatzort (vgl. Abb. 6.1.2.-1).

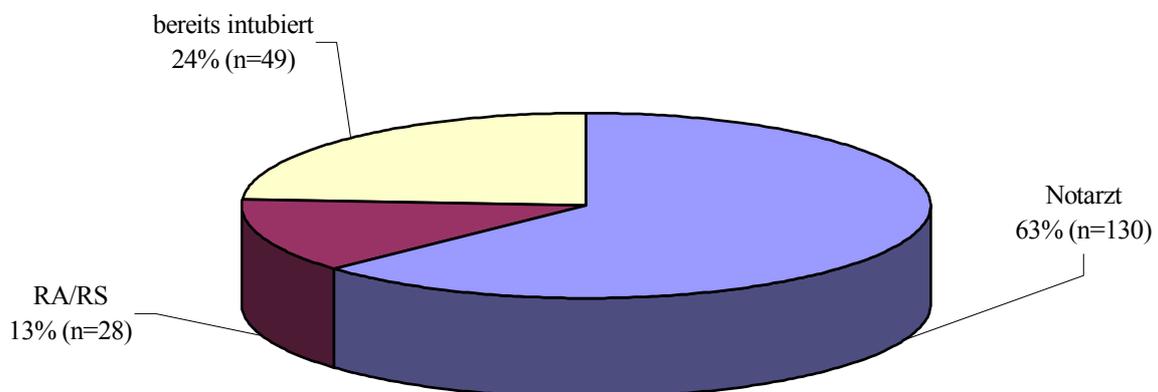


Abb. 6.1.2.-1: Durchführung der Intubation im Gesamtkollektiv (n=207)

In 204 Fällen (98,6% von n_{ges}) des ersten Intubationsversuches wurde die Intubation über den oralen und in drei Fällen (1,5% von n_{ges}) über den nasalen Zugangsweg durchgeführt. Alternative Zugangswege, wie z.B. die Koniotomie kamen nicht zum Einsatz.

Einsehbarkeit der Stimmbandebene

Die Einsehbarkeit der Stimmbandebene wurde vom Intubierenden in 114 Fällen als komplett einsehbar (55,1% von n_{ges}), in 54 Fällen als teilweise einsehbar (26,1% von n_{ges}) und in 19 Fällen (9,2% von n_{ges}) als gar nicht einsehbar beurteilt. In 20 Fällen (9,7% von n_{ges}) erfolgte keine Beurteilung der Stimmbandebene (vgl. Abb. 6.1.2.-2).

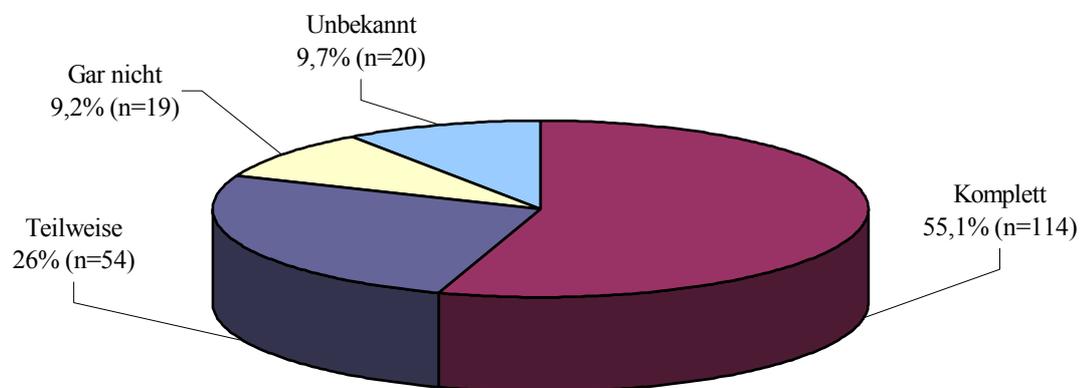


Abb. 6.1.2.-2: Einsehbarkeit der Stimmbandebene im Gesamtkollektiv (n=207)

Intubationserschwerisse im Gesamtkollektiv

Als häufigstes Intubationserschwerisse wurden in 38 Fällen (18,4% von n_{ges}) unzureichende Sichtverhältnisse angegeben. In 25 Fällen (12,1% von n_{ges}) wurde eine mangelnde Mundöffnung als Intubationserschwerisse dokumentiert. In 89 Fällen (43,0% von n_{ges}) wurden vom Intubierenden keine Intubationserschwerisse angegeben.

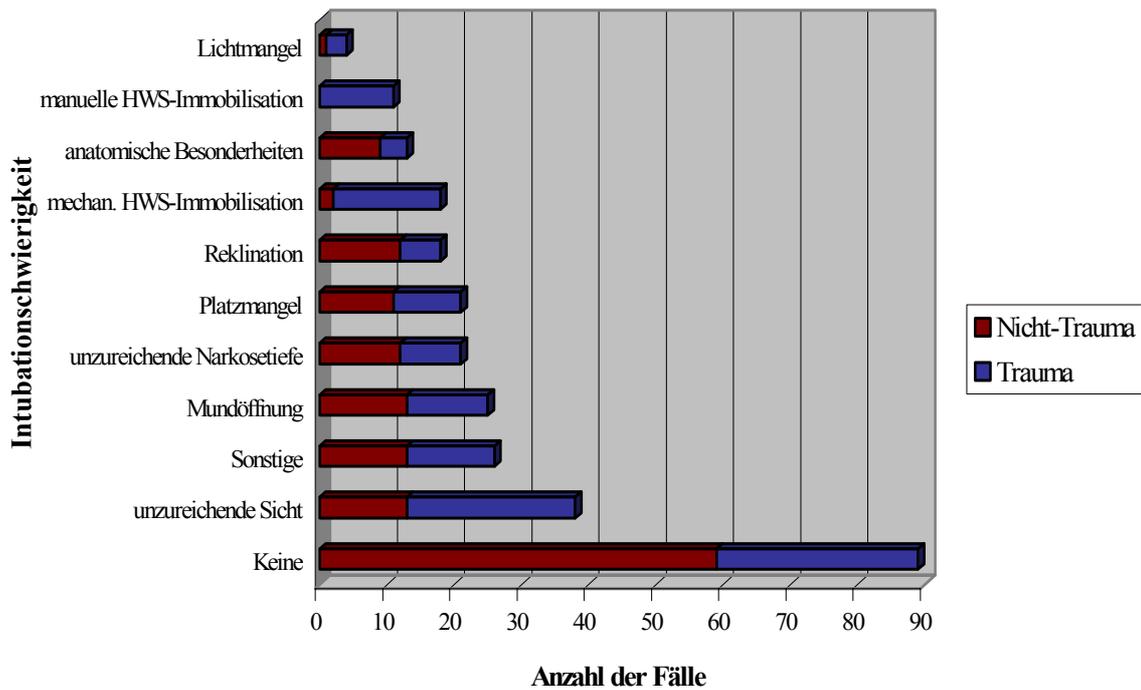


Abb. 6.1.2.-3: Intubationserschwerisse im Gesamtkollektiv (n=207)

Intubationshilfsmittel im Gesamtkollektiv

Als häufigstes Intubationshilfsmittel kam bei 72 Intubationen (34,8% von n_{ges}) der Führungsstab zum Einsatz. Als zweithäufigstes Hilfsmittel wurde der sogenannte Sellik-Handgriff (Cricoid-Druck) angewendet. Er erfolgte bei 70 Intubationen (33,8% von n_{ges}). In 51 Fällen (24,6% von n_{ges}) wurde kein Intubationshilfsmittel verwendet.

Bei 17 Einsätzen (8,2% von n_{ges}) erfolgte keine Dokumentation der Intubationshilfsmittel.

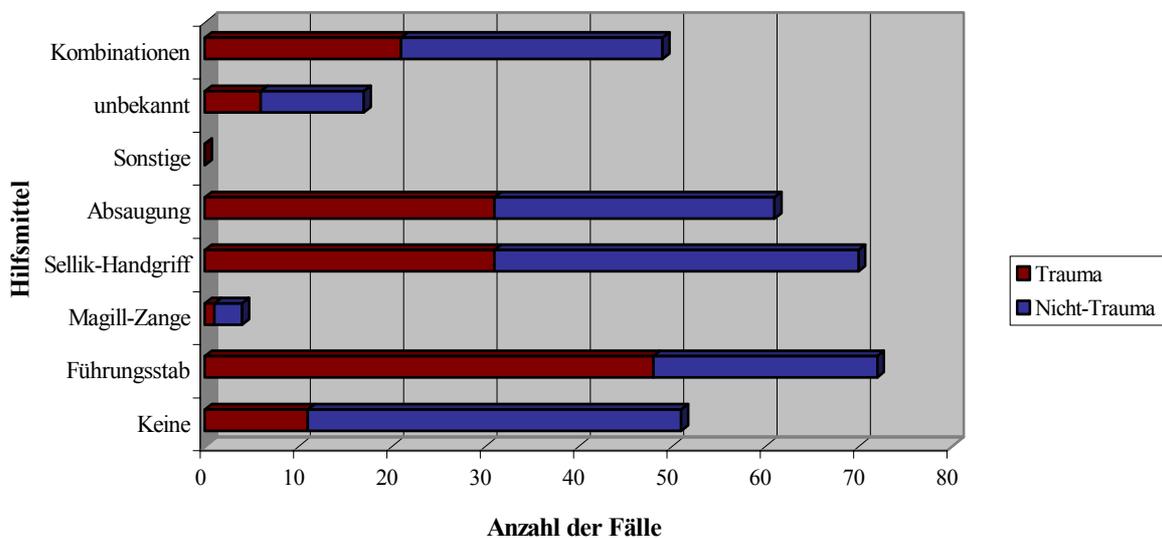


Abb. 6.1.2.-4: Verwendete Intubationshilfsmittel im Gesamtkollektiv (n=207)

Daten zur Narkoseeinleitung im Gesamtkollektiv

Im Zuge der „Online“-Datenerhebung durch einen Studienassistenten, basierend auf dem erweiterten Dokumentationsprotokoll ($n_{\text{erw}}=103$), erfolgte auf dem RTH „Christoph 1“ und dem NAW „Florian 1/70/1“ die Erhebung von Daten zur Narkoseeinleitung. In 65 Fällen (63,1% von n_{erw}) wurde zur Intubation eine Narkoseeinleitung nötig. 60 dieser Einsätze (58,3% von n_{erw}) wurden auf dem RTH „Christoph 1“ und fünf Einsätze auf dem NAW „Florian 1/70/1“ (4,9% von n_{erw}) dokumentiert.

Insgesamt erfolgte die Verabreichung eines sedativ wirkenden Medikamentes (Monotherapie oder in Kombination) in 102 Fällen. In 53 Fällen wurde dabei Etomidate (Dosis im Median 20 mg (Min: 10 mg; Max: 40 mg)), in 29 Fällen Midazolam (Dosis im Median 5 mg (Min: 3 mg; Max: 25 mg)), in acht Fällen Diazepam (Dosis im Median 10 mg (Min: 5 mg; Max: 10 mg)) und in sechs Fällen Ketamin (Dosis im Median 100 mg (Min: 50 mg; Max: 300 mg)) verwendet. Der Einsatz von Thiopental und Propofol erfolgte nur in Ausnahmefällen.

Ein Analgetikum wurde in 54 Fällen verabreicht. Es erfolgte ausschließlich die Verwendung von Fentanyl (Dosis im Median 0,2 mg (Min: 0,1 mg; Max: 1,5 mg)).

Eine Muskelrelaxierung des Patienten wurde in 11 Fällen durchgeführt. Dabei wurde in acht Fällen mit Succinylcholin (Dosis im Median 100 mg (Min: 80 mg; Max: 100 mg)) und in drei Fällen mit Vecuronium (Dosis im Median 6 mg (Min: 4 mg; Max: 6 mg)) relaxiert.

Einsatz- und Intubationsrelevante Zeiten im Gesamtkollektiv

Im Median betrug die Zeit (NE.1.RM) vom Notrufeingang (NE), bis zum Eintreffen des ersten Rettungsmittels (1.RM), acht Minuten (Min: 0,0 Minuten¹; Max: 43 Minuten). Sie lag bei den Einsätzen des RTH „Christoph 1“ im Median bei acht Minuten (Min: 0,0 Minuten; Max: 43 Minuten) und bei den Einsätzen des NAW „Florian 1/70/1“ im Median bei fünf Minuten (Min: 1 Minute; Max: 39 Minuten) (vgl. Abb.: 6.1.2.-5).

Der erste Arzt war im Median nach 11 Minuten an der Einsatzstelle (Min: 0,0 Minuten¹; Max: 72 Minuten) (NE.1.Dr.). Auf dem RTH „Christoph 1“ im Median nach 12 Minuten (Min: 0,0 Minuten¹; Max: 72 Minuten) und auf dem NAW „Florian 1/70/1“ im Median nach acht Minuten (Min: 4 Minuten; Max: 63 Minuten) (vgl. Abb.: 6.1.2.-5).

¹ 1. Rettungsmittel entspricht dem Notrufmelder

In nur 36 Fällen wurde vor Einführen des Tubus eine Maskenbeatmung durchgeführt, in 23 Fällen wurde darauf verzichtet. Auf dem RTH „Christoph 1“ erfolgte in 26 Fällen, auf dem NAW „Florian 1/70/1“ in zehn Fällen eine Maskenbeatmung vor der Intubation. Die Dauer (An.MB) vom Eintreffen beim Patienten (Ankunftszeit; An) bis zur Maskenbeatmung (MB) betrug im Median 7,1 Minuten (Min: 20 Sekunden; Max: 73,1 Minuten). Sie lag bei den Einsätzen des RTH „Christoph 1“ im Median bei neun Minuten (Min: 40 Sekunden; Max: 73,1 Minuten) bzw. bei den Einsätzen des NAW „Florian 1/70/1“ im Median bei 2,2 Minuten (Min: 20 Sekunden; Max: 20,3 Minuten) (vgl. Abb.: 6.1.2.-5).

Die Zeit (An.Laryn) vom Eintreffen des Rettungsdienstpersonals beim Patienten (AN) bis zur Laryngoskopie (Laryn) betrug im Median 6,3 Minuten (Min: 10 Sekunden; Max: 75,6 Minuten), die Zeit (An.Int) bis zum Einführen des Endotrachealtubus (Int) 6,4 Minuten (Min: 40 Sekunden; Max: 76,1 Minuten). Auf dem RTH „Christoph 1“ betrug die Zeit bis zur Laryngoskopie im Median 6,6 Minuten (Min: 10 Sekunden; Max: 75,6 Minuten) und bis zum Einführen des Endotrachealtubus im Median 7,4 Minuten (Min: 40 Sekunden; Max: 76,1 Minuten). Auf dem NAW „Florian 1/70/1“ erfolgte die Laryngoskopie im Median nach 4,2 Minuten (Max: 45 Sekunden; Max: 23,6 Minuten), das Einführen des Endotrachealtubus nach 4,3 Minuten (Min: 1,1 Minuten; Max: 24,2 Minuten) (vgl. Abb.: 6.1.2.-5).

Im Median betrug der Zeitabstand (NE.Int) vom Notrufeingang (NE) bis zum Einführen des Endotrachealtubus (Int) 30,3 Minuten (Min: 3,1 Minuten; Max: 120,5 Minuten). Er lag bei den Einsätzen des RTH „Christoph 1“ bei 35,6 Minuten (Min: 5,4 Minuten; Max: 120,5 Minuten) und bei den Einsätzen des NAW „Florian 1/70/1“ bei 12,6 Minuten (Min: 3,1 Minuten; Max: 40,5 Minuten) (vgl. Abb.: 6.1.2.-5).

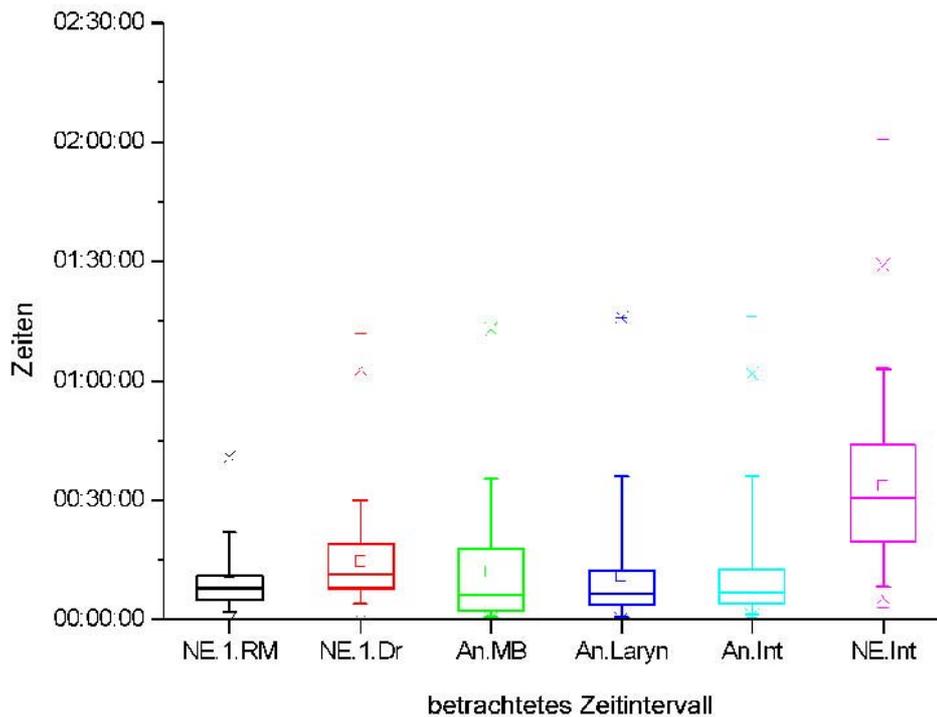


Abbildung 6.1.2-5: Boxplot Zeitintervalle (n=103)

Zweiter Intubationsversuch

In 28 Fällen (13,5% von n_{ges}) mußte ein zweiter Intubationsversuch unternommen werden.

Der zweite Intubationsversuch wurde, in allen 28 Fällen, vom Notarzt des Studienrettungsmittels über den oralen Zugangsweg durchgeführt.

Einehbarkeit der Stimmbandebene zweiter Intubationsversuch im Gesamtkollektiv

Die Einehbarkeit der Stimmbandebene beim zweiten Intubationsversuch wurde vom Intubierenden in neun Fällen (4,3% von n_{ges}) als komplett einsehbar, in 12 Fällen (5,8% von n_{ges}) als teilweise einsehbar und in fünf Fällen (2,4% von n_{ges}) als gar nicht einsehbar beurteilt. In zwei Fällen (1% von n_{ges}) erfolgte keine Beurteilung der Stimmbandebene.

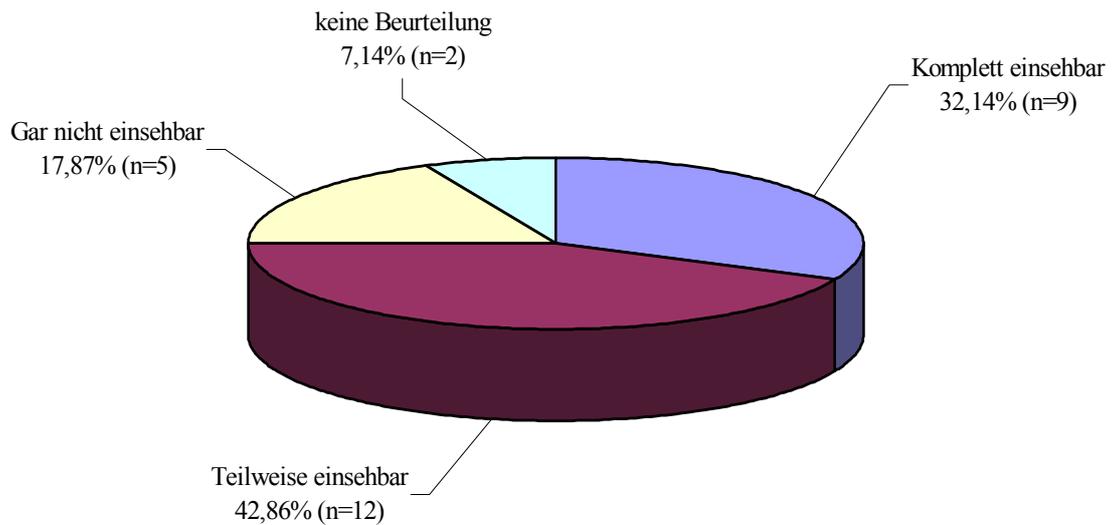


Abb.: 6.1.2.-11: Einsehbarkeit der Stimmbandenebene zweiter Intubationsversuch Gesamtkollektiv (n=28)

Intubationserschwernisse zweiter Intubationsversuch im Gesamtkollektiv

Eine zu geringe Mundöffnung wurde in neun Fällen (4,3% von n_{ges}) als Intubationserschwernis dokumentiert. Anatomische Besonderheiten führten in acht Fällen (3,9% von n_{ges}) zu Intubationserschwernissen. Beim zweiten Intubationsversuch wurden in drei Fällen (1,5% von n_{ges}) keine Intubationserschwernisse angegeben. Eine weitere Aufschlüsselung der Intubationserschwernisse im zweiten Intubationsversuch ist der Abbildung 6.1.2.-12 zu entnehmen.

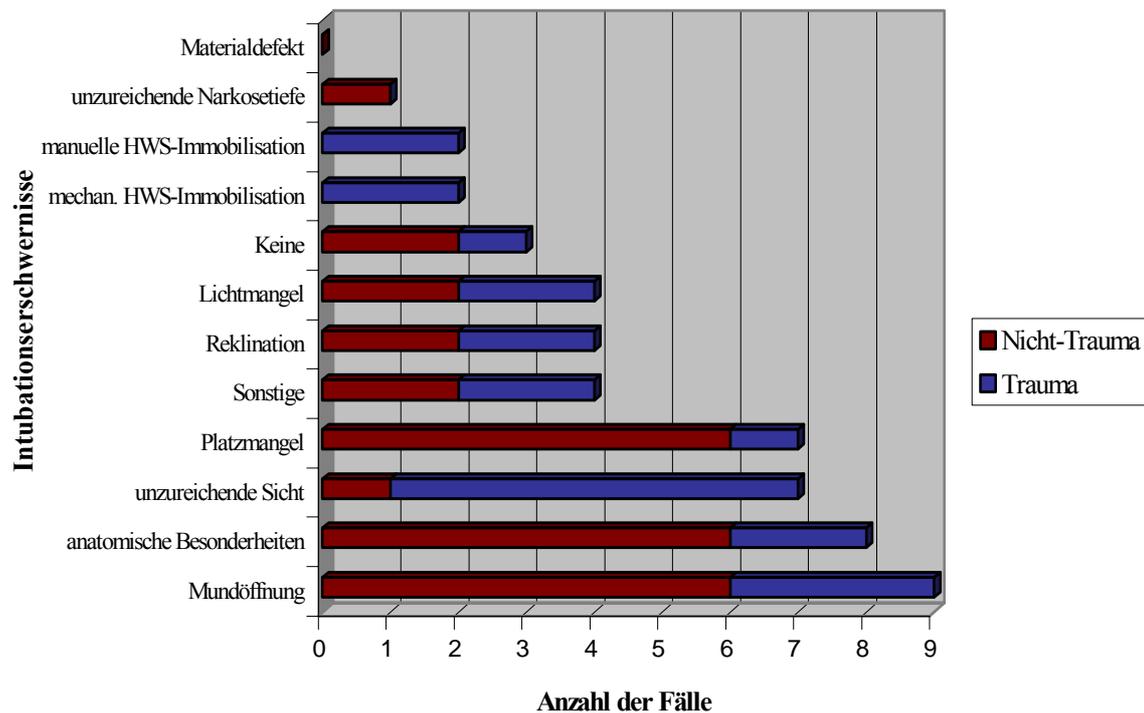


Abb.: 6.1.2.-12: Intubationsschwernisse zweiter Intubationsversuch Gesamtkollektiv (n=28)

Intubationshilfsmittel zweiter Intubationsversuch im Gesamtkollektiv

Der Führungsstab kam als häufigstes Intubationshilfsmittel bei 11 Patienten (5,3% von n_{ges}) beim zweiten Intubationsversuch zum Einsatz. Der sogenannte Sellik-Handgriff wurde in 10 Fällen (4,8% von n_{ges}) durchgeführt. Bei fünf der zweiten Intubationsversuche (2,4% von n_{ges}) wurde kein Intubationshilfsmittel verwendet.

Daten zur Narkoseeinleitung zweiter Intubationsversuch im Gesamtkollektiv

Ein weiteres sedativ wirkendes Medikament kam in vier Fällen zum Einsatz. In zwei Fällen wurde Etomidate (Dosis im Median 25 mg (Min: 10 mg; Max: 40 mg)) und in je einem Fall Midazolam (Dosis von 5 mg) bzw. Thiopental (Dosis von 100 mg) verabreicht.

Als analgetisch wirkendes Medikament wurde in allen sechs Fällen Fentanyl verabreicht (Dosis im Median 0,2 mg (Min: 0,1 mg; Max: 0,2 mg)).

Eine weitere Relaxierung wurde in zwei Fällen durchgeführt. In beiden Fällen erfolgte die Verwendung von Succinylcholin (Dosis im Median 200 mg (Min: 100 mg; Max: 300 mg)).

6.1.3. Spezielle Ergebnisse zur Kapnometrie im Gesamtkollektiv

Die Intubationsindikationen für den Einsatz der Kapnometriegeräte sind in der Einteilung nach Trauma/kein Trauma vergleichbar. Bei genauerer Betrachtung ergeben sich trotzdem einige Unterschiede bezüglich der Verteilung der Einzelindikationen (vgl. Tab. 6.1.3.-1)

Tabelle 6.1.3.-1: Intubationsindikationen nach Kapnometer

	CO2ntrol one™	LP 12®	Pocket Cap™	Gesamt
Reanimation	28	13	29	70
Polytrauma	16	8	21	45
SHT	8	4	13	25
Intoxikation	2	4	12	18
Apoplex	4	3	7	14
dekompensierte Herzinsuffizienz	5	0	2	7
Bewusstlos	3	1	0	4
Ateminsuffizienz	1	1	4	6
Status Epilepticus	1	0	0	1
Status Asthmaticus	2	0	1	3
Thoraxtrauma	1	0	1	2
Sonstige	7	1	4	12
Gesamt	78	35	94	207
Trauma	32	16	42	90
Kein Trauma	46	19	52	117

Das Geschlecht und Alter der Patienten sowie deren Vitalparameter weisen bei den verwendeten Kapnometriegeräten gegenüber dem Gesamtkollektiv keine signifikanten Unterschiede auf (vgl. Tab. 6.1.3.-2 und Tab. 6.1.3.-3).

Tabelle 6.1.3.-2: Alter der Patienten im Median nach Kapnometer

	Geschlecht (% von n _{ges})		Alter	Alter	
	Männlich	Weiblich		Männlich	Weiblich
CO ₂ ntrol one™ (n=78)	54 (26,1%)	24 (11,6%)	57,7 J.	56,2 J.	67,1 J.
LifePak 12® (n=35)	23 (11,1%)	12 (5,8%)	53,7 J.	42,0 J.	68,9 J.
Pocket Cap™ (n=94)	59 (28,5%)	31 (15,0%)	59,2 J.	54,7 J.	64,1 J.

Tabelle 6.1.3.-3: Vitalparameter der Patienten im Median nach Kapnometer

	Median Blutdruck systolisch (n)	Median Puls (n)	Median Atemfrequenz (n)	Median SpO₂ (n)	Median GCS (n)
CO ₂ ntrol one™ (n=78)	120 mmHg (51)	96/min (57)	10/min (74)	94% (45)	3 (74)
LifePak12® (n=35)	120 mmHg (23)	89,5/min (26)	10/min (31)	96% (16)	3 (35)
Pocket Cap™ (n=94)	120 mmHg (59)	96/min (64)	10/min (91)	95% (56)	3 (92)

Das Kapnometriegerät CO₂ntrol one™ kam in 78 Fällen (37,7% von n_{ges}) zum Einsatz. 38 dieser Einsätze (18,4% von n_{ges}) wurden von Studienassistenten auf erweiterten Dokumentationsprotokollen dokumentiert.

Das Kapnometriemodul des LifePak 12® wurde in 35 Fällen (16,9% von n_{ges}) verwendet. 28 Einsätze (13,5% von n_{ges}) wurden von einem Studienassistenten begleitet und in dem erweiterten Dokumentationsprotokoll dokumentiert.

Das Pocket Cap™ wurde in 93 Fällen (44,9% von n_{ges}) verwendet. 37 Fälle (17,9% von n_{ges}) wurden durch Studienassistenten und 56 Fälle (27,0% von n_{ges}) durch Notärzte dokumentiert.

Dauer bis zur Einsatzbereitschaft der Kapnometriegeräte

Die Dauer bis zur Einsatzbereitschaft der Kapnometriegeräte variiert stark nach Gerät sowie bei seiner Verwendung auf einem Rettungsmittel. Die längste Zeit bis zur Einsatzbereitschaft im Median wurde bei dem Kapnometer Pocket Cap™, vor allem auf dem RTH „Christoph 1“, dokumentiert (vgl. Tab. 6.1.3.-4)

Tabelle 6.1.3.-4: Dauer bis Einsatzbereitschaft der Kapnometriegeräte in Sekunden

	CO₂ntrol one™ (Min; Max)	LifePak 12® (Min; Max)	Pocket Cap™ (Min; Max)
RTH „Christoph 1“ (n=89)	5 Sek. (2 Sek.; 120 Sek.)	10 Sek. (3 Sek.; 40 Sek.)	25 Sek. (3 Sek.; 35 Sek.)
NAW „Florian 1/70/1“ (n=14)	10 Sek. (5 Sek.; 15 Sek.)	15 Sek. (7 Sek.; 20 Sek.)	4 Sek. (3 Sek.; 15 Sek.)
Gesamt (n=103)	5 Sek. (2 Sek.; 120 Sek.)	10 Sek. (3 Sek.; 40 Sek.)	22,5 Sek. (3 Sek.; 35 Sek.)

Dauer bis zur Kapnometrieanzeige

Die Dauer bis zur Kapnometrieanzeige, nach dem Einbringen des Kapnometers in den Atemstrom, ist im Bezug auf dessen Bestimmung nach Beatmungshüben vergleichbar (vgl. Tab.6.1.2.-4 und Tab. 6.1.2.-5). Die Bestimmung in Sekunden variiert stark je Gerät.

Tabelle 6.1.3.-5: Dauer bis zur Kapnometrieanzeige in Sekunden

	CO₂ntrol one™ (Min; Max)	LifePak 12® (Min; Max)	Pocket Cap™ (Min; Max)
RTH „Christoph 1“ (n=89)	5 Sek. (2 Sek.; 34 Sek.)	10 Sek. (0 Sek.; 130 Sek.)	5 Sek. (3 Sek.; 180 Sek.)
NAW „Florian 1/70/1“ (n=14)	5 Sek. (5 Sek.; 10 Sek.)	7 Sek. (3 Sek.; 10 Sek.)	10 Sek. (3 Sek.; 29,1 Min.)
Gesamt (n=103)	5 Sek. (2 Sek.; 34 Sek.)	9 Sek. (0 Sek.; 130 Sek.)	8 Sek. (0 Sek.; 29,1 Min.)

Tabelle 6.1.3.-6: Dauer bis zur Kapnometrieanzeige in Beatmungshüben

	CO₂ntrol one™ (Min; Max)	LifePak 12® (Min; Max)	Pocket Cap™ (Min; Max)
RTH „Christoph 1“ (n=89)	1 Hub (1 Hub; 7 Hübe)	1 Hub (1 Hub; 6 Hübe)	2 Hüben (1 Hub; 100 Hübe)
NAW „Florian 1/70/1“ (n=14)	1,5 Hübe (1 Hub; 15 Hübe)	1 Hub (1 Hub)	1 Hub (1 Hub; 30 Hübe)
Gesamt (n=103)	1,25 Hübe (1 Hub; 15 Hübe)	1 Hub (1 Hub; 6 Hübe)	1,5 Hübe (1 Hub; 100 Hübe)

6.1.4. Verifizierung der Tubuslage im Gesamtkollektiv

Erster Intubationsversuch:

Nach jeder der 207 dokumentierten Intubationen (n_{ges} ; ☞ **A1**), erfolgte die Verifizierung der Tubuslage durch den Intubierenden, anhand der nichtapparativen klinischen Parameter (☞ **B1**). Der Intubierende definierte die Tubuslage in 174 Fällen (84,1% von n_{ges}) als sicher endotracheal (☞ **C1**) und in zehn Fällen (4,8% von n_{ges}) als sicher oesophageal (☞ **C3**). In 23 Fällen (11,1% von n_{ges}) blieb die Tubuslage unsicher (☞ **C2**).

In allen 174 Fällen mit sicher endotrachealer Tubuslage (☞ **D1**) und in 11 Fällen (5,3% von n_{ges}) mit unsicherer Tubuslage (☞ **D2**) erfolgte der Einsatz eines Kapnometrierätes (☞ **E1**). In den zehn Fällen mit sicher oesophagealer Tubuslage (☞ **D4**) sowie in 12 Fällen mit

unsicherer Tubuslage (☞D3) erfolgte eine erneute Laryngoskopie und ein zweiter Intubationsversuch (☞E2).

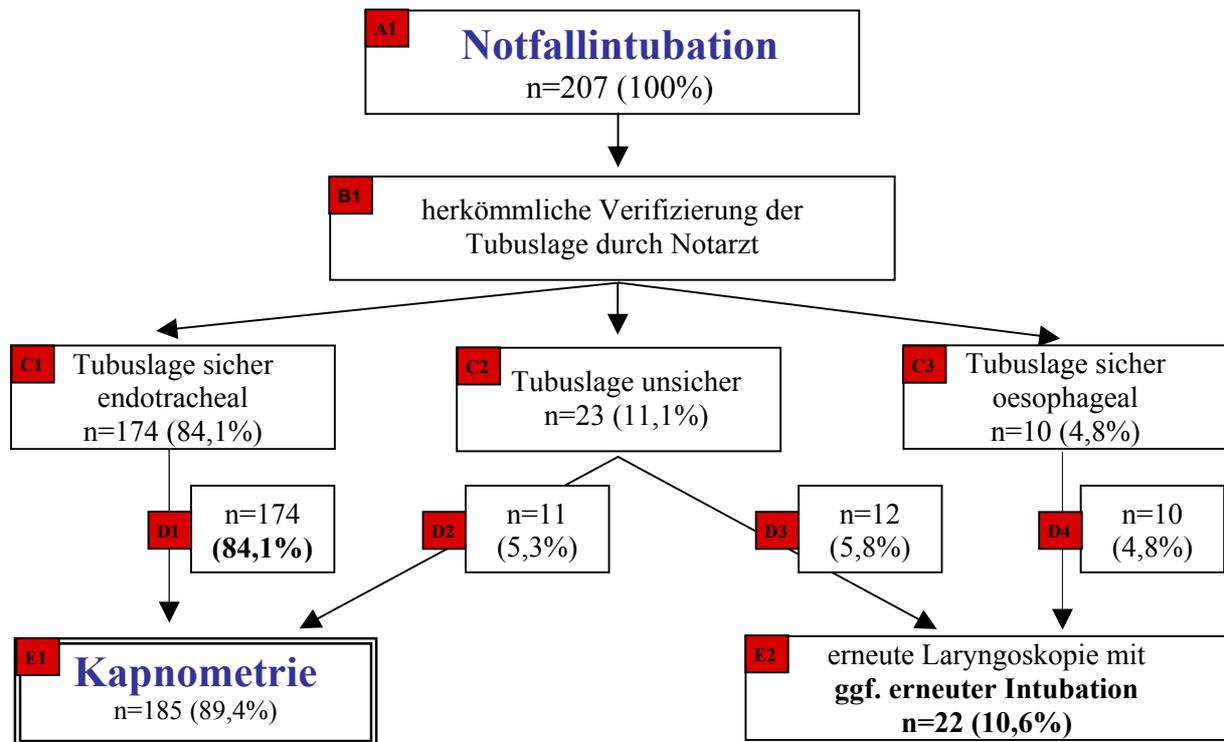


Abb.: 6.1.4.-1: Klinische Verifizierung der Tubuslage im Gesamtkollektiv (n=207)

Nach dem Einsatz des Kapnometriegerätes gab der Intubierende in 166 Fällen (80,2% von n_{ges}) eine sicher endotracheale Tubuslage (☞F1), in einem Fall (0,5% von n_{ges}) eine sicher oesophageale Tubuslage (☞F3) und in 18 Fällen (8,7% von n_{ges}) eine unsichere Tubuslage an (☞F2). In allen 166 Fällen mit sicher endotrachealer Tubuslage (☞G1) und in 13 Fällen (6,3% von n_{ges}) mit einer weiterhin unsicheren Tubuslage (☞G2), erfolgte die weitere Versorgung des Patienten (☞H1) und die endgültige Verifizierung der Tubuslage, durch das erstaufnehmende Krankenhaus (☞I).

In dem Fall mit sicher oesophagealen Tubuslage nach Kapnometrie (☞G4) und in fünf Fällen (2,4% von n_{ges}) mit einer weiterhin unsicheren Tubuslage (☞G3) erfolgte eine erneute Laryngoskopie und ein zweiter Intubationsversuch (☞H2).

Die endgültige Verifizierung der Tubuslage durch das erstaufnehmende Krankenhaus (n=179; ☞J) bestätigte in allen Fällen die vorher als sicher endotracheal definierte Tubuslage.

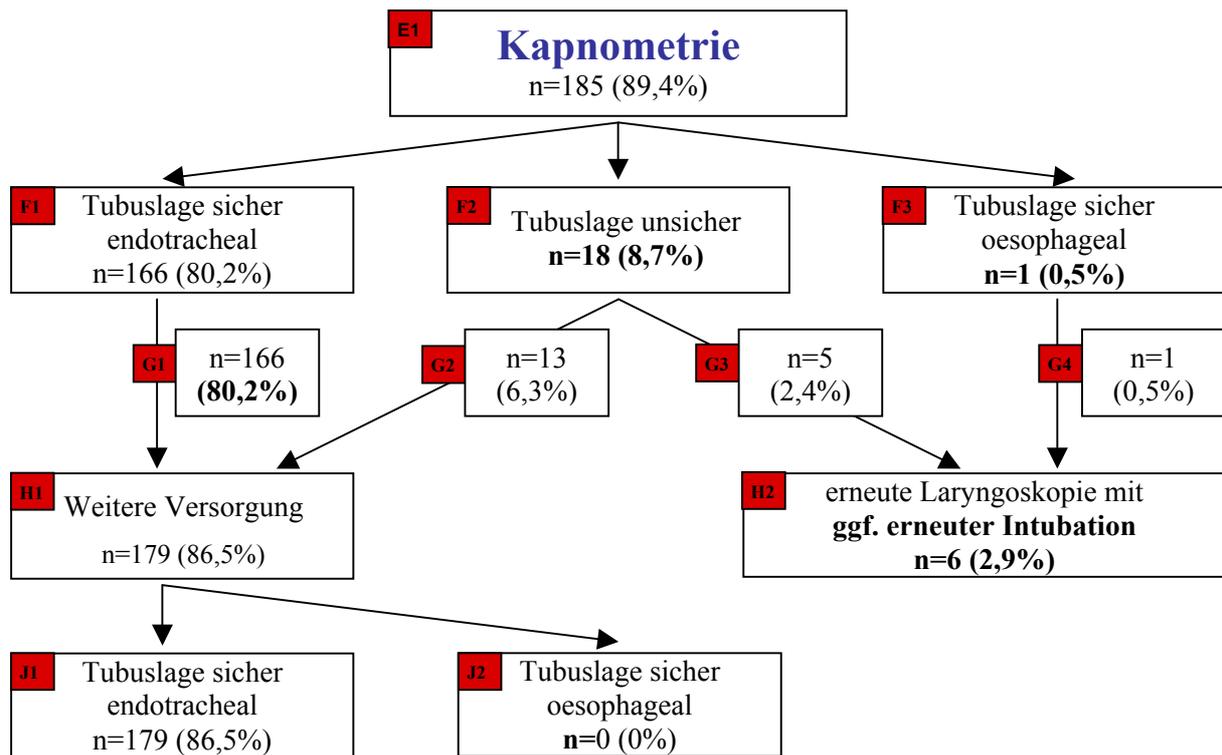


Abb.: 6.1.4.-2: Verifizierung der Tubuslage mit Kapnometrie im Gesamtkollektiv (n=185)

Zweiter Intubationsversuch

Bei allen 28 zweiten Intubationsversuchen (13,5% n_{ges} ; ☞ A1), erfolgte die Verifizierung der Tubuslage durch den Intubierenden, erneut zuerst anhand der nichtapparativen klinischen Parameter (☞ B1). Der Intubierende definierte die Tubuslage in 25 Fällen (12,1% von n_{ges}) als sicher endotracheal (☞ C1) und in keinem Fall als sicher oesophageal (☞ C3). In den weiteren drei Fällen (1,5% von n_{ges}) blieb die Tubuslage unsicher (☞ C2).

In allen 25 Fällen mit sicher endotrachealer Tubuslage (☞ D1) und in zwei Fällen (1,0% von n_{ges}) mit einer weiterhin unsicheren Tubuslage (☞ D2), erfolgte der Einsatz eines Kapnometriergerätes (☞ E1). In keinem Fall wurde ein weiterer Intubationsversuch unternommen (☞ E2).

Nach dem Einsatz des Kapnometriergerätes gab der Intubierende in 23 Fällen (11,1% von n_{ges}) eine sicher endotracheale Tubuslage (☞ F1), in keinem Fall eine sicher oesophageale Tubuslage (☞ F3) und in vier Fällen (2,3% von n_{ges}) eine unsichere Tubuslage an (☞ F2).

In allen 23 Fällen mit sicher endotrachealer Tubuslage (☞ G1) und in vier Fällen mit einer weiterhin unsicheren Tubuslage (☞ G2), erfolgte die weitere Versorgung des Patienten (☞ H1) und die endgültige Verifizierung der Tubuslage durch das erstaufnehmende Krankenhaus (☞ I).

Die endgültige Verifizierung der Tubuslage durch das erstaufnehmende Krankenhaus (n=11;
 ☞ **J1**) bestätigte in allen Fällen die vorher als sicher endotracheal definierte Tubuslage.

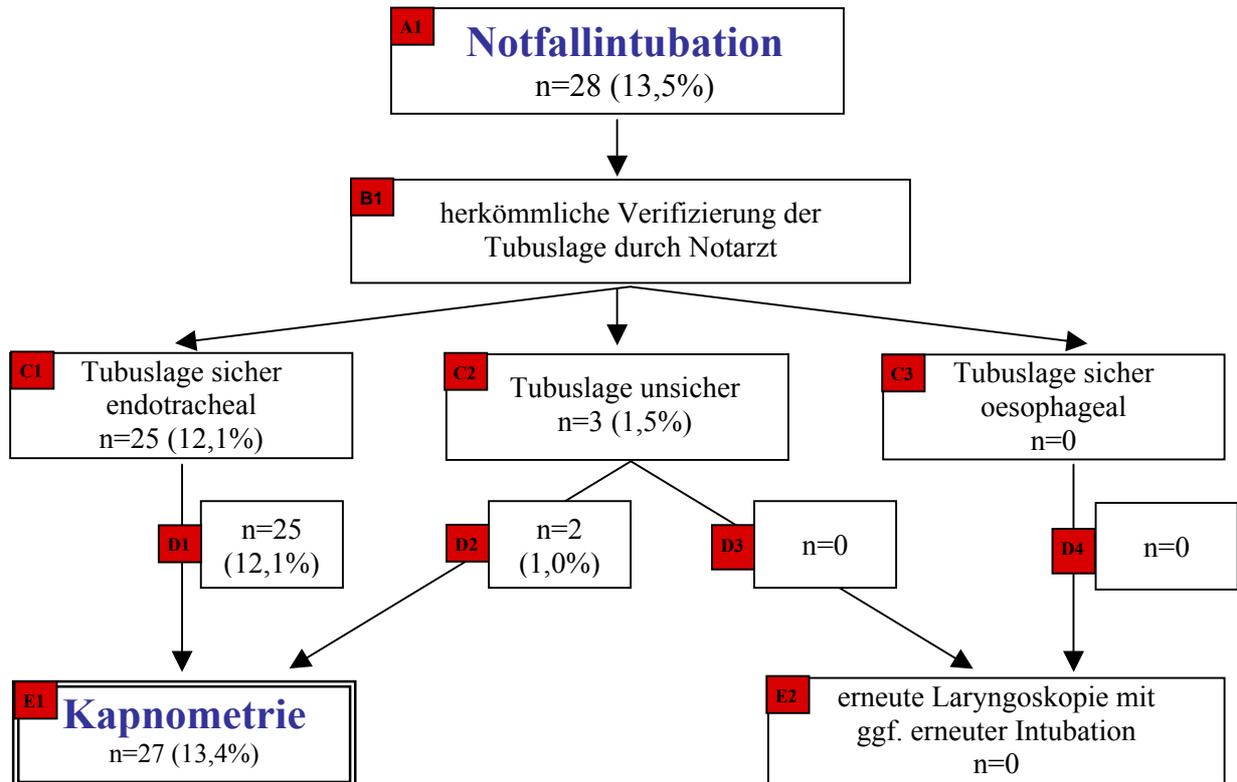


Abb.: 6.1.4.-3: Klinische Verifizierung der Tubuslage 2. Intubationsversuch im Gesamtkollektiv (n=28)

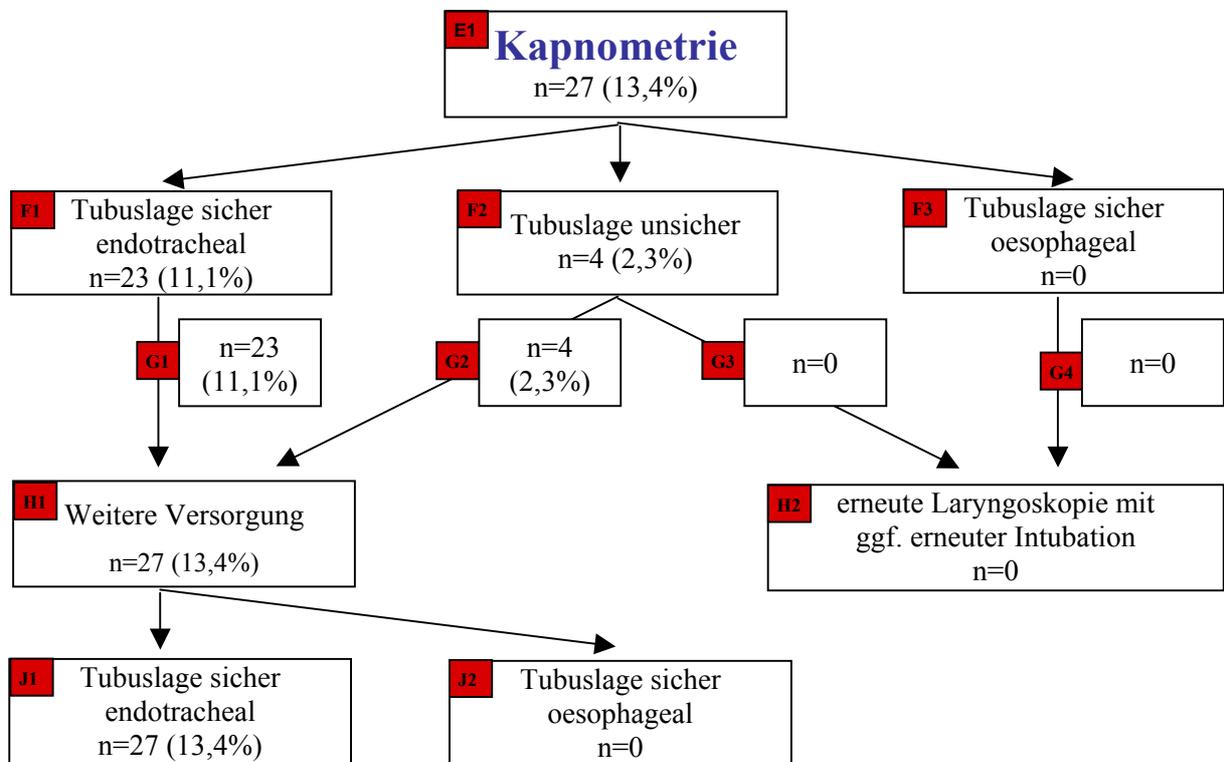


Abb.: 6.1.4.-4: Verifizierung der Tubuslage mit Kapnometrie 2. Intubationsversuch Gesamtkollektiv (n=27)

6.1.5. Bewertung der Kapnometriegeräte im Gesamtkollektiv

Die Kapnometriegeräte wurden vom jeweils Intubierenden in ihren Vor- und Nachteilen sowie unter den Gesichtspunkten der Einsatzbereitschaft, Handhabung, Ablesbarkeit der Anzeige, Kontinuität der Anzeige und dem Gesamteindruck beurteilt. Die Notengebung entspricht der der Schulnoten: 1 = sehr gut; 6 = ungenügend.

CO₂ntrol one™:

Die in dieser Studie gefundenen Vor- und Nachteile sind im Folgenden kurz dargestellt:

- Vorteile:**
- Das CO₂ntrol one™ verfügt über ein sehr geringes Gewicht (9g) und handliche Abmessungen. Dies ermöglicht seine Verwendung auch an räumlich beengten Einsatzstellen.
 - Das CO₂ntrol one™ verfügt über eine optische Kontrolle der Beatmung. Durch den Farbumschlag jedes einzelnen Atemzuges, von bis zu einer Frequenz von 50 Atemzügen pro Minute ist eine Überwachung jedes Atemzuges möglich.
 - Seine Verwendung ist leicht und unproblematisch:
Das Gerät wird zwischen Beatmungstubus und dem Beatmungsfilter in den Atemstrom eingefügt. Es ist kein zusätzliches Kabel notwendig.
 - Die Einsatzbereitschaft kann schnell hergestellt werden.
Das Gerät muß aus der Verpackung genommen und die Indikatorplatte aufgesteckt werden. Danach ist es sofort einsatzbereit.
 - Das kleine, handliche Gerät, kann, da es sich um einen Einmalartikel handelt, auch in der frühen klinischen Phase am Patienten verbleiben und damit eine lückenlose Überwachung der Beatmung ermöglichen. Durch die lange Einsatzmöglichkeit von bis zu 24 Stunden, kann es noch im OP oder der frühen intensivmedizinischen Betreuung zur Anwendung kommen.

Nachteile: • Das CO₂ntrol one™ verfügt über keinerlei Alarmfunktion.

Fehlendes etCO₂, eine Leckage im Atemstrom, oder eine Diskonnektion kann nur bei kontinuierlicher Beobachtung der Farbveränderung der Indikatorplatte, erkannt werden.

- Die Indikatortafel kann beim präklinischen Einsatz leicht verloren gehen. Die Indikatortafel wird separat von der Küvette, in der gleichen Verpackung geliefert. Beim Öffnen der Verpackung kann die Indikatorplatte verloren gehen. Das Gerät ist damit unbrauchbar.
- Eine Diskonnektion der Indikatorplatte ist leicht möglich. Ein offener Atemstrom mit Konsequenzen für die Beatmung des Patienten, ist hiervon die Folge.
- Die Indikatorplatte ist in der Dunkelheit und bei direkter Sonneneinstrahlung nicht sicher abzulesen. Der Vergleich mit der angefügten Skala gestaltet sich unter diesen Umständen bisweilen als schwierig.
- Das CO₂ntrol one™ verliert seine Funktion bei Flüssigkeit im Adapter. Ein fehlender oder falscher CO₂-Wert kann dadurch angezeigt werden.
- Durch eine längere oder nicht sachgemäße Lagerung kann das CO₂ntrol one™ seine Funktion verlieren.

Das Gerät ist mit einem Ablaufdatum versehen. Danach darf es nicht mehr verwendet werden. Sollte beim Öffnen der Verpackung die Indikatorplatte eine blaue Farbe anzeigen, kann die chemische Indikatorsubstanz nicht mehr mit dem etCO₂ reagieren. Das CO₂ntrol one™ kann, gemäß der Gebrauchsanweisung vom Hersteller, nur bei Zimmertemperatur von bis zu 20°C gelagert werden. Diese Temperaturen sind, auf dem Rettungshubschrauber bzw. dem NAW, gerade im Sommer bei Innenraumtemperaturen bis über 40°C, vermutlich oft nicht einzuhalten.

Das CO₂ntrol one™ wurde im Gesamtkollektiv unter den Gesichtspunkten Einsatzbereitschaft, Handhabung, Ablesbarkeit der Anzeige, Kontinuität der Anzeige und Gesamteindruck im Median mit der Note 2,0 (Min: 6,0; Max: 1,0) bewertet.

Die Gesamtnote des CO₂ntrol one™ beträgt im Median 2,2 (Min: 6,0; Max: 1,0).

Tabelle 6.1.5.-1: Bewertung des CO₂ntrol one™ im Median nach Rettungsmitteln

	RTH „Christoph 1“	NAW „Florian 1/70/1“	NEF „RK 1510“	RTH „Christoph 17“
	(Min; Max)	(Min; Max)	(Min; Max)	(Min; Max)
Einsatzbereitschaft	1,0	2,0	1,0	2,0
	(2,0; 1,0)	(4,0; 1,0)	(3,0; 1,0)	(6,0; 1,0)
Handhabung	2,0	2,0	1,0	3,0
	(3,0; 1,0)	(4,0; 1,0)	(2,0; 1,0)	(6,0; 2,0)
Ablesbarkeit der Anzeige	2,0	3,0	2,5	2,5
	(5,0; 1,0)	(6,0; 1,0)	(6,0; 1,0)	(6,0; 2,0)
Kontinuität der Anzeige	2,0	3,0	2,0	5,5
	(6,0; 1,0)	(6,0; 1,0)	(6,0; 1,0)	(6,0; 3,0)
Gesamteindruck	2,0	3,0	2,0	4,5
	(5,0; 1,0)	(5,0; 1,0)	(6,0; 1,0)	(6,0; 3,0)
Gesamtbewertung	2,2	2,6	1,8	3,1
	(3,6; 1,0)	(4,1; 1,2)	(6,0; 1,0)	(6,0; 2,6)

Kapnometriemodul des LifePak 12®:

Der LifePak 12® Monitor und Defibrillator ist ein kompakter Überwachungsmonitor für Atmung und Kreislauffunktionen mit integriertem Defibrillator.

Die Vor- und Nachteile dieses Gerätes sind im folgendem kurz zusammengefasst:

Vorteile: • Das LifePak 12® ist ein kompakter Monitor mit integrierter Überwachungsfunktion und Defibrillator.

Die Überwachung der Vitalfunktionen des Patienten kann komplett über diesen Monitor erfolgen. Alle Patientenkabel sind so angeordnet, daß sie vom Patienten in eine Richtung wegführen und somit den Überblick im Einsatzgeschehen erleichtern. Die wichtigsten Messwerte sind alle, auf einem Monitorfeld, auf einen Blick verfügbar.

- Das LifePak 12® verfügt zusätzlich zur Kapnometrie auch über Kapnographie. Durch die Anzeige einer kontinuierlichen Kapnographiekurve können Trends sowie Beatmungsprobleme in ihrem Verlauf schneller erfasst werden.

- Das LifePak 12® verfügt über eine Alarmfunktion bei Apnoe bzw. Diskonnektion.

Die Alarmfunktion bei Diskonnektion und Apnoe weist auf ein Problem mit der Beatmung hin. Der Alarm tritt in Aktion, wenn 30 Sekunden lang kein Atemzug mit einem $\text{etCO}_2 > 8\text{mmHg}$ gemessen wird. Durch ein Aufleuchten des betroffenen Feldes bzw. eines Schriftzuges ist es bei diesem kompakten Monitor leicht möglich schnell den für den Alarm verantwortlichen Parameter zu erkennen. Die Kapnographie zeigt auch bei $\text{etCO}_2 > 8\text{mmHg}$ eine Kurve an, die zur Verifizierung der Tubuslage herangezogen werden kann.

- Das LifePak 12® ist in sehr kurzer Zeit nach dem Einschalten einsatzklar. Die Software wird schnell geladen und verursacht keine Verzögerungen. Die Anschlüsse für die einzelnen Überwachungsmodule sind einfache Steckverbindungen die leicht konnektiert werden können. Die Adapter sind jeweils nur für einen Anschluss kompatibel und die Anschlüsse verfügen zusätzlich über eine Beschriftung. Es besteht dadurch keine Verwechslungsgefahr.
- Zusätzlich bietet das Gerät noch die Möglichkeit der Dokumentation der Ereignisse. Diese Funktion aktiviert sich für Vitalparameter automatisch. Weitere Informationen, über z.B. verabreichte Medikamente, können zusätzlich eingegeben werden.
- Das LifePak 12® verfügt über weitere Ausstattungsdetails. Dieses Gerät verfügt über die Möglichkeit, die Beleuchtung des Monitors zu variieren und kann damit auch unter erschwerten Umgebungsbedingungen gut abgelesen werden. Ein Tragegurt und eine Haltevorrichtung für Rettungsdienst-Tragen vereinfachen die Anwendung am Einsatz.

Nachteile: • Das LifePak 12® ist, im Gegensatz zu den anderen getesteten Geräten, relativ schwer (9kg) und groß.

Durch seine Kompaktheit weist das Gerät ein relativ hohes Eigengewicht (9kg) auf. Gerade im Bereich der Luftrettung, mit vielen Einsätzen in unwegsamem Gelände die z.T. nur über ein Bergetau bzw. eine Winde zugänglich sind, erwies es sich, trotz Schultergurt, als zu unhandlich und zu schwer.

- Der Probenschlauch des Kapnometriemoduls verfügt als einziges Kabel über eine Schraubverbindung. Diese Verbindung begünstigt eine versehentliche Extubation durch Kabelzug, da das einzig fest angeschlossene Kabel auch das kürzeste ist. Es kann sich unter Zug nicht am Gerät diskonnektieren kann.
- Funktionsverlust bei Flüssigkeit im Adapter (Blut, Erbrochenes).
Bei Blut, Erbrochenem oder anderen Flüssigkeiten in der Küvette bzw. im Probenschlauch wird kein, bzw. ein falscher CO₂-Wert angezeigt. Die Kapnometrieanzeige, sowie die Kapnographiekurve wird dadurch unbrauchbar. Durch einen Wechsel der Küvette und des Probenschlauches ist das Gerät wieder einsatzbereit.
- Akkukapazität
Zu Studienbeginn traten gehäuft Probleme (n=22) mit der Kapazität der beiden Nickel-Cadmium-Akkus auf. Bei der Anwendung aller Monitorfunktionen inklusive einer drei minütlichen Blutdruckmessung war die Akkukapazität sehr begrenzt. Nachdem der Patient komplett verkabelt war, fiel der Monitor aus. Dies ist der Grund für die deutlich schlechtere Benotung des LifePak 12® in der ersten Phase dieser Studie. Im weiteren Verlauf wurde, durch ein neues Akkuladegerät, sowie haltbarere Nickel-Cadmium-Akkus, die Kapazität deutlich erweitert. Der Einsatz im Luftrettungsdienst war daraufhin problemlos.

Das LifePak 12® wurde von den Notärzten im Gesamtkollektiv unter den Gesichtspunkten Einsatzbereitschaft, Handhabung, Ablesbarkeit der Anzeige, Kontinuität der Anzeige und Gesamteindruck im Median mit der Note 2,0 (Min: 6,0; Max: 1,0) bewertet.

Die Gesamtnote des Kapnometriemoduls des LifePak 12® beträgt im Median 2,0 (Min: 6,0; Max: 1,0).

Tabelle 6.1.5.-2: Bewertung des LifePak 12® im Median nach Rettungsmittel

	RTH „Christoph 1“	NAW „Florian 1/70/1“
	(Min; Max)	(Min; Max)
Einsatzbereitschaft	1,0	3,0
	(6,0; 1,0)	(5,0; 2,0)
Handhabung	2,0	2,0
	(6,0; 1,0)	(4,0; 1,0)
Ablesbarkeit der Anzeige	2,0	2,0
	(6,0; 1,0)	(3,0; 1,0)
Kontinuität der Anzeige	1,0	1,5
	(6,0; 1,0)	(5,0; 1,0)
Gesamteindruck	2,0	3,0
	(6,0; 1,0)	(4,0; 1,0)
Gesamtbewertung	2,0	2,7
	(6,0; 1,0)	(3,6; 1,2)

Pocket Cap™:

Vor- und Nachteile des Pocket Cap™ sind im Folgenden kurz dargestellt.

- Vorteile:**
- Kleines handliches Gerät mit geringen Abmessungen und Gewicht (156g).
Das Pocket Cap™ ist ein kleines, handliches und robust gebautes Kapnometer. Durch seine geringe Größe kann es auch an räumlich beengten Platzverhältnissen verwendet werden.
 - Das Pocket Cap™ ist schnell einsatzklar.
Nach dem Einschalten durchläuft das Gerät einen internen Prüfzyklus, der bereits abgeschlossen ist, bevor die Küvette komplett eingesetzt ist. Danach ist das Gerät sofort meßbereit.
 - Es besteht die Möglichkeit der akustischen und optischen Anzeige der Beatmung.
 - Das Pocket Cap™ verfügt über eine Alarmfunktion bei Apnoe/Diskonnektion.
Das Gerät liefert einen akustischen Alarm, sollte für 20 Sekunden kein CO₂ mehr in der Ausatemluft gemessen werden. Dieser Alarm läßt sich nur für 60 Sekunden quittieren und geht danach in einen Daueralarm über. Ein „Vergessen“ des ausgeschalteten Alarmes ist damit unmöglich.

- Das Gehäuse des Pocket Cap™ ist in einer Warnfarbe gehalten.
Durch seine orange Warnfarbe, bzw. durch die rote Farbe der Schutztasche ist das Gerät leicht erkennbar und ein Verlust im Einsatzgeschehen ist nicht so leicht möglich.

- Nachteil:**
- Bei Sonneneinstrahlung ist die Anzeige nicht immer sicher ablesbar.
Die LED-Anzeige des Gerätes ist am besten bei Dunkelheit abzulesen. Bei starker Sonneneinstrahlung ist es nahezu unmöglich, genaue CO₂-Werte abzulesen. Die akustische Anzeige von CO₂ in der Ausatemluft ersetzt nicht den angezeigten Wert.
 - Die Küvette kann nur in einer Richtung aufgesteckt werden und führt damit zu Verzögerung der Einsatzbereitschaft.
Im Einsatzgeschehen gestaltete es sich manchmal schwierig die Küvette korrekt in den Adapter einzuschieben und damit das Gerät einsatzklar zu machen. Eine eindeutige Markierung bzw. die Möglichkeit die Küvette in allen möglichen Richtungen in den Adapter schieben zu können würde hier Abhilfe schaffen.
 - Funktionsverlust bei Flüssigkeit im Adapter.
Sollte es zum Eintritt von Flüssigkeit, Blut oder Erbrochenem in den Adapter kommen, wird ein falscher oder kein CO₂-Wert angezeigt. Bei Nicht-Erkennen dieser Komplikation können potentiell falsche Schlüsse gezogen werden.
 - Es gibt keine Vorwarnfunktion für den Ladezustand.
Durch einen plötzlichen Komplettausfall des Gerätes ist die Überwachung des Patienten nicht mehr gegeben.
 - Gefahr des Verlustes/Beschädigung im Einsatzgeschehen
Obwohl dieses Gerät sehr robust gebaut ist kann es zu seiner Beschädigung am Einsatzort kommen. Durch seine geringen Abmessungen und die handliche Bauweise besteht Verlustgefahr im Einsatzgeschehen.

Das Pocket Cap™ wurde von den Notärzten unter den Gesichtspunkten Einsatzbereitschaft, Ablesbarkeit der Anzeige, Kontinuität der Anzeige sowie im Gesamteindruck im Median mit

der Note 2,0 (Min: 6,0; Max: 1,0) bewertet. Unter dem Gesichtspunkt der Handhabung mit der Note 2,0 (Min: 5,0; Max: 1,0).

Die **Gesamtnote** des Pocket Cap™ liegt im Median ebenfalls bei der Note 2,0 (Min: 6,0; Max: 1,0).

Tabelle 6.1.5.-3: Bewertung des Pocket Cap™ im Median nach Rettungsmittel

	RTH „Christoph 1“	NAW „Florian 1/70/1“	RTH „Christoph 17“
	(Min; Max)	(Min; Max)	(Min; Max)
Einsatzbereitschaft	2,0	2,0	1,0
	(3,0; 1,0)	(6,0; 1,0)	(6,0; 1,0)
Handhabung	2,0	2,0	1,0
	(5,0; 1,0)	(5,0; 1,0)	(2,0; 1,0)
Ablesbarkeit der Anzeige	3,0	2,0	2,5
	(6,0; 1,0)	(6,0; 1,0)	(3,0; 1,0)
Kontinuität der Anzeige	2,0	2,0	2,0
	(6,0; 1,0)	(6,0; 1,0)	(6,0; 1,0)
Gesamteindruck	2,0	2,0	2,0
	(5,0; 1,0)	(6,0; 1,0)	(3,0; 1,0)
Gesamtbewertung	2,2	2,0	1,6
	(4,0; 1,4)	(4,6; 1,2)	(6,0; 1,0)

Alle Geräte wurden im Median mit der Note 2,0 bewertet. Es besteht kein signifikanter Unterschied in der Bewertung.

Tabelle 6.1.5.-4: Übersicht Bewertung der Kapnometriergeräte im Median

	CO ₂ ntrol one™	LifePak 12®	Pocket Cap™
	(Min; Max)	(Min; Max)	(Min; Max)
Einsatzbereitschaft	2,0	2,0	2,0
	(6,0; 1,0)	(6,0; 1,0)	(6,0; 1,0)
Handhabung	2,0	2,0	2,0
	(6,0; 1,0)	(6,0; 1,0)	(5,0; 1,0)
Ablesbarkeit der Anzeige	2,0	2,0	2,0
	(6,0; 1,0)	(6,0; 1,0)	(6,0; 1,0)
Kontinuität der Anzeige	2,0	2,0	2,0
	(6,0; 1,0)	(6,0; 1,0)	(6,0; 1,0)
Gesamteindruck	2,0	2,0	2,0
	(6,0; 1,0)	(6,0; 1,0)	(6,0; 1,0)
Gesamtbewertung	2,2	2,0	2,0
	(6,0; 1,0)	(6,0; 1,0)	(6,0; 1,0)

6.2. Subkollektiv Trauma

6.2.1. Allgemeine Ergebnisse

Erster Intubationsversuch

Die Intubation von 90 Personen (43,5% von n_{ges}) erfolgte aufgrund eines Traumas (n_{T}). Die Daten von 62 Einsätzen (68,9% von n_{T}) wurden von einem Studienassistenten, basierend auf dem erweiterten Dokumentationsprotokoll, die von 28 Einsätzen (31,1% von n_{T}) durch den Notarzt des Studienrettungsmittels, basierend auf dem Basisdatensatzprotokoll dokumentiert. 62 Einsätze (68,9% von n_{T}) im Subkollektiv Trauma konnten auf dem RTH „Christoph 1“ und 11 Einsätze (12,2% von n_{T}) auf dem NAW „Florian 1/70/1“ dokumentiert werden. Auf dem NEF „RK 1510“ erfolgte die Dokumentation von vier (4,4% von n_{T}), auf dem RTH „Christoph 17“ die von 13 Einsätzen (14,4% von n_{T}).

Geschlechts- und Altersverteilung im Subkollektiv Trauma

Unter den Intubationen aufgrund eines Traumas waren 21 Patienten (23,3% von n_{T}) weiblichen und 68 Patienten (75,6% von n_{T}) männlichen Geschlechts. Das Alter der Patienten im Subkollektiv Trauma betrug im Median 41,5 Jahre (Min: 3,7 J.; Max 87,6 J.). Dabei lag das Alter der weiblichen Patienten im Median bei 40,7 Jahren (Min: 8,3 J.; Max: 87,6 J.), das der männlichen Patienten bei 41,5 Jahren (Min: 3,7 J.; Max: 78,9 J.).

Vitalparameter im Subkollektiv Trauma

Die Patienten aus dem Subkollektiv Trauma hatten im Median einen systolischen Blutdruck von 120 mmHg (Min: 35 mmHg; Max: 220 mmHg; $n=75$), eine Puls von 92,5/min (Min: 42/min; Max: 180/min; $n=78$) und eine initiale Atemfrequenz von 12 Atemzügen/min (Min: 0 Atemzüge/min; Max: 30 Atemzüge/min; $n=82$). Die primäre Sauerstoffsättigung der Trauma-Patienten betrug im Median 96% (Min: 60%; Max: 100%; $n=61$). Der initiale GCS lag im Median bei vier Punkten (Min: 3 Punkte; Max: 15 Punkte; $n=87$).

Zweiter Intubationsversuch

In 12 Fällen (13,3% von n_{T}) des Subkollektivs Trauma wurde ein zweiter Intubationsversuch durchgeführt. Auf dem RTH „Christoph 1“ wurden 11 dieser Einsätze (12,2% von n_{T}), auf dem RTH „Christoph 17“ ein Einsatz (1,1% von n_{T}) durch den Notarzt dokumentiert. Auf dem NAW „Florian 1/70/1“ und dem NEF „RK 1510“ wurde kein zweiter Intubationsversuch des Subkollektivs Trauma dokumentiert.

6.2.2. Spezielle Ergebnisse zur Intubation im Subkollektiv Trauma

Erster Intubationsversuch

Von den 90 dokumentierten Intubationen wurden 65 (72,2% von n_T) von der Besatzung des jeweiligen Studienrettungsmittels durchgeführt. Die Daten von 38 dieser 65 Einsätze (42,2% von n_T), konnten online durch einen Dokumentationsassistenten, im erweiterten Dokumentationsprotokoll festgehalten werden. Die weiteren 27 Einsätze (30,0% von n_T) wurden vom jeweiligen Notarzt retrospektiv im Basisdatensatzprotokoll dokumentiert. Die Intubation von 25 Patienten (27,8% von n_T) erfolgte bereits vor Eintreffen des Studienrettungsmittels. Eine Maskenbeatmung vor dem Einführen des Laryngoskopes wurde in 22 Fällen durchgeführt. Bei 16 Patienten erfolgte die Intubation ohne vorhergehende Maskenbeatmung.

Durchführung der Intubation im Subkollektiv Trauma

Die Intubation wurde in 60 Fällen (66,7% von n_T) durch den Notarzt und in sechs Fällen (6,7% von n_T) durch den RettAss/RS des Studienrettungsmittels durchgeführt. In 25 Fällen (27,8% von n_T) erfolgte die Intubation vor Eintreffen des Studienrettungsmittels durch die Besatzung des ersten Rettungsmittels am Einsatzort.

Als Zugangsweg zur Intubation wurde in 89 Fällen (98,9% von n_T) der orale und in einem Fall (1,1% von n_T) der nasale Zugangsweg gewählt.

Einschbarkeit der Stimmbandebene

Die Einschbarkeit der Stimmbandebene wurde vom Intubierenden in 49 Fällen (54,4% von n_T) als komplett einsehbar, in 22 Fällen (24,4% von n_T) als teilweise einsehbar und in zehn Fällen (11,1% von n_T) als gar nicht einsehbar beurteilt. In neun Fällen (10,0% von n_T) erfolgte keine Beurteilung der Stimmbandebene.

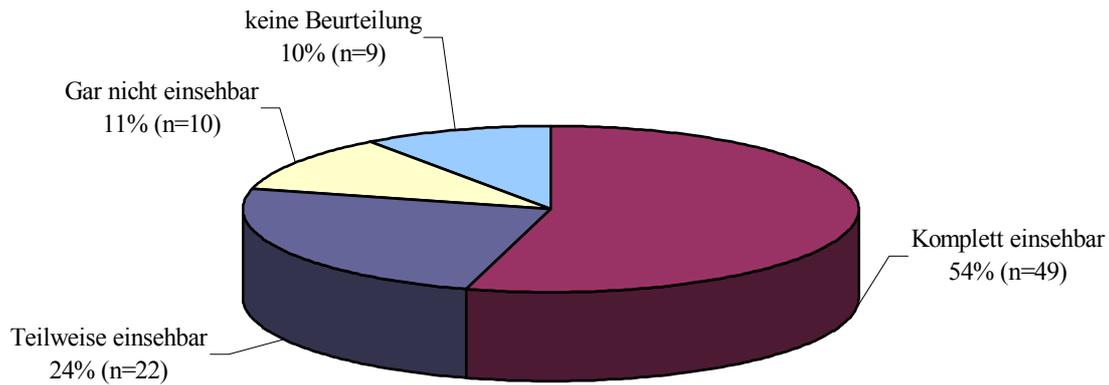


Abb.: 6.2.2.-1: Einsehbarkeit der Stimmbandebene im Subkollektiv Trauma (n=90)

Intubationserschwerisse im Subkollektiv Trauma

Unzureichende Sichtverhältnisse stellen in 25 Fällen (27,8% von n_T), mechanische Immobilisation der HWS in 16 Fällen (17,8% von n_T) und eine mangelnde Mundöffnung in 12 Fällen (13,3% von n_T) Intubationserschwerisse dar (siehe Abb. 6.1.2.-3). 30 Intubationen (33,3% von n_T) konnten ohne Intubationserschwerisse durchgeführt werden.

Intubationshilfsmittel im Subkollektiv Trauma

Die Verwendung eines Führungsstabes erfolgte in 48 Fällen (53,3% von n_T). In je 31 Fällen (34,4% von n_T) wurde der Sellik-Handgriff bzw. eine Absaugvorrichtung verwendet. Die Anwendung von mehreren Intubationshilfsmitteln erfolgte in 21 Fällen (23,3% von n_T), darunter in 10 Fällen (11,1% von n_T) eine Kombination von Führungsstab und Sellik-Handgriff, sowie in 8 Fällen eine Kombination von Führungsstab und Absaugvorrichtung. Eine Intubation ohne Verwendung von Intubationshilfsmitteln erfolgte in 11 Fällen (12,2% von n_T).

Einsatz- und Intubationsrelevante Zeiten

Im Subkollektiv Trauma konnten Daten über die Einsatzzeiten nur auf dem RTH „Christoph 1“ erhoben werden. Im Median betrug die Zeit vom Notrufeingang bis zum Eintreffen des ersten Rettungsmittels acht Minuten (Min: 0,0 Minuten; Max: 0,3 Minuten), bis zum Eintreffen des ersten Arztes am Einsatzort 11 Minuten (Min: 0,0 Minuten; Max: 43 Minuten). In 22 Fällen erfolgte vor der Intubation im Subkollektiv Trauma eine Maskenbeatmung, in 16 Fällen wurde darauf verzichtet. Die Dauer vom Eintreffen der Besatzung des

Studienrettungsmittels beim Patienten (Ankunftszeit) bis zum Beginn der Maskenbeatmung betrug im Median 10,5 Minuten (Min: 2 Minuten; Max: 60 Minuten).

Die Dauer vom Eintreffen der Besatzung des Studienrettungsmittels bei Patienten bis zur Laryngoskopie lag im Median bei 9,3 Minuten (Min: 30 Sekunden; Max: 36,4 Minuten), die bis zum Einführen des Endotrachealtubus bei 10,1 Minuten (Min: 40 Sekunden; Max: 62 Minuten).

Im Median betrug die Zeitspanne vom Notrufeingang bis zum Einführen des Endotrachealtubus 36,2 Minuten (Min: 5,4 Minuten; Max: 120,5 Minuten).

Zweiter Intubationsversuch

In 12 Fällen (13,3% von n_T) erfolgte im Subkollektiv Trauma ein zweiter Intubationsversuch. Der zweite Intubationsversuch wurde in allen Fällen vom Notarzt des Studienrettungsmittels über den oralen Zugangsweg durchgeführt.

Einsehbarkeit der Stimmbandebene zweiter Intubationsversuch

Die Einsehbarkeit der Stimmbandebene wurde vom Intubierenden in zwei Fällen (2,2% von n_T) als komplett einsehbar, in sechs Fällen (6,6% von n_T) als teilweise einsehbar und in drei Fällen (3,3% von n_T) als gar nicht einsehbar beurteilt. In einem Fall (1,1% von n_T) wurde die Sichtbarkeit der Stimmbandebene nicht angegeben.

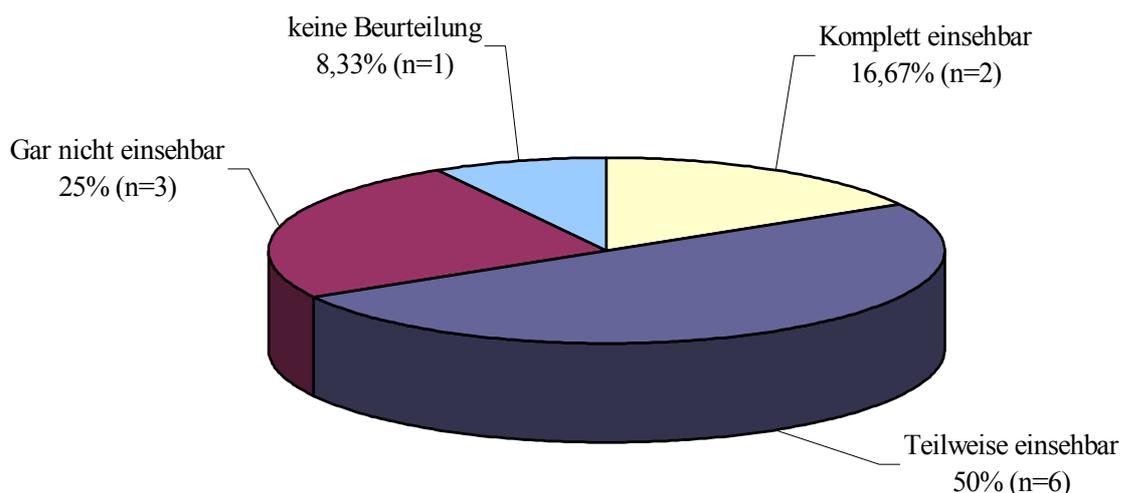


Abb.: 6.2.2.-2: Einsehbarkeit der Stimmbandebene zweiter Intubationsversuch Subkollektiv Trauma (n=12)

Intubationserschwerisse zweiter Intubationsversuch im Subkollektiv Trauma

Mangelnde Sichtverhältnisse führten in sechs Fällen (6,6% von n_T), eine nicht ausreichende Mundöffnung in drei Fällen (3,3% von n_T) und eine schlechte Reklinationsmöglichkeit des Kopfes in zwei Fällen (2,2% von n_T) zu Intubationserschwerissen. Bei einer Intubation (1,1% von n_T) aufgrund eines Traumas traten im zweiten Intubationsversuch keine Intubationserschwerisse auf.

Intubationshilfsmittel zweiter Intubationsversuch im Subkollektiv Trauma

Beim zweiten Intubationsversuch erfolgte die Verwendung eines Führungsstabes bei neun Einsätzen (9,9% von n_T) aus dem Subkollektiv Trauma. Der Sellik-Handgriff wurde bei acht Einsätzen (8,8% von n_T) und die Absaugvorrichtung bei vier Einsätzen (4,4% von n_T) verwendet. In sieben Fällen (7,7% von n_{NT}) erfolgte die Verwendung einer Kombination von Intubationshilfsmitteln, darunter in drei Fällen (3,3% von n_T) eine Kombination aus Führungsstab und Sellik-Handgriff sowie in vier Fällen (4,4% von n_T) eine Kombination aus Führungsstab, Sellik-Handgriff und Absaugvorrichtung. Beim zweiten Intubationsversuch aufgrund eines Traumas wurde in einem Versuch (1,1% von n_T) kein Intubationshilfsmittel verwendet.

6.2.3. Spezielle Ergebnisse zur Kapnometrie im Subkollektiv Trauma

Das Kapnometer CO₂ntrol one™ wurde bei 32 Einsätzen (35,6% von n_T) im Subkollektiv Trauma verwendet. In 22 Fällen (24,4% von n_T) erfolgte die Dokumentation anhand des erweiterten Dokumentationsprotokolls durch einen Studienassistenten. Zehn Fälle (11,1% von n_T) wurden durch den jeweiligen Notarzt anhand des Basisdatensatzprotokolls erfaßt.

Das Kapnometriemodul des LifePak 12® wurde in 16 Fällen (17,8% von n_T) bei Patienten aus dem Subkollektiv Trauma verwendet. 15 dieser Einsätze (16,7% von n_T) wurden von einem Studienassistenten anhand des erweiterten Dokumentationsprotokolls dokumentiert. Die Dokumentation von einem Einsatz erfolgte durch den Notarzt basierend auf dem Basisdatensatzprotokoll.

Das Pocket Cap™ kam bei 42 Patienten (46,7% von n_T) aus dem Subkollektiv zum Einsatz. Die Dokumentation von 25 Einsätzen (27,8% von n_T) erfolgt durch einen Studienassistenten anhand eines erweiterten Dokumentationsprotokolls. 17 Einsätze (18,9% von n_T) wurden durch den Notarzt basierend auf dem Basisdatensatzprotokoll dokumentiert.

Einsatzbereitschaft der Kapnometriegeräte

Daten zur Einsatzbereitschaft der Kapnometriegeräte im Subkollektiv Trauma konnten nur auf dem RTH „Christoph 1“ erhoben werden. Die Dauer bis zur Einsatzbereitschaft des CO₂ntrol one™ betrug im Subkollektiv Trauma fünf Sekunden (Min: 2 Sekunden; Max: 12 Sekunden), die des LifePak 12® zehn Sekunden (Min: 3 Sekunden; Max: 30 Sekunden) und die des Pocket Cap™ 25 Sekunden (Min: 3 Sekunden; Max: 35 Sekunden).

Dauer bis zur Kapnometrieanzeige

Im Median betrug die Zeit bis zur Anzeige des endexpiratorischen CO₂ im Subkollektiv Trauma beim CO₂ntrol one™ fünf Sekunden (Min: 2 Sekunden; Max: 34 Sekunden) bzw. ein Beatmungshub (Min: 1 Beatmungshub; Max: 7 Beatmungshübe).

Die Anzeige des Kapnometriemoduls des LifePak 12® erfolgte im Median nach neun Sekunden (Min: 0,0 Sekunden; Max: 130 Sekunden) bzw. ein Beatmungshub (Min: 1 Beatmungshub; Max: 6 Beatmungshübe), die des Pocket Cap™ ebenfalls nach neun Sekunden (Min: 0,0 Sekunden; Max: 180 Sekunden) bzw. zwei Beatmungshüben (Min: 1 Beatmungshub; Max: 100 Beatmungshübe).

6.2.4. Verifizierung der Tubuslage im Subkollektiv Trauma

Erster Intubationsversuch im Subkollektiv Trauma

Nach jeder der 90 dokumentierten Intubationen aufgrund eines Traumas (43,5% n_{ges}; ☞ **A1**) erfolgte die Verifizierung der Tubuslage durch den Intubierenden anhand nicht-apparativer klinischer Parameter (☞ **B1**). Der Intubierende definierte die Tubuslage in 77 Fällen (85,6% von n_T) als sicher endotracheal (☞ **C1**) und in fünf Fällen (5,6% von n_T) als sicher oesophageal (☞ **C3**). In acht Fällen (8,9% von n_T) blieb die Tubuslage unsicher (☞ **C2**).

In allen 77 Fällen mit sicher endotrachealer Tubuslage (☞ **D1**) und in drei Fällen (3,3% von n_T) mit unsicherer Tubuslage (☞ **D2**) erfolgte der Einsatz eines Kapnometriegerätes (☞ **E1**). In den fünf Fällen mit sicher oesophagealer Tubuslage (☞ **D4**) sowie in ebenfalls fünf Fällen mit unsicherer Tubuslage (☞ **D3**) erfolgte eine erneute Laryngoskopie und ein zweiter Intubationsversuch (☞ **E2**).

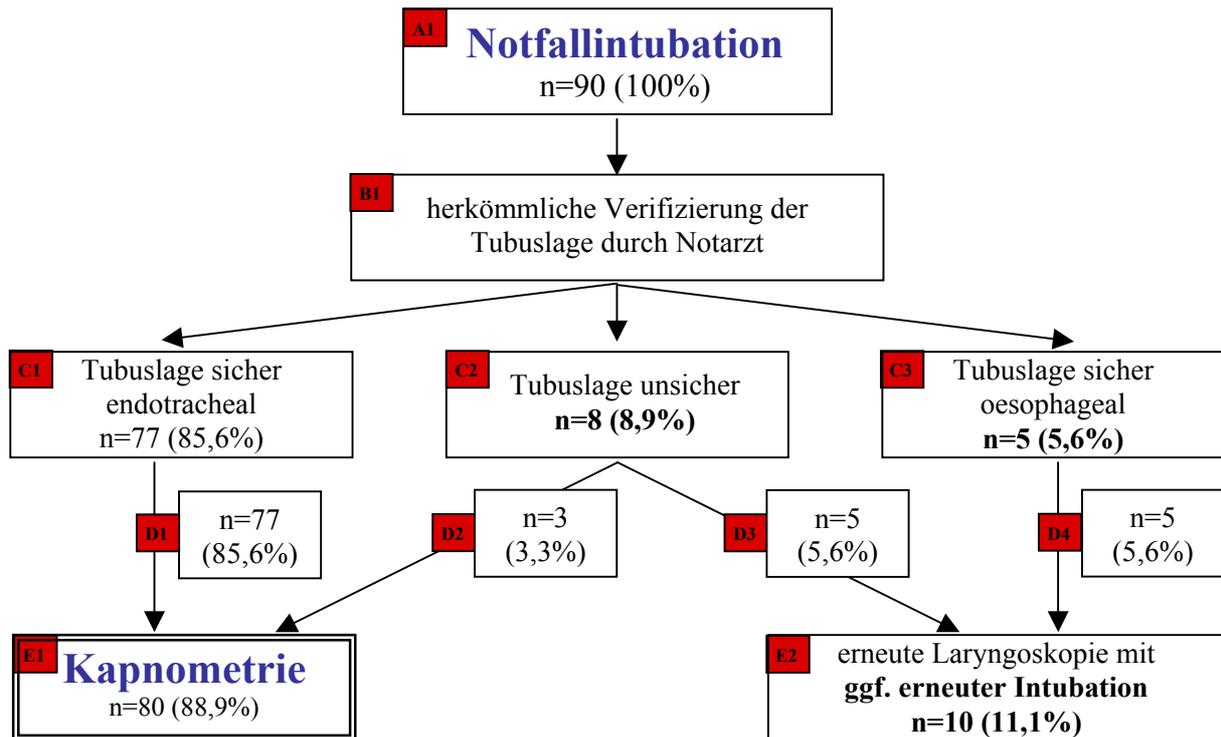


Abb.: 6.2.4.-1: Verifizierung der Tubuslage bis Kapnometrie im Subkollektiv Trauma (n=90)

Nach dem Einsatz des Kapnometrieerätes gab der Intubierende in 74 Fällen (82,2% von n_T) eine sicher endotracheale Tubuslage (☞F1), in keinem Fall eine sicher oesophageale Tubuslage (☞F3) und in sechs Fällen (6,6% von n_T) eine unsichere Tubuslage an (☞F2).

In allen 74 Fällen mit sicher endotrachealer Tubuslage (☞G1) und in vier Fällen (4,4% von n_T) mit einer unsicheren Tubuslage (☞G2) erfolgte die weitere Versorgung des Patienten (☞H1) und die endgültige Verifizierung der Tubuslage durch das erstaufnehmende Krankenhaus (☞I). In den weiteren zwei Fällen mit der weiterhin unsicheren Tubuslage (2,2% von n_T ; ☞G3) erfolgte eine erneute Laryngoskopie und ein zweiter Intubationsversuch (☞H2).

Die endgültige Verifizierung der Tubuslage durch das erstaufnehmende Krankenhaus (n=78; ☞J) bestätigte in allen Fällen die vorher als sicher endotracheal definierte Tubuslage.

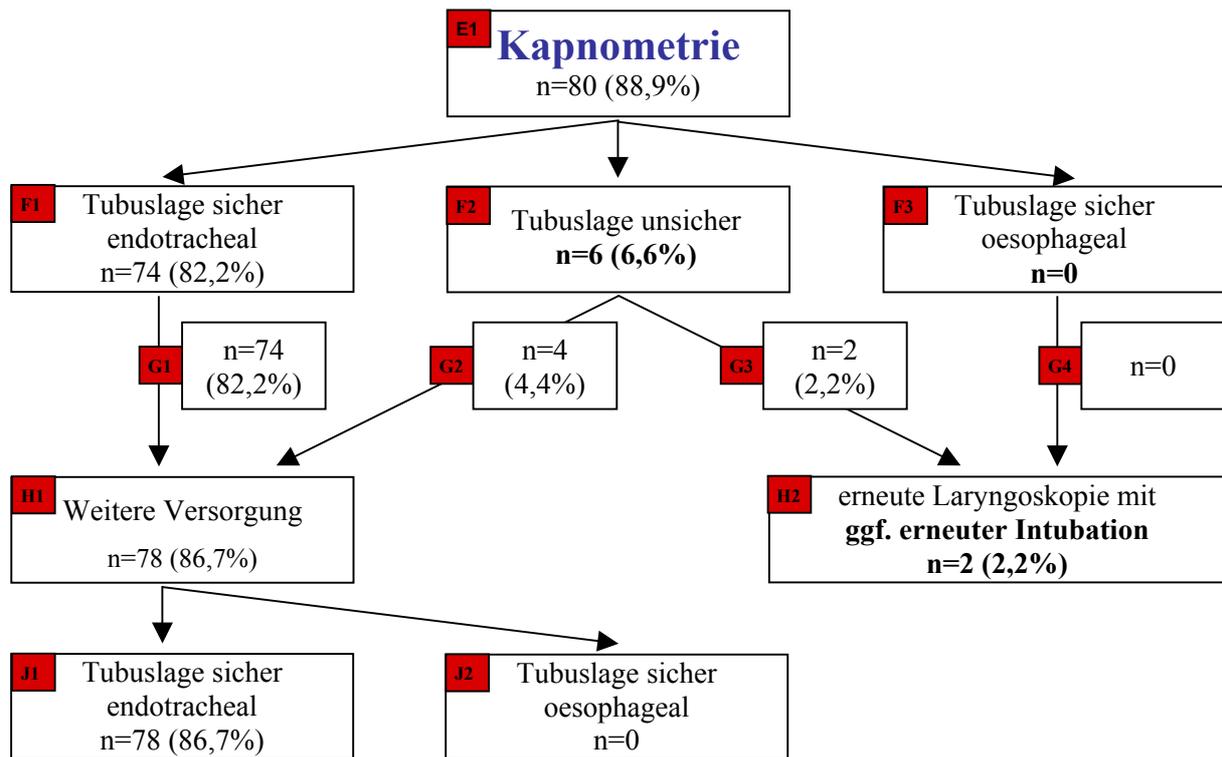


Abb.: 6.2.4.-2: Verifizierung der Tubuslage ab Kapnometrie Subkollektiv Trauma (n=80)

Zweiter Intubationsversuch

Bei allen 12 zweiten Intubationsversuchen (13,3% n_T ; ☞ A1) erfolgte die Verifizierung der Tubuslage durch den Intubierenden erneut zuerst anhand nicht-apparativer klinischer Parameter (☞ B1). Der darauf folgenden Entscheidung des Intubierenden nach war die Tubuslage in 11 Fällen (12,2% von n_T) sicher endotracheal (☞ C1) und in keinem Fall sicher oesophageal (☞ C3). In dem weiteren Fall (1,1% von n_T) blieb die Tubuslage unsicher (☞ C2).

In allen 11 Fällen mit sicher endotrachealer Tubuslage (☞ D1) und in dem einen Fall (1,1% von n_T) mit einer unsicheren Tubuslage (☞ D2) erfolgte der Einsatz eines Kapnometriergerätes (☞ E1). In keinem Fall wurde ein weiterer Intubationsversuch unternommen (☞ E2).

Nach dem Einsatz des Kapnometriergerätes gab der Intubierende in neun Fällen (9,9% von n_T) eine sicher endotracheale Tubuslage (☞ F1), in keinem Fall eine sicher oesophageale Tubuslage (☞ F3) und in drei Fällen (3,3% von n_T) eine unsichere Tubuslage an (☞ F2).

In allen neun Fällen mit sicher endotrachealer Tubuslage (☞ G1) und in allen drei Fällen mit einer unsicheren Tubuslage (☞ G2) erfolgte die weitere Versorgung des Patienten (☞ H1) und die endgültige Verifizierung der Tubuslage durch das erstaufnehmende Krankenhaus (☞ I).

Die endgültige Verifizierung der Tubuslage durch das erstaufnehmende Krankenhaus (n=12; **J**) bestätigte in allen Fällen die vorher als sicher endotracheal definierte Tubuslage.

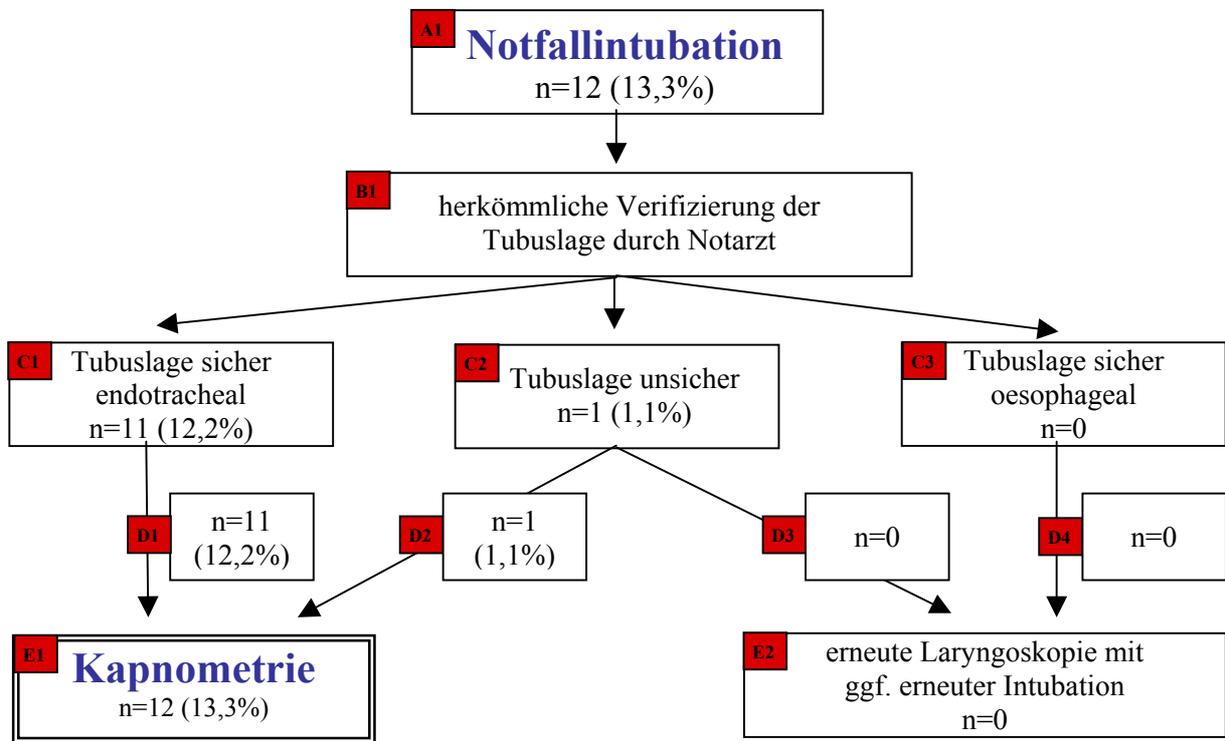


Abb.: 6.2.4.-3: Klinische Verifizierung der Tubuslage 2. Intubationsversuch Subkollektiv Trauma (n=12)

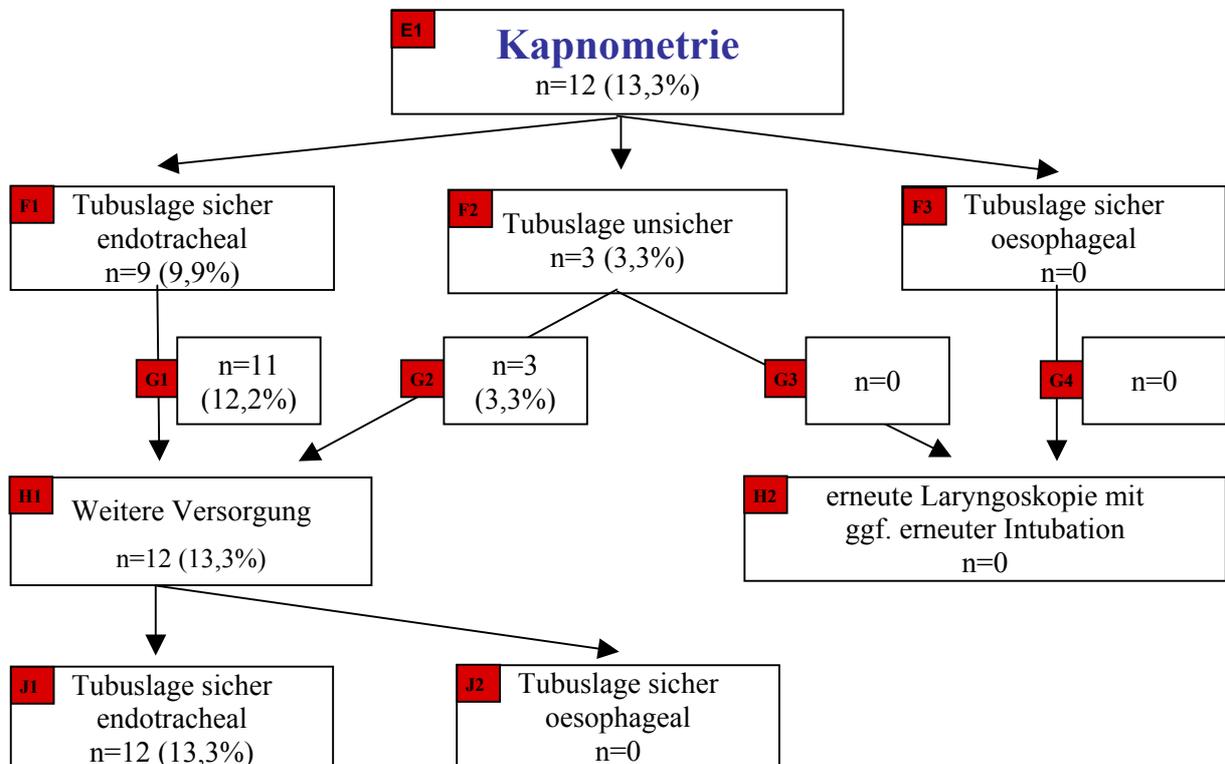


Abb.: 6.2.4.-4: Verifizierung der Tubuslage mit Kapnometrie 2. Intubationsversuch Subkollektiv Trauma

6.3. Subkollektiv Nicht-Trauma

6.3.1. Allgemeine Ergebnisse

Erster Intubationsversuch

In der Gruppe der Intubationen aufgrund einer nicht-trauma Ursache konnten 117 Einsätze dokumentiert werden (n_{NT}). 41 dieser Einsätze (35,0% von n_{NT}) wurden von einem Studienassistenten begleitet und die Daten „online“ basierend auf dem erweiterten Dokumentationsprotokoll erfasst. Bei 76 Einsätze (65,0% von n_{NT}) wurden die Daten von dem jeweiligen Notarzt basierend auf dem Basisdatensatzprotokoll erhoben.

Auf dem RTH „Christoph 1“ erfolgte die Dokumentation von 27 Einsätzen (23,1% von n_{NT}) mit einer Intubation aufgrund einer nicht-trauma Intubationsindikation, auf dem NAW „Florian 1/70/1“ von 72 Einsätzen (61,5% von n_{NT}), auf dem NEF „RK 1510“ von neun Einsätzen (7,7% von n_{NT}) und auf dem RTH „Christoph 17“ von ebenfalls neun Einsätzen (7,7% von n_{NT}).

Geschlechts- und Altersverteilung im Subkollektiv Nicht-Trauma

46 Patienten (39,3% von n_{NT}), deren Intubation aufgrund einer nicht-trauma Ursache erfolgte, waren weiblichen und 69 Patienten (59,0% von n_{NT}) männlichen Geschlechts. Das Alter der Patienten betrug im Median 64,2 Jahre (Min: 4,7 J.; Max: 98,3 J.). Dabei lag das Alter der weiblichen Patienten im Median bei 72,2 Jahre (Min: 4,7 J.; Max: 93,4 J.) und das der männlichen Patienten bei 62,83 Jahren (Min: 10,68 J.; Max: 98,29 J.).

Vitalparameter im Subkollektiv Nicht-Trauma

Der systolische Blutdruck der Patienten betrug im Median 125 mmHg (Min: 70 mmHg; Max: 260 mmHg; $n=58$), der Puls 96/min (Min: 10/min; Max: 240/min; $n=69$) und die Atemfrequenz sieben Atemzüge/min (Min: 0 Atemzüge/min; Max: 60 Atemzüge/min; $n=115$). Die initiale Sauerstoffsättigung lag im Median bei 92% (Min: 35%; Max: 100%; $n=56$). Der primäre GCS der Patienten betrug im Median drei Punkte (Min: 3 Punkte; Max: 15 Punkte; $n=115$).

Zweiter Intubationsversuch

In 16 Fällen (13,7% von n_{NT}) erfolgte ein zweiter Intubationsversuch. Die Daten von vier dieser Einsätze (3,4% von n_{NT}) wurden auf dem RTH „Christoph 1“ basierend auf dem erweiterten Dokumentationsprotokoll erhoben. Auf dem NAW „Florian 1/70/1“ konnten 12

Einsätze (10,3% von n_{NT}), davon zwei (1,7% von n_{NT}) durch einen Studienassistenten „online“, dokumentiert werden.

6.3.2. Spezielle Ergebnisse zur Intubation im Subkollektiv Nicht-Trauma

Erster Intubationsversuch

Von den 117 dokumentierten Intubationen wurden 89 (76,1% von n_{NT}) von der Besatzung des jeweiligen Studienrettungsmittels durchgeführt. Die Daten von 21 dieser 89 Einsätze (17,9% von n_{NT}) konnten „online“ durch einen Dokumentationsassistenten im erweiterten Dokumentationsprotokoll festgehalten werden. Die weiteren 68 Einsätze (58,1% von n_{NT}) wurden vom jeweiligen Notarzt retrospektiv im Basisdatensatzprotokoll dokumentiert. Die Intubation von 28 Patienten (23,9% von n_{NT}) erfolgte bereits vor Eintreffen des Studienrettungsmittels. Eine Maskenbeatmung vor dem Einführen des Laryngoskopes wurde in 14 Fällen durchgeführt. Bei sieben Patienten erfolgte die Intubation ohne vorhergehende Maskenbeatmung.

Durchführung der Intubation im Subkollektiv Nicht-Trauma

Die Intubationen erfolgten in 70 Fällen (59,8% von n_{NT}) durch den Notarzt und in 22 Fällen (18,8% von n_{NT}) durch den RettAss/RS des Studienrettungsmittels. In 28 Fällen (23,9% von n_{NT}) wurde die Intubation bereits vor Eintreffen des Studienrettungsmittels von der Besatzung des Ersten Rettungsmittels am Einsatz durchgeführt.

Bei 115 Intubationen (98,3% von n_{NT}) wurde der oral und bei zwei Intubationen (1,7% von n_{NT}) der nasale Zugangsweg gewählt.

Einhbarkeit der Stimmbandebene im Subkollektiv Nicht-Trauma

Die Einhbarkeit der Stimmbandebene wurde vom Intubierenden in 65 Fällen (55,6% von n_{NT}) als komplett einsehbar, in 32 Fällen (27,4% von n_{NT}) als teilweise einsehbar und in neun Fällen (7,7% von n_{NT}) als gar nicht einsehbar beurteilt. In 11 Fällen (9,4% von n_{NT}) erfolgte keine Beurteilung der Einhbarkeit der Stimmbandebene.

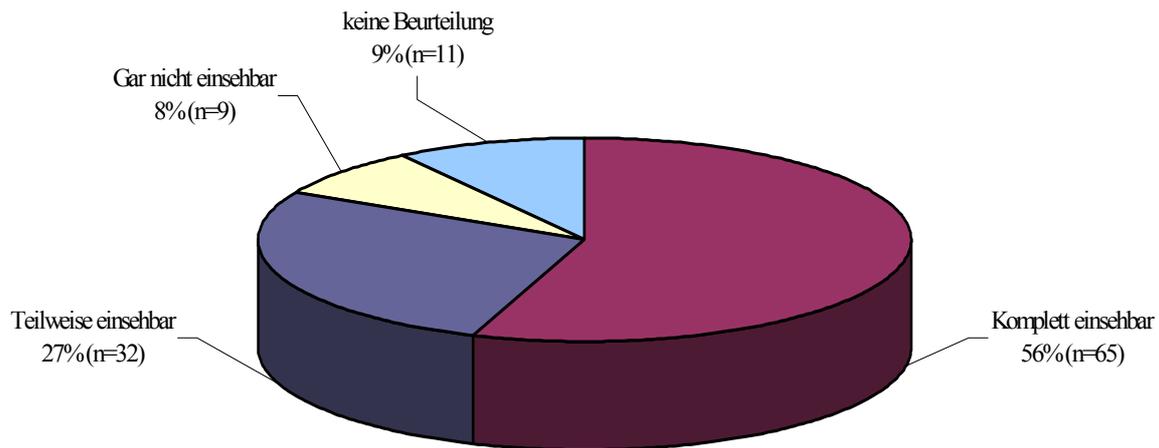


Abb.: 6.3.2.-1: Einsehbarkeit der Stimmbandenebene im Subkollektiv Nicht-Trauma (n=117)

Intubationserschwerisse im Subkollektiv Nicht-Trauma

In jeweils 13 Fällen (11,1% von n_{NT}) stellte die mangelnde Mundöffnung bzw. unzureichende Sichtverhältnisse Intubationserschwerisse dar. Eine unzureichende Reklinationsmöglichkeit des Kopfes und eine nicht ausreichende Narkosetiefe führten in jeweils 12 Fällen (10,3% von n_{NT}) zu Intubationserschwerissen. Weiter Intubationserschwerisse waren beengten Platzverhältnisse (11 Fälle; 9,4% von n_{NT}) am Einsatzort, anatomische Besonderheiten des Patienten (9 Fälle; 7,7% von n_{NT}) und Sonstige Probleme (13 Fälle; 11,1% von n_{NT}). Im Subkollektiv Nicht-Trauma wurde in 59 Fällen (50,4% von n_{NT}) keine Intubationserschwerisse vom Intubierenden angegeben (vgl. Abb. 6.1.2.-3).

Intubationshilfsmittel im Subkollektiv Nicht-Trauma

In 39 Fällen (33,3% von n_{NT}) kam die Absaugung, in 24 Fällen (20,5% von n_{NT}) der Führungsstab und in drei Fällen (2,6% von n_{NT}) der Sellik-Handgriff zum Einsatz. Im Subkollektiv Nicht-Trauma erfolgte in 40 Fällen (34,2% von n_{NT}) keine Verwendung von Intubationshilfsmitteln. In 11 Fällen (9,4% von n_{NT}) erfolgte keine Dokumentation über verwendete Intubationshilfsmittel (vgl. Abb. 6.1.2.-4).

Einsatz- und Intubationsrelevante Zeiten im Subkollektiv Nicht-Trauma

Tabelle 6.3.2.-1: Median der Einsatzzeiten im Subkollektiv Nicht-Trauma

	Gesamtkollektiv Nicht-Trauma (n)	RTH „Christoph 1“	NAW „Florian 1/70/1“
Notrufeingang – Eintreffen 1. Rettungsmittel (NE.1RM)	8 min (n=39)	9 min (n=26)	5 min (n=13)
Notrufeingang – 1. Arzt am Einsatz (NE.1Dr.)	11 min (n=38)	13 min (n=26)	8 min (n=12)
Ankunftszeit – Maskenbeatmung (An.MB)	1,2 min (n=13)	3,4 min (n=4)	1,2 min (n=9)
Ankunftszeit – Laryngoskopie (An.Laryn)	5 min (n=19)	6,4 min (n=9)	4,1 min (n=10)
Ankunftszeit – Einführen Tubus (An.Int)	5,1 min (n=19)	6,5 min (n=9)	4,2 min (n=10)
Notrufeingang – Einführen Tubus (NE.Int)	17,2 min (n=20)	31,6 min (n=9)	12,4 min (n=11)

Zweiter Intubationsversuch

In 16 Fällen (13,7% von n_{NT}) erfolgte im Subkollektiv Nicht-Trauma ein zweiter Intubationsversuch.

Die Intubation aller zweiten Intubationsversuche erfolgte immer durch den Notarzt des jeweiligen Studienrettungsmittels über den oralen Zugangsweg.

Einschbarkeit der Stimmbandenebene zweiter Intubationsversuch Subkollektiv Nicht-Trauma

Die Einschbarkeit der Stimmbandenebene beim zweiten Intubationsversuch wurde in sieben Fällen (6,0% von n_{NT}) als komplett einschbar, in sechs Fällen (5,1% von n_{NT}) als teilweise einschbar und in zwei Fällen (1,7% von n_{NT}) als gar nicht einschbar beurteilt. In einem Fall (0,9% von n_{NT}) wurden keine Angaben gemacht.

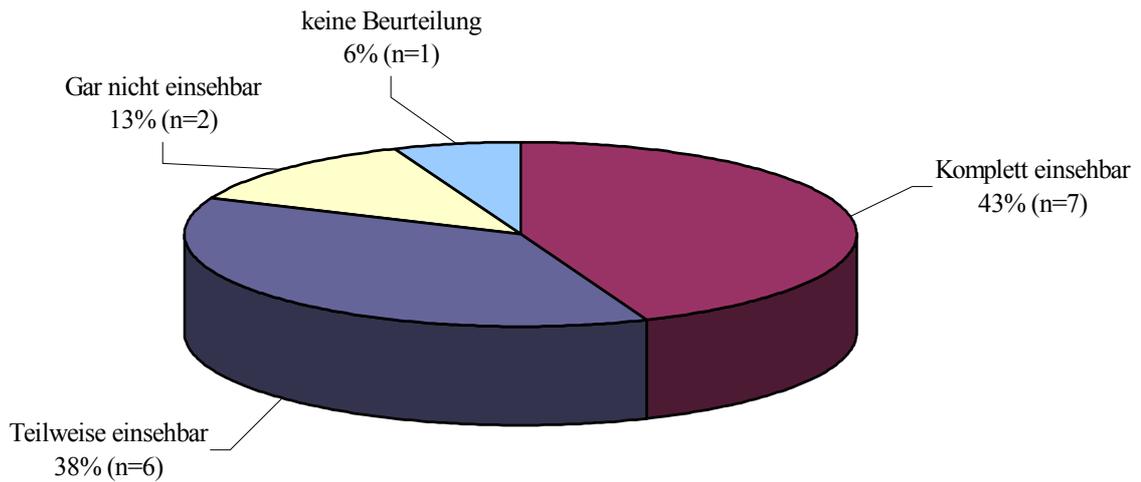


Abb.: 6.3.2.-2: Einsehbarkeit der Stimmbandenebene zweiter Intubationsversuch Subkollektiv Nicht-Trauma (n=16)

Intubationserschwerisse zweiter Intubationsversuch im Subkollektiv Nicht-Trauma

In jeweils sechs Fällen (5,1% von n_{NT}) erschwerte eine mangelnde Mundöffnung, anatomische Besonderheiten und eingeschränkte Platzverhältnisse am Einsatzort die Intubation. Eine eingeschränkte Reklinationsmöglichkeit des Kopfes und unzureichende Sichtverhältnisse wurden bei jeweils zwei Einsätzen (1,7% von n_{NT}) als Intubationserschwerisse angegeben. Im Subkollektiv Nicht-Trauma wurden beim zweiten Intubationsversuch in zwei Fällen (1,7% von n_{NT}) keine Intubationserschwerisse angegeben.

Intubationshilfsmittel zweiter Intubationsversuch im Subkollektiv Nicht-Trauma

Bei vier Einsätzen (3,4% von n_{NT}) wurde eine Absaugvorrichtung und bei jeweils zwei Einsätzen (1,7% von n_{NT}) ein Führungsstab bzw. der Sellik-Handgriff verwendet. Die Verwendung von mehreren Intubationshilfsmitteln erfolgte bei sechs Einsätzen (5,1% von n_{NT}), darunter in jeweils drei Fällen (2,6% von n_{NT}) eine Kombination aus Führungsstab und Sellik-Handgriff sowie aus Führungsstab, Sellik-Handgriff und einer Absaugvorrichtung. Bei vier Einsätzen (3,4% von n_{NT}) aus dem Subkollektiv Nicht-Trauma erfolgte keine Verwendung von Intubationshilfsmitteln.

6.3.3. Spezielle Ergebnisse zur Kapnometrie im Subkollektiv Nicht-Trauma

Das Kapnometer CO₂ntrol one™ wurde bei 46 Nicht-Trauma Einsätzen (39,3% von n_{NT}) verwendet. 15 Einsätze (12,8% von n_{NT}) wurden durch einen Studienassistenten begleitet und „online“ dokumentiert. Die Daten von 31 Einsätzen (26,5% von n_{NT}) wurden vom jeweiligen Notarzt anhand des Basisdatensatzprotokolls erhoben.

Das Kapnometriemodul des LifePak 12® Monitors wurde in 19 Nicht-Trauma Fällen (16,2% von n_{NT}) verwendet. 13 dieser Einsätze (11,1% von n_{NT}) wurden von einem Studienassistenten begleitet und die Daten „online“ dokumentiert. In sechs Fällen (5,1% von n_{NT}) erfolgte die Datendokumentation durch den jeweiligen versorgenden Notarzt.

Das Pocket Cap™ wurde bei 51 Nicht-Trauma Einsätzen (43,6% von n_{NT}) eingesetzt. 11 dieser Einsätze (9,4% von n_{NT}) wurden durch einen Studienassistenten, 40 Einsätze (34,2% von n_{NT}) durch den Notarzt dokumentiert.

Einsatzbereitschaft der Kapnometriergeräte

Die Dauer bis zur Einsatzbereitschaft des Pocket Cap™ variiert im Median zwischen den verschiedenen Rettungsmitteln. Auf dem RTH „Christoph 1“ konnte sie nach 25 Sekunden, auf dem NAW „Florian 1/70/1“ nach 4 Sekunden hergestellt werden. Für das CO₂ntrol one™ sowie für das LifePak 12® zeigten sich zwischen den Rettungsmitteln nur geringe Unterschiede (vgl. Tab. 6.3.3.-1).

Tabelle 6.3.3.-1: Einsatzbereitschaft Kapnometriergeräte im Subkollektiv Nicht-Trauma

	CO ₂ ntrol one™ (Min; Max)	LifePak 12® (Min; Max)	Pocket Cap™ (Min; Max)
RTH „Christoph 1“	5 Sek. (3 Sek.; 30 Sek.)	10 Sek. (4 Sek.; 40 Sek.)	25 Sek. (10 Sek.; 35 Sek.)
NAW „Florian 1/70/1“	7,5 Sek. (5 Sek.; 15 Sek.)	15 Sek. (7 Sek.; 20 Sek.)	4 Sek. (3 Sek.; 15 Sek.)
Gesamt	5 Sek. (3 Sek.; 39 Sek.)	10 Sek. (4 Sek.; 40 Sek.)	15 Sek. (3 Sek.; 35 Sek.)

Dauer bis zur Kapnometrieanzeige

Die Zeitspanne bis zur Anzeige des endexpiratorischen CO₂ in der Atemluft erfolgte beim LifePak 12® sowie dem Pocket Cap™ im Median nach einem Beatmungshub sowie nach

fünf bis zehn Sekunden. Die Anzeige durch das CO₂ntrol one™ erfolgte auf dem NAW „Florian 1/70/1“ im Median nach zwei Beatmungshüben, auf dem RTH „Christoph 1“ bereits nach einem Beatmungshub, sowie nach fünf bis zehn Sekunden (vgl. Tab. 6.3.3.-2).

Tabelle 6.3.3.-2: Dauer bis zur Kapnometrieanzeige in Sekunden im Subkollektiv Nicht-Trauma

	CO ₂ ntrol one™ (Min; Max)	LifePak 12® (Min; Max)	Pocket Cap™ (Min; Max)
RTH „Christoph 1“	10 Sek. (5 Sek.; 20 Sek.)	10 Sek. (7 Sek.; 30 Sek.)	5 Sek. (0 Sek.; 60 Sek.)
NAW „Florian 1/70/1“	5 Sek. (5 Sek.; 10 Sek.)	7 Sek. (3 Sek.; 10 Sek.)	10 Sek. (3 Sek.; 29,1 Min.)
Gesamt	9 Sek. (5 Sek.; 20 Sek.)	10 Sek. (3 Sek.; 30 Sek.)	5 Sek. (0 Sek.; 29,1 Min.)

Tabelle 6.3.3.-3: Dauer bis zur Kapnometrieanzeige in Beatmungshüben im Subkollektiv Nicht-Trauma

	CO ₂ ntrol one™ (Min; Max)	LifePak 12® (Min; Max)	Pocket Cap™ (Min; Max)
RTH „Christoph 1“	1 Hub (1 Hub; 6 Hübe)	1 Hub (1 Hub)	1 Hub (1 Hub; 40 Hübe)
NAW „Florian 1/70/1“	2 Hübe (1 Hub; 15 Hübe)	1 Hub (1 Hub)	1 Hub (1 Hub; 30 Hübe)
Gesamt	1 Hub (1 Hub; 15 Hübe)	1 Hub (1 Hub)	1 Hübe (1 Hub; 40 Hübe)

6.3.4. Verifizierung der Tubuslage im Subkollektiv Nicht-Trauma

Erster Intubationsversuch im Subkollektiv Nicht-Trauma

Nach jeder der 117 dokumentierten Intubationen (56,5% von n_{ges}; ☞ **A1**) aufgrund einer Nicht-Trauma Intubationsindikation erfolgte die Verifizierung der Tubuslage durch den Intubierenden anhand nicht-apparativer klinischer Parameter (☞ **B1**). Der darauf folgenden Entscheidung des Intubierenden nach war die Tubuslage in 97 Fällen (82,9% von n_{NT}) sicher endotracheal (☞ **C1**) und in fünf Fällen (4,3% von n_{NT}) sicher oesophageal (☞ **C3**). In 15 Fällen (12,8% von n_{NT}) blieb die Tubuslage unsicher (☞ **C2**).

In allen 97 Fällen mit sicher endotrachealer Tubuslage (☞ **D1**) und in acht Fällen (6,8% von n_{NT}) mit einer unsicheren Tubuslage (☞ **D2**) erfolgte der Einsatz eines Kapnometrieerätes (☞ **E1**). In den fünf Fällen mit sicher oesophagealer Tubuslage (☞ **D4**) sowie in sieben Fällen (6,0% von n_{NT}) mit unsicherer Tubuslage (☞ **D3**) erfolgte eine erneute Laryngoskopie und ein zweiter Intubationsversuch (☞ **E2**).

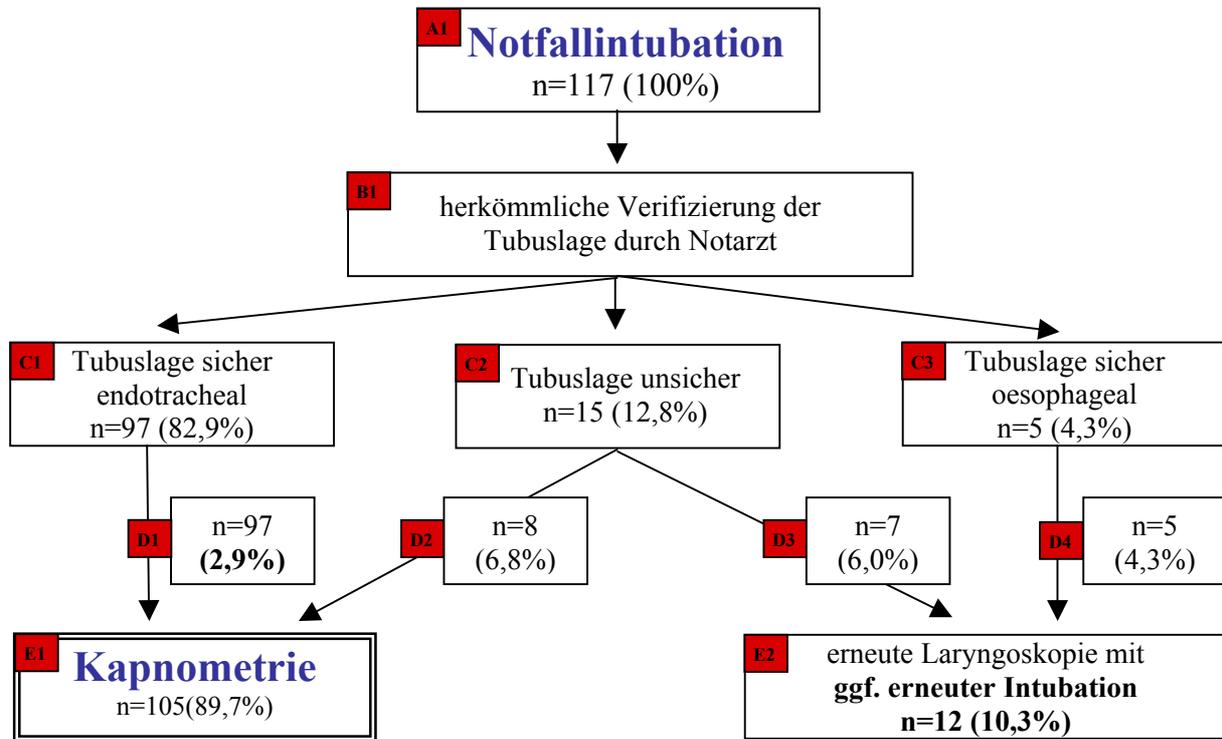


Abb.: 6.3.4.-1: Klinische Verifizierung der Tubuslage im Subkollektiv Nicht-Trauma (n=117)

Nach dem Einsatz des Kapnometrieerätes gab der Intubierende in 92 Fällen (78,6% von n_{NT}) eine sicher endotracheale Tubuslage (☞ **F1**), in einem Fall (0,9% von n_{NT}) eine sicher oesophageale Tubuslage (☞ **F3**) und in 12 Fällen (8,8% von n_{NT}) eine unsichere Tubuslage an (☞ **F2**).

In allen 92 Fällen mit sicher endotrachealer Tubuslage (☞ **G1**) und in neun Fällen (7,7% von n_{NT}) mit einer unsicheren Tubuslage (☞ **G2**) erfolgte die weitere Versorgung des Patienten (☞ **H1**) und die endgültige Verifizierung der Tubuslage durch das erstaufnehmende Krankenhaus (☞ **I**). In dem Fall mit der sicher oesophagealen Tubuslage nach Kapnometrie (☞ **G4**) und in drei Fällen (2,6% von n_{NT}) mit einer unsicheren Tubuslage (☞ **G3**) erfolgte eine erneute Laryngoskopie und ein zweiter Intubationsversuch (☞ **H2**).

Die endgültige Verifizierung der Tubuslage durch das erstaufnehmende Krankenhaus (n=101; ☞ **J**) bestätigte in allen Fällen die vorher als sicher endotracheal definierte Tubuslage.

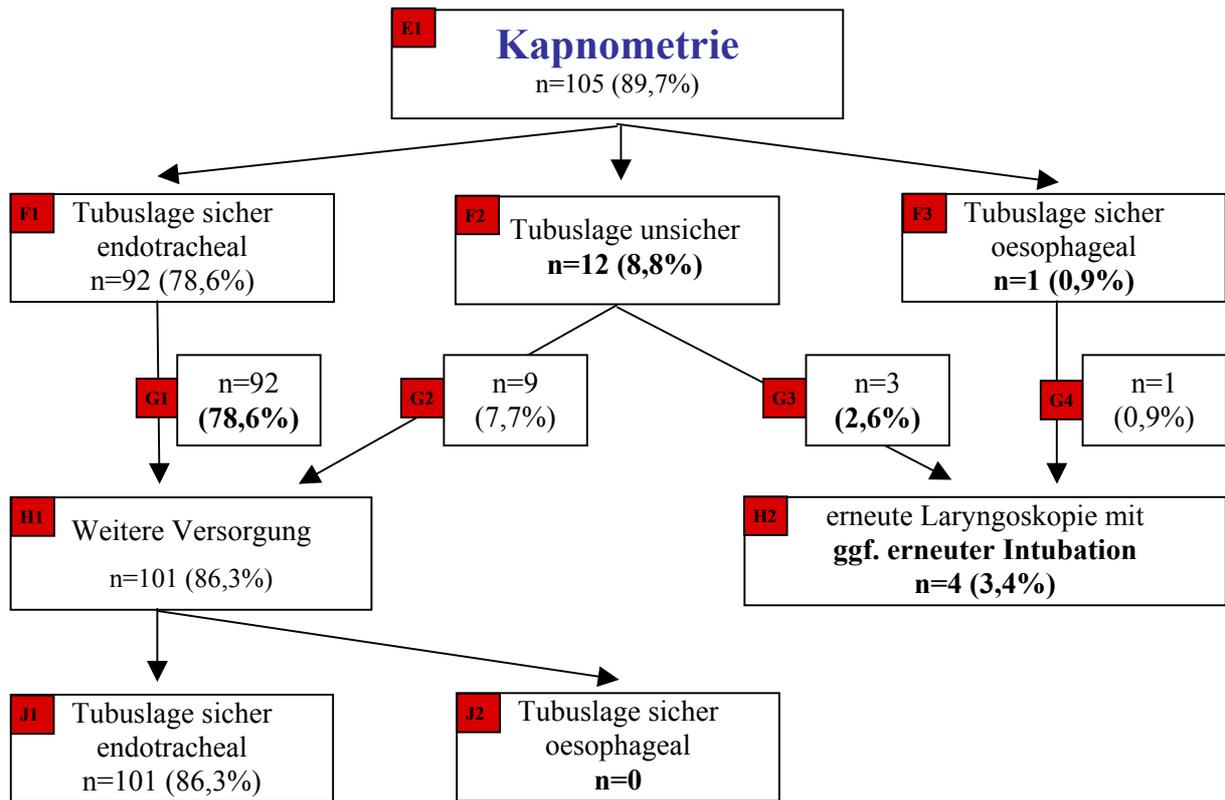


Abb.: 6.3.4.-2: Verifizierung der Tubuslage mit Kapnometrie im Subkollektiv Nicht-Trauma (n=105)

Zweiter Intubationsversuch im Subkollektiv Nicht-Trauma

Bei allen 16 zweiten Intubationsversuchen (13,7% von n_{NT} ; ☞ A1) erfolgte die Verifizierung der Tubuslage durch den Intubierenden, erneut zuerst anhand nichtapparativer klinischer Parameter (☞ B1). Der darauf folgenden Entscheidung des Intubierenden nach war die Tubuslage in 14 Fällen (12,0% von n_{NT}) sicher endotracheal (☞ C1) und in keinem Fall sicher oesophageal (☞ C3). In den weiteren zwei Fällen (1,7% von n_{NT}) blieb die Tubuslage unsicher (☞ C2).

In allen 14 Fällen mit sicher endotrachealer Tubuslage (☞ D1) und in beiden zwei Fällen mit einer unsicheren Tubuslage (☞ D2) erfolgte der Einsatz eines Kapnometriergerätes (☞ E1). In keinem Fall wurde ein weiterer Intubationsversuch unternommen (☞ E2)

Nach dem Einsatz des Kapnometriergerätes gab der Intubierende in 15 Fällen (12,8% von n_{NT}) eine sicher endotracheale Tubuslage (☞ F1), in keinem Fall eine sicher oesophageale Tubuslage (☞ F3) und in einem Fall (0,9% von n_{NT}) eine unsichere Tubuslage an (☞ F2).

In allen 15 Fällen mit sicher endotrachealer Tubuslage (☞ G1) und in dem einem Fall mit der weiterhin unsicheren Tubuslage (☞ G2) erfolgte die weitere Versorgung des Patienten (☞ H1) und die endgültige Verifizierung der Tubuslage durch das erstaufnehmende Krankenhaus (☞ I).

Die endgültige Verifizierung der Tubuslage durch das erstaufnehmende Krankenhaus (n=16; **J**) bestätigte in allen Fällen die vorher als sicher endotracheal definierte Tubuslage.

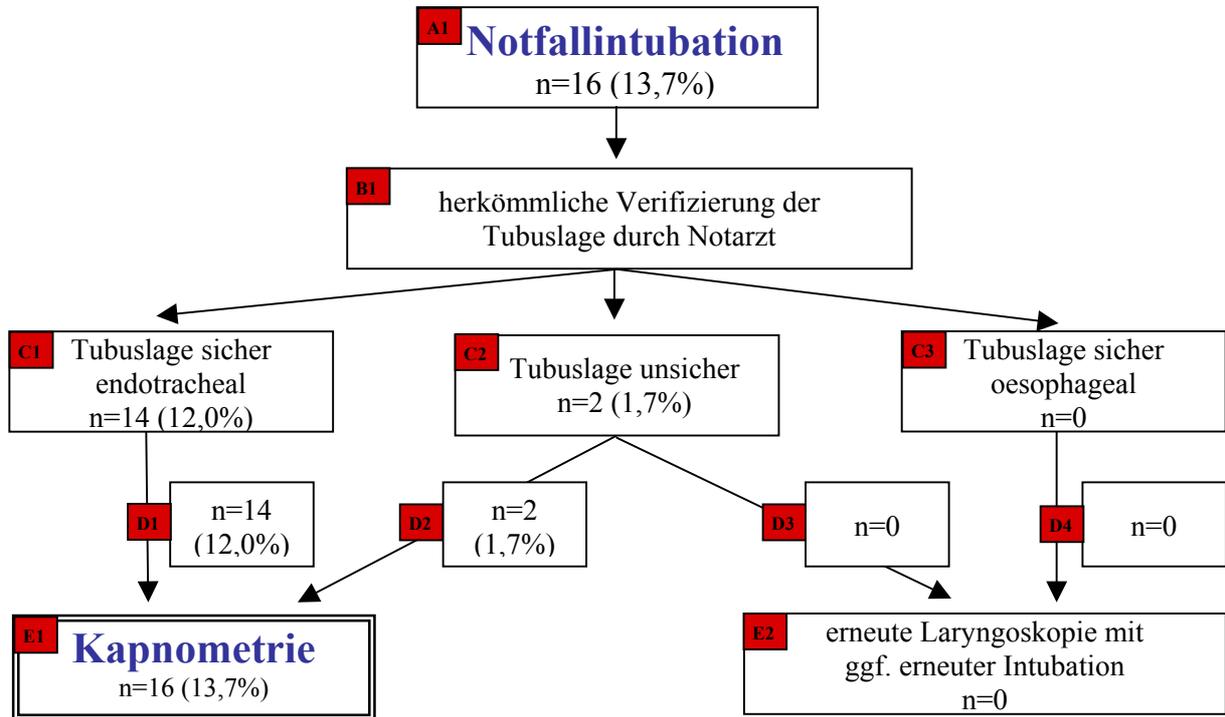


Abb. 6.3.4-3: Klinische Verifizierung der Tubuslage 2. Intubationsversuch Subkollektiv Nicht-Trauma

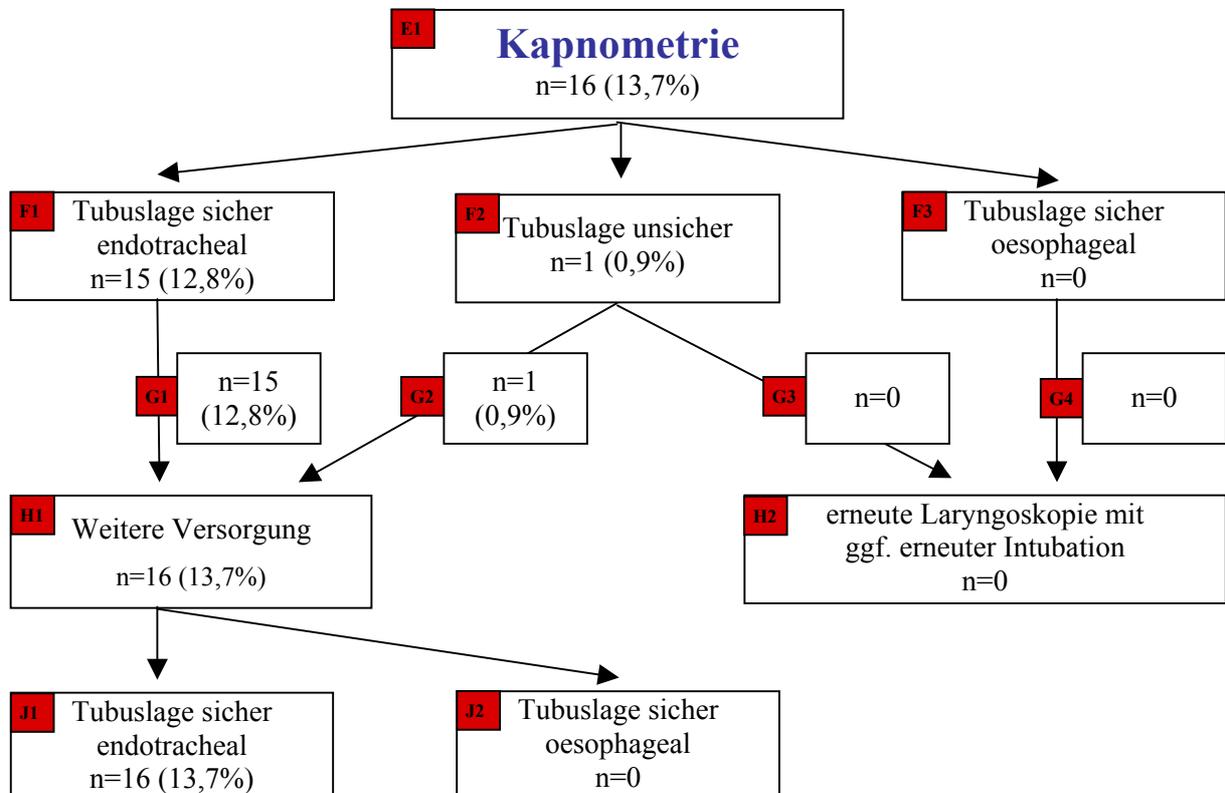


Abb. 6.3.4-4: Verifizierung der Tubuslage mit Kapnometrie 2. Intubationsversuch Subkollektiv Nicht-Trauma

6.4. Subkollektiv Herz-Kreislauf-Stillstand

6.4.1. Allgemeine Ergebnisse

Erster Intubationsversuch

In 70 Fällen (n_{Rea} ; 33,8% von n_{ges}) wurde der Patient aufgrund eines Herz-Kreislauf-Stillstandes intubiert. 33 dieser Einsätze (47,1% von n_{Rea}) wurden von einem Dokumentationsassistenten begleitet und „online“ anhand des erweiterten Dokumentationsprotokolls dokumentiert. 37 Einsätze (52,9% von n_{Rea}) wurden retrospektiv durch den jeweiligen Notarzt anhand des Basisdatensatzprotokolls aufgezeichnet.

Intubationsindikationen im Subkollektiv Herz-Kreislauf-Stillstand

In 14 Fällen (20,0% von n_{Rea}) ist der Patient aufgrund eines Traumas ($n_{\text{Rea-T}}$), in 56 Fällen (80% von n_{Rea}) aufgrund eines nicht-trauma Ereignisses ($n_{\text{Rea-NT}}$) reanimationspflichtig geworden.

Geschlechts- und Altersverteilung im Subkollektiv Herz-Kreislauf-Stillstand

25 Patienten (35,7% von n_{Rea}) waren weiblichen und 45 Patienten (64,3% von n_{Rea}) männlichen Geschlechts.

Das Alter der Patienten im Subkollektiv Herz-Kreislauf-Stillstand betrug im Median 62,2 Jahre (Min: 4,7 J.; Max: 98,3 J.). Dabei lag das Alter der weiblichen Patienten im Median bei 63,0 Jahren (Min: 4,7 J.; Max: 86,6 J.) und das der männlichen Patienten bei 62,1 Jahren (Min: 15,0 J.; Max: 98,3 J.).

Vitalparameter im Subkollektiv Herz-Kreislauf-Stillstand

Der systolische Blutdruck der Patienten im Subkollektiv Herz-Kreislauf-Stillstand betrug im Median 94 mmHg (Min: 80 mmHg; Max: 140 mmHg; $n=8$), die Pulsfrequenz bei 120/min (Min: 10/min; Max: 240/min; $n=13$) und die Atemfrequenz 14,5 Atemzüge/min (Min: 6 Atemzüge/min; Max: 40 Atemzüge/min; $n=10$). Die initiale Sauerstoffsättigung lag im Median bei 86,5% (Min: 50%; Max: 100%; $n=10$) und der primäre GCS bei drei Punkten (Min: 3 Punkte; Max: 14 Punkte; $n=70$).

Zweiter Intubationsversuch

In 13 Fällen (18,6% von n_{Rea}) wurde bei einem Patienten mit Herz-Kreislauf-Stillstand ein zweiter Intubationsversuch durchgeführt. Acht dieser Einsätze (11,4% von n_{Rea}) wurden von einem Studienassistenten begleitet und „online“ dokumentiert. Die Datenerhebung von fünf Einsätzen (7,1% von n_{Rea}) erfolgte durch den Notarzt. Vier dieser Patienten (5,7% von n_{Rea}) waren weiblichen und neun Patienten (12,9% von n_{Rea}) männlichen Geschlechts. Fünf der Patienten (7,1% von n_{Rea}) sind aufgrund eines Traumas, acht (11,4% von n_{Rea}) aufgrund einer nicht-trauma Ursache reanimationspflichtig geworden.

6.4.2. Spezielle Ergebnisse zur Intubation im Subkollektiv Herz-Kreislauf-Stillstand

Erster Intubationsversuch

Von insgesamt 70 (33,8% von n_{ges}) dokumentierten Intubationen im Subkollektiv Herz-Kreislauf-Stillstand wurden 49 (70,0% von n_{Rea}) von der Besetzung des jeweiligen Studienrettungsmittels durchgeführt. Die Daten von 18 dieser 49 Einsätze (25,7% von n_{Rea}) konnten „online“ durch einen Dokumentationsassistenten im erweiterten Dokumentationsprotokoll festgehalten werden. 31 Einsätze (44,3% von n_{Rea}) wurden vom jeweiligen Notarzt retrospektiv im Basisdatensatzprotokoll dokumentiert. Die Intubation von 21 Patienten (30,0% von n_{Rea}) erfolgte bereits vor Eintreffen des Studienrettungsmittels. Eine Maskenbeatmung vor dem Einführen des Laryngoskopes wurde in 11 Fällen (trauma bedingter Herz-Kreislauf-Stillstand $n=1$; nicht-trauma bedingter Herz-Kreislauf-Stillstand=10) durchgeführt. Bei sieben Patienten (trauma bedingter Herz-Kreislauf-Stillstand $n=4$; nicht-trauma bedingter Herz-Kreislauf-Stillstand $n=3$) erfolgte die Intubation ohne vorhergehende Maskenbeatmung.

Durchführung der Intubation im Subkollektiv Herz-Kreislauf-Stillstand

Beim ersten Intubationsversuch im Subkollektiv Herz-Kreislauf-Stillstand wurden 46 Patienten (65,7% von n_{Rea}) durch den Notarzt und fünf Patienten (7,1% von n_{Rea}) durch den RettAss/RS des Studienrettungsmittels intubiert. Die Intubation von 19 Patienten (27,1% von n_{Rea}) erfolgte bereits vor Eintreffen des Studienrettungsmittels.

Die Intubation bei Patienten mit trauma bedingtem Herz-Kreislauf-Stillstand (n=14) erfolgte bei acht Patienten (11,4% von n_{Rea}) durch den jeweiligen Notarzt. Sechs Patienten (8,6% von n_{Rea}) wurden bereits vor Eintreffen des Studienrettungsmittels intubiert.

Bei Patienten mit nicht-trauma bedingtem Herz-Kreislauf-Stillstand (n=56) wurde in 38 Fällen (54,2% von n_{Rea}) die Intubation durch den Notarzt und in fünf Fällen (7,1% von n_{Rea}) durch den RettAss/RS des Studienrettungsmittels durchgeführt. 13 Personen (18,6% von n_{Rea}) wurden bereits vor dem Eintreffen des Studienrettungsmittels intubiert.

Als Zugangsweg für die Intubation wurde im Subkollektiv Herz-Kreislauf-Stillstand im ersten Versuch in allen 70 Fällen der orale Zugangsweg gewählt.

Einsehbarkeit der Stimmbandebene im Subkollektiv Herz-Kreislauf-Stillstand

Die Einsehbarkeit der Stimmbandebene im Subkollektiv Herz-Kreislauf-Stillstand wurde in 3 Fällen (4,3% von n_{Rea}) als gar nicht einsehbar angegeben. In 34 Fällen (48,6% von n_{Rea}) konnte sie komplett, in 25 Fällen (35,7% von n_{Rea}) teilweise eingesehen werden (vgl. Tab. 6.4.2.-1).

Tabelle 6.4.2.-1: Einsehbarkeit der Stimmbandebene im Subkollektiv Herz-Kreislauf-Stillstand

	Gesamtkollektiv CPR (%)	Trauma bedingte CPR (%)	Nicht-Trauma bedingte CPR (%)
Stimmbandebene komplett einsehbar	34 (48,6%)	7 (10%)	27 (38,6%)
Stimmbandebene teilweise einsehbar	25 (35,7%)	5 (7,1%)	20 (28,6%)
Stimmbandebene gar nicht einsehbar	3 (4,3%)	1 (1,4%)	2 (2,9%)
Stimmbandebene nicht beurteilt	8 (11,4%)	1 (1,4%)	7 (10%)

Intubationserschwerisse im Subkollektiv Herz-Kreislauf-Stillstand

Die Intubationserschwerisse im Subkollektiv Herz-Kreislauf-Stillstand sind in Tabelle 6.4.2.-2 zusammengefasst.

Tabelle 6.4.2.-2: Intubationserschwerisse im Subkollektiv Herz-Kreislauf-Stillstand

	Gesamtkollektiv CPR (%)	Trauma bedingte CPR (%)	Nicht-Trauma bedingte CPR (%)
Platzmangel	13 (18,6%)	2 (2,9%)	11 (15,7%)
Verminderte Reklinationsmöglichkeit des Kopfes	5 (7,1%)	0	5 (7,1%)
Unzureichende Sichtverhältnisse	17 (24,2%)	8 (11,4%)	9 (12,9%)
Anatomische Besonderheiten	5 (7,1%)	0	5 (7,1%)
Mangelnde Mundöffnung	5 (7,1%)	1 (1,4%)	4 (5,7%)
Keine Intubationserschwerisse	33 (47,1%)	5 (7,1%)	28 (40,0%)

Intubationshilfsmittel im Subkollektiv Herz-Kreislauf-Stillstand

Die verwendeten Intubationshilfsmittel im Subkollektiv Herz-Kreislauf-Stillstand sind in Tabelle 6.4.2.-3 zusammengefaßt. Bei trauma bedingtem Herz-Kreislauf-Stillstand erfolgte in 10 Fällen (14,3% von n_{Rea}), bei nicht-trauma bedingtem Herz-Kreislauf-Stillstand in 34 Fällen (48,6% von n_{Rea}) die Verwendung eines oder mehrerer Intubationshilfsmittel.

Tabelle 6.4.2.-3: Verwendete Intubationshilfsmittel im Subkollektiv Herz-Kreislauf-Stillstand

	Gesamtkollektiv Herz-Kreislauf-Stillstand	Trauma bedingter Herz-Kreislauf-Stillstand	Nicht-Trauma bedingter Herz-Kreislauf-Stillstand
Führungsstab	7 (10%)	2 (2,9%)	5 (7,1%)
Sellik-Handgriff	5 (7,1%)	1 (1,4%)	4 (5,7%)
Absaugvorrichtung	7 (10%)	1 (1,4%)	6 (8,6%)
Sellik-Handgriff und Absaugvorrichtung	5 (7,1%)	0	5 (7,1%)
Führungsstab und Absaugvorrichtung	4 (5,7%)	2 (2,9%)	2 (2,9%)
Führungsstab und Sellik-Handgriff	4 (5,7%)	3 (4,3%)	1 (1,4%)
Kein Intubationshilfsmittel	26 (37,1%)	4 (5,7%)	22 (31,4%)

Einsatz- und Intubationsrelevante Zeiten im Subkollektiv Herz-Kreislauf-Stillstand

Die Zeitspanne von Notrufeingang bis Einführen des Endotrachealtubus betrug bei trauma bedingtem Herz-Kreislauf-Stillstand im Median 20 Minuten, bei nicht-trauma bedingtem Herz-Kreislauf-Stillstand im Median 13,5 Minuten.

Tabelle 6.4.2.-4: Median Einsatzzeiten im Subkollektiv Herz-Kreislauf-Stillstand

	Gesamtkollektiv CPR (n)	Trauma bedingte CPR (n)	Nicht-Trauma bedingte CPR (n)
Notrufeingang – Eintreffen 1. Rettungsmittel (NE.1RM)	7 min (n=31)	7 min (n=12)	6 min (n=19)
Notrufeingang – 1. Arzt am Einsatz (NE.1Dr)	11 min (n=30)	11 min (n=11)	11 min (n=19)
Ankunftszeit – Maskenbeatmung (An.MB)	1,2 min (n=10)	2 min (n=1)	1,1 min (n=9)
Ankunftszeit – Laryngoskopie (An.Laryn)	3 min (n=16)	3,1 min (n=5)	2 min (n=11)
Ankunftszeit – Einführen Tubus (An.Int)	3,2 min (n=16)	3,3 min (n=5)	2,4 min (n=11)
Notrufeingang – Einführen Tubus (NE.Int)	14,2 min (n=16)	20 min (n=5)	13,5 min (n=12)

Zweiter Intubationsversuch

In 13 Fällen (18,6% von n_{Rea}) erfolgte ein zweiter Intubationsversuch (trauma bedingter Herz-Kreislauf-Stillstand $n=5$ (7,1% von n_{Rea}); nicht-trauma bedingter Herz-Kreislauf-Stillstand $n=8$ (11,4% von n_{Rea})).

Im zweiten Intubationsversuch erfolgte die Intubation in allen Fällen durch den Notarzt über den oralen Zugangsweg.

Einschbarkeit der Stimmbandenebene zweiter Intubationsversuch Subkollektiv Herz-Kreislauf-Stillstand

Die Einschbarkeit der Stimmbandenebene wurde beim zweiten Intubationsversuch im Subkollektiv Herz-Kreislauf-Stillstand in 3 Fällen (4,3% von n_{Rea}) als komplett einschbar, in 7 Fällen (10% von n_{Rea}) als teilweise einschbar und in 2 Fällen (2,9% von n_{Rea}) als gar nicht einschbar beurteilt (vgl. Tab. 6.4.2.-5).

Tabelle 6.4.2.-5: Einsehbarkeit der Stimmbandenebene zweiter Intubationsversuch im Subkollektiv Herz-Kreislauf-Stillstand

	Gesamtkollektiv CPR (%)	Trauma bedingte CPR (%)	Nicht-Trauma bedingte CPR (%)
Stimmbandenebene komplett einsehbar	3 (4,3%)	0	3 (4,3%)
Stimmbandenebene teilweise einsehbar	7 (10%)	4 (5,7%)	3 (4,3%)
Stimmbandenebene gar nicht einsehbar	2 (2,9%)	1 (1,4%)	1 (1,4%)
Stimmbandenebene nicht beurteilt	1 (1,4%)	0	1 (1,4%)

Intubationserschwerisse zweiter Intubationsversuch im Subkollektiv Herz-Kreislauf-Stillstand

Bei Patienten mit trauma bedingtem Herz-Kreislauf-Stillstand traten im zweiten Intubationsversuch in allen Fällen Intubationserschwerisse auf. Bei Patienten mit einem Herz-Kreislauf-Stillstand mit nicht-trauma Genese trat in einem Intubationsversuch (1,4% von n_{Rea}) keine Intubationserschwerisse auf.

Tabelle 6.4.2.-6: Intubationserschwerisse im Subkollektiv Herz-Kreislauf-Stillstand

	Gesamtkollektiv CPR (%)	Trauma bedingte CPR (%)	Nicht-Trauma bedingte CPR (%)
Platzmangel	4 (5,7%)	1 (1,4%)	3 (4,3%)
Verminderte Reklinationsmöglichkeit des Kopfes	3 (4,3%)	1 (1,4%)	2 (2,9%)
Unzureichende Sichtverhältnisse	4 (5,7%)	3 (2,9%)	1 (1,4%)
Anatomische Besonderheiten	4 (5,7%)	0	4 (5,7%)
Mangelnde Mundöffnung	3 (2,9%)	1 (1,4%)	2 (2,9%)
Keine Intubationserschwerisse	1 (1,4%)	0	1 (1,4%)

Intubationshilfsmittel zweiter Intubationsversuch im Subkollektiv Herz-Kreislauf-Stillstand

Die Intubation im Subkollektiv Herz-Kreislauf-Stillstand wurde in drei Fällen (2,9% von n_{Rea}) ohne Verwendung von Intubationshilfsmitteln durchgeführt. Eine dieser Intubationen (1,4% von n_{Rea}) erfolgte bei Patienten mit Herz-Kreislauf-Stillstand mit trauma Genese und zwei Intubationen (2,9% von n_{Rea}) bei Patienten mit Herz-Kreislauf-Stillstand mit nicht-trauma Genese.

Tabelle 6.4.2.-7: Intubationshilfsmittel zweiter Intubationsversuch im Subkollektiv Herz-Kreislauf-Stillstand

	Gesamtkollektiv CPR	Trauma bedingter CPR	Nicht-Trauma bedingter CPR
Führungsstab	1 (1,4%)	0	1 (1,4%)
Absaugvorrichtung	1 (1,4%)	0	1 (1,4%)
Führungsstab Sellik-Handgriff und Absaugvorrichtung	4 (5,7%)	2 (2,9%)	2 (2,9%)
Führungsstab und Sellik-Handgriff	3 (4,3%)	2 (2,9%)	1 (1,4%)
Kein Intubationshilfsmittel	3 (4,3%)	1 (1,4%)	2 (2,9%)

6.4.3. Spezielle Ergebnisse zur Kapnometrie im Subkollektiv Herz-Kreislauf-Stillstand

Das Kapnometer CO₂ntrol one™ wurde bei 28 Patienten mit Herz-Kreislauf-Stillstand (40% von n_{Rea}) verwendet. Zehn dieser Einsätze konnten durch einen Studienassistenten begleitet und „online“ dokumentiert werden.

Das Kapnometriemodul des LifePak 12® Monitors und Defibrillator wurde bei 13 Intubationen (18,6% von n_{Rea}) im Subkollektiv Herz-Kreislauf-Stillstand eingesetzt. Die Datenerhebung erfolgte in neun Fällen (12,9% von n_{Rea}) durch einen Studienassistenten anhand des erweiterten Dokumentationsprotokolls, in vier Fällen (5,7% von n_{Rea}) durch den jeweils behandelnden Notarzt basierend auf dem Basisdatensatzprotokoll.

Bei 28 Patienten (40% von n_{Rea}) im Subkollektiv Herz-Kreislauf-Stillstand konnte die Intubation mit dem Pocket Cap™ dokumentiert werden. Die Datenerhebung erfolgte in 13

Fällen (18,6% von n_{Rea}) durch einen Studienassistenten anhand des erweiterten Dokumentationsprotokolls. In 15 Fällen (21,4% von n_{Rea}) wurde die Datenerhebung durch den behandelnden Notarzt retrospektiv durchgeführt.

Einsatzbereitschaft der Kapnometriegeräte im Subkollektiv Herz-Kreislauf-Stillstand

Die Dauer bis zur Herstellung der Einsatzbereitschaft des Pocket Cap™ betrug im Median 25 Sekunden, bei trauma bedingtem Herz-Kreislauf-Stillstand 25 Sekunden und bei nicht-trauma bedingtem Herz-Kreislauf-Stillstand 17,5 Sekunden (vgl. Tab. 6.4.3.-1). Das LifePak 12® war im Median nach 7,5 Sekunden, das CO₂ntrol one™ nach 5 Sekunden einsatzbereit.

Tabelle 6.4.3.-1: Dauer bis Einsatzbereitschaft Kapnometriegeräte im Subkollektiv Herz-Kreislauf-Stillstand

	CO₂ntrol one™ (Min; Max)	LifePak 12® (Min; Max)	Pocket Cap™ (Min; Max)
Gesamtkollektiv Herz-Kreislauf-Stillstand	5 Sek. (3 Sek.; 15 Sek.)	7,5 Sek. (5 Sek.; 20 Sek.)	25 Sek. (3 Sek.; 35 Sek.)
Trauma bedingter Herz-Kreislauf-Stillstand	5 Sek. (3 Sek.; 6 Sek.)	7,5 Sek. (5 Sek.; 15 Sek.)	25 Sek. (20 Sek.; 35 Sek.)
Nicht-Trauma bedingter Herz-Kreislauf-Stillstand	5 Sek. (3 Sek.; 15 Sek.)	7,5 Sek. (5 Sek.; 20 Sek.)	17,5 Sek. (3 Sek.; 35 Sek.)

Dauer bis zur Kapnometrieanzeige im Subkollektiv Herz-Kreislauf-Stillstand

Die Dauer bis zur Anzeige von endexpiratorischem CO₂ betrug beim CO₂ntrol one™ im Median fünf Sekunden bzw. einen Beatmungshub. Die Anzeige des LifePak 12® erfolgte im Median nach zehn Sekunden bzw. einem Beatmungshub und die des Pocket Cap™ nach fünf Sekunden bzw. im Median nach zehn Beatmungshüben. Beim Einsatz des Pocket Cap™ bei trauma bedingtem Herz-Kreislauf-Stillstand erfolgte die Anzeige im Median nach 90 Sekunden bzw. 25 Beatmungshüben.

Tabelle 6.4.3.-2: Dauer bis zur Kapnometrieanzeige in Sekunden im Subkollektiv Herz-Kreislauf-Stillstand

	CO₂ntrol one™ (Min; Max)	LifePak 12® (Min; Max)	Pocket Cap™ (Min; Max)
Gesamtkollektiv Herz-Kreislauf-Stillstand	5 Sek. (5 Sek.; 20 Sek.)	10 Sek. (5 Sek.; 25 Sek.)	5 Sek. (0 Sek.; 180 Sek.)
Trauma bedingter Herz-Kreislauf-Stillstand	5 Sek. (5 Sek.)	8 Sek. (5 Sek.; 10 Sek.)	90 Sek. (0 Sek.; 180 Sek.)
Nicht-Trauma bedingter Herz-Kreislauf-Stillstand	7 Sek. (5 Sek.; 20 Sek.)	10 Sek. (7 Sek.; 25 Sek.)	5 Sek. (3 Sek.; 60 Min.)

Tabelle 6.4.3.-3: Dauer bis zur Kapnometrieanzeige in Beatmungshüben im Subkollektiv Herz-Kreislauf-Stillstand

	CO₂ntrol one™ (Min; Max)	LifePak 12® (Min; Max)	Pocket Cap™ (Min; Max)
Gesamtkollektiv Herz-Kreislauf-Stillstand	1 Hub (1 Hub; 15 Hübe)	1 Hub (1 Hub; 6 Hübe)	10 Hub (1 Hub; 100 Hübe)
Trauma bedingter Herz-Kreislauf-Stillstand	1 Hübe (1 Hub)	3,5 Hub (1 Hub; 6 Hübe)	25 Hübe (1 Hub; 100 Hübe)
Nicht-Trauma bedingter Herz-Kreislauf-Stillstand	2 Hub (1 Hub; 15 Hübe)	1 Hub (1 Hub)	1 Hub (1 Hub; 40 Hübe)

6.4.4. Verifizierung der Tubuslage im Subkollektiv Herz-Kreislauf-Stillstand

Erster Intubationsversuch

Nach jeder der 70 dokumentierten Intubationen (33,8% n_{ges} ; ☞ **A1**) aufgrund eines Herz-Kreislauf-Stillstandes erfolgte die Verifizierung der Tubuslage durch den Intubierenden anhand der herkömmlich verwendeten Methoden (☞ **B1**). Der darauf folgenden Entscheidung des Intubierenden nach war die Tubuslage in 56 Fällen (80,0% von n_{Rea} ; $n_{Rea-T}=10$ (14,3% von n_{Rea}); $n_{Rea-NT}=46$ (65,7% von n_{Rea}) sicher endotracheal (☞ **C1**) und in vier Fällen (5,7% von n_{Rea} ; $n_{Rea-T}=2$ (2,9% von n_{Rea}); $n_{Rea-NT}=2$ (2,9% von n_{Rea})) sicher oesophageal (☞ **C3**). In 10 Fällen (14,3% von n_{Rea} ; $n_{Rea-T}=2$ (2,9% von n_{Rea}); $n_{Rea-NT}=8$ (11,4% von n_{Rea})) blieb die Tubuslage nach ihrer Verifizierung unter zu Hilfenahme der herkömmlichen Methoden weiterhin unsicher (☞ **C2**).

In allen 56 Fällen mit sicher endotrachealer Tubuslage (☞ **D1**) und in sechs Fällen (8,6% von n_{Rea} ; $n_{Rea-T}=1$ (1,4% von n_{Rea}); $n_{Rea-NT}=5$ (7,1% von n_{Rea})) mit einer weiterhin unsicheren Tubuslage (☞ **D2**) erfolgte der Einsatz des Kapnometrieegerätes ($n_{Rea-T}=11$ (15,7% von n_{Rea}); $n_{Rea-NT}=51$ (72,9% von n_{Rea}); ☞ **E1**). In den vier Fällen mit sicher oesophagealer Tubuslage (☞ **D4**) sowie in vier Fällen ($n_{Rea-T}=1$ (1,4% von n_{Rea}); $n_{Rea-NT}=3$ (4,3% von n_{Rea})) mit weiterhin unsicherer Tubuslage (☞ **D3**) erfolgte eine erneute Laryngoskopie und ein zweiter Intubationsversuch ($n=8$; (11,4% von n_{Rea}); $n_{Rea-T}=3$ (4,3% von n_{Rea}); $n_{Rea-NT}=5$ (7,1% von n_{Rea}) ☞ **E2**).

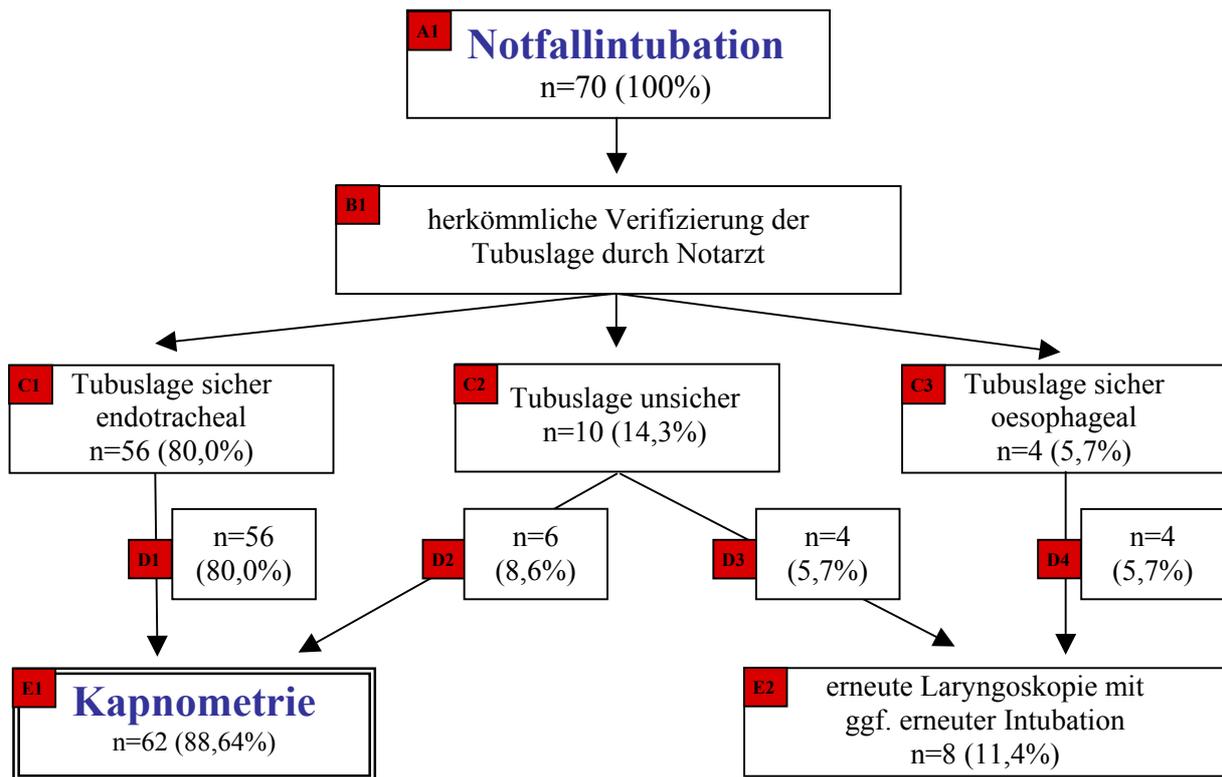


Abb. 6.4.4.-1: Klinische Verifizierung der Tubuslage im Subkollektiv Herz-Kreislauf-Stillstand (n=70)

Nach dem Einsatz des Kapnometrierätes gab der Intubierende in 47 Fällen (67,1% von n_{Rea} ; $n_{\text{Rea-T}}=6$ (8,6% von n_{Rea} ; $n_{\text{Rea-NT}}=41$ (58,6% von n_{Rea})) eine sicher endotracheale Tubuslage (☞F1), in einem Fall (1,4% von n_{Rea} ; $n_{\text{Rea-T}}=0$; $n_{\text{Rea-NT}}=1$ (1,4% von n_{Rea})) eine sicher oesophageale Tubuslage (☞F3) und in 14 Fällen (20% von n_{Rea} ; $n_{\text{Rea-T}}=5$ (7,1% von n_{Rea}); $n_{\text{Rea-NT}}=9$ (12,9% von n_{Rea})) eine unsichere Tubuslage an (☞F2).

In allen 47 Fällen mit sicher endotrachealer Tubuslage (☞G1) und in 10 Fällen (14,3% von n_{Rea} ; $n_{\text{Rea-T}}=3$ (4,3% von n_{Rea}); $n_{\text{Rea-NT}}=7$ (10,0% von n_{Rea})) mit einer weiterhin unsicheren Tubuslage (☞G2) erfolgte die weitere Versorgung des Patienten (☞H1) und die endgültige Verifizierung der Tubuslage durch das erstaufnehmende Krankenhaus (☞I). In dem Fall mit der sicher oesophagealen Tubuslage nach Kapnometrie (☞G4) und in vier Fällen (5,7% von n_{Rea} ; $n_{\text{Rea-T}}=2$ (2,9% von n_{Rea}); $n_{\text{Rea-NT}}=2$ (2,9% von n_{Rea})) mit einer weiterhin unsicheren Tubuslage (☞G3) erfolgte eine erneute Laryngoskopie und ein zweiter Intubationsversuch ($n=5$; 7,1% von n_{Rea} ; $n_{\text{Rea-T}}=2$ (2,9% von n_{Rea}); $n_{\text{Rea-NT}}=3$ (4,3% von n_{Rea}) ☞H2).

Die endgültige Verifizierung der Tubuslage durch das erstaufnehmende Krankenhaus ($n=57$; $n_{\text{Rea-T}}=9$ (12,9% von n_{Rea}); $n_{\text{Rea-NT}}=48$ (68,6% von n_{Rea}); ☞J) bestätigte in allen Fällen die sicher endotracheale Tubuslage.

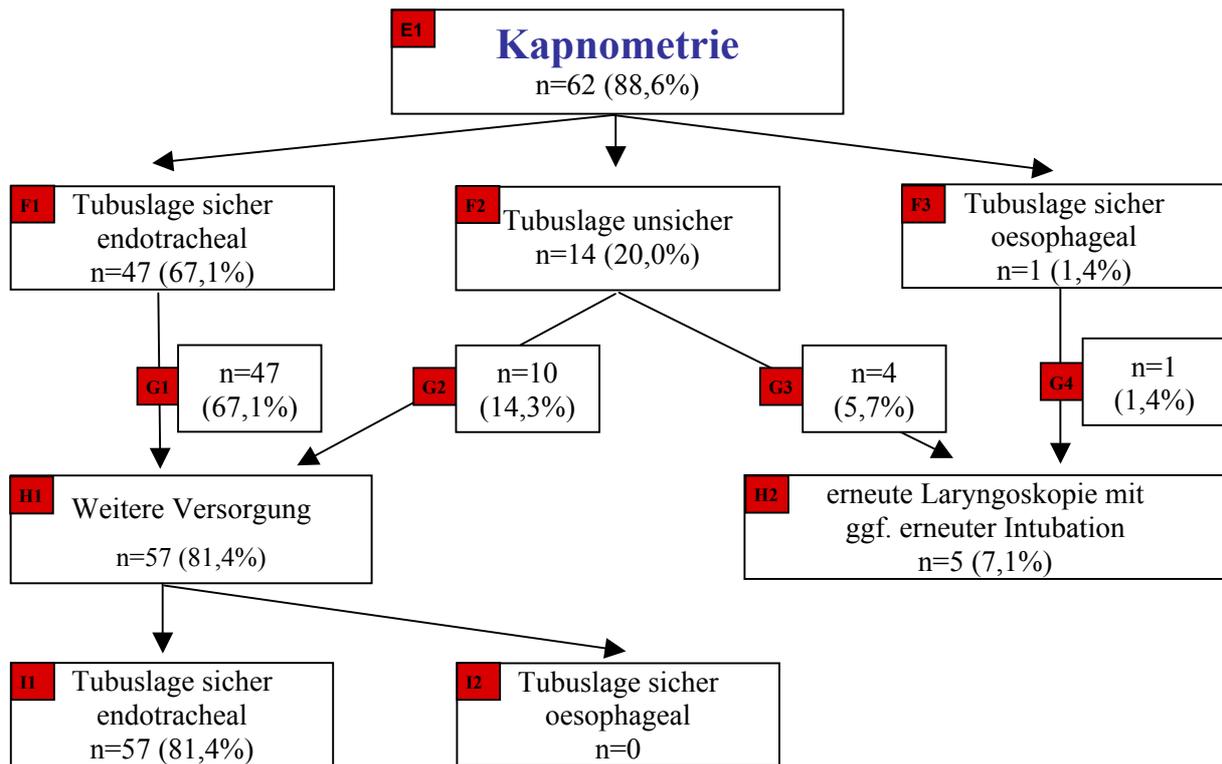


Abb. 6.4.4.-3: Verifizierung der Tubuslage mit Kapnometrie im Subkollektiv Herz-Kreislauf-Stillstand

Zweiter Intubationsversuch

Bei allen 13 zweiten Intubationsversuchen (18,6% von n_{Rea} ; $n_{\text{Rea-T}}=5$ (7,1% von n_{Rea}); $n_{\text{Rea-NT}}=8$ (11,4% von n_{Rea}); ☞A1) erfolgte die Verifizierung der Tubuslage durch den Intubierenden erneut zuerst anhand der herkömmlich verwendeten Methoden (☞B1). Der darauf folgenden Entscheidung des Intubierenden nach war die Tubuslage in 12 Fällen (17,1% von n_{Rea} ; $n_{\text{Rea-T}}=4$ (5,7% von n_{Rea}); $n_{\text{Rea-NT}}=8$ (11,4% von n_{Rea})) sicher endotracheal (☞C1) und in keinem Fall sicher oesophageal (☞C3). In dem weiteren Fall (1,4% von n_{Rea} ; $n_{\text{Rea-T}}=1$ (1,4% von n_{Rea}); $n_{\text{Rea-NT}}=0$) blieb die Tubuslage nach ihrer Verifizierung unter zu Hilfenahme der herkömmlichen Methoden weiterhin unsicher (☞C2).

In allen 12 Fällen mit sicher endotrachealer Tubuslage (☞D1) und in dem einem Fall (1,4% von n_{Rea}) mit einer weiterhin unsicheren Tubuslage (☞D2) erfolgte der Einsatz des Kapnometriergerätes ($n_{\text{Rea-T}}=5$ (7,1% von n_{Rea}); $n_{\text{Rea-NT}}=8$ (11,4% von n_{Rea}); ☞E1). In keinem Fall wurde ein weiterer Intubationsversuch unternommen (☞E2).

Nach dem Einsatz des Kapnometriergerätes gab der Intubierende in neun Fällen (12,9% von n_{Rea} ; $n_{\text{Rea-T}}=2$ (2,9% von n_{Rea}); $n_{\text{Rea-NT}}=7$ (10,0% von n_{Rea})) eine sicher endotracheale Tubuslage (☞F1), in keinem Fall (0% von n_{Rea}) eine sicher oesophageale Tubuslage (☞F3) und in vier Fällen (5,7% von n_{Rea} ; $n_{\text{Rea-T}}=3$ (4,3% von n_{Rea}); $n_{\text{Rea-NT}}=1$ (1,4% von n_{Rea})) eine unsichere Tubuslage an (☞F2).

In allen neun Fällen mit sicher endotrachealer Tubuslage (☞ **G1**) und in allen vier Fällen mit einer weiterhin unsicheren Tubuslage (☞ **G2**) erfolgte die weitere Versorgung des Patienten (n=13; n_{Rea-T}=5 (7,1% von n_{Rea}); n_{Rea-NT}=8 (11,4% von n_{Rea}); ☞ **H1**) und die endgültige Verifizierung der Tubuslage durch das erstaufnehmende Krankenhaus (☞ **I**).

Die endgültige Verifizierung der Tubuslage durch das erstaufnehmende Krankenhaus (n=13; ☞ **J**) bestätigte in allen Fällen die sicher endotracheale Tubuslage.

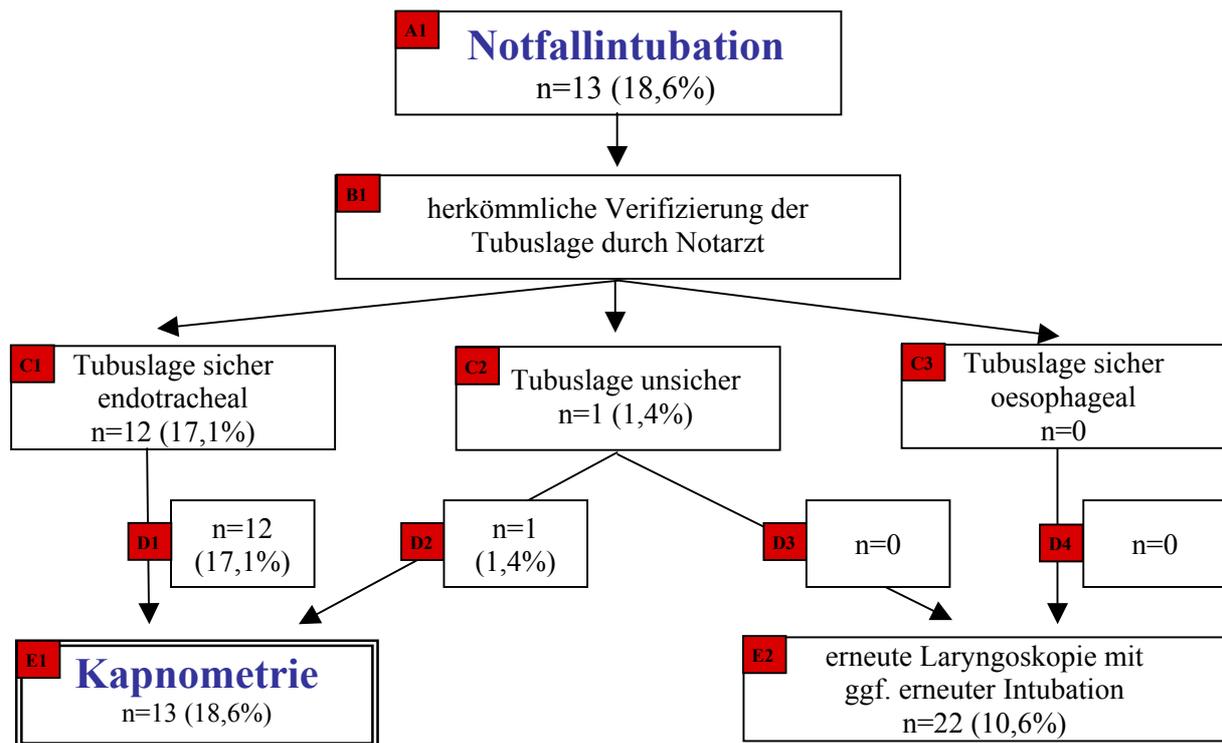


Abb. 6.4.4.-3: Klinische Verifizierung der Tubuslage zweiter Intubationsversuch Subkollektiv Herz-Kreislauf-Stillstand (n=13)

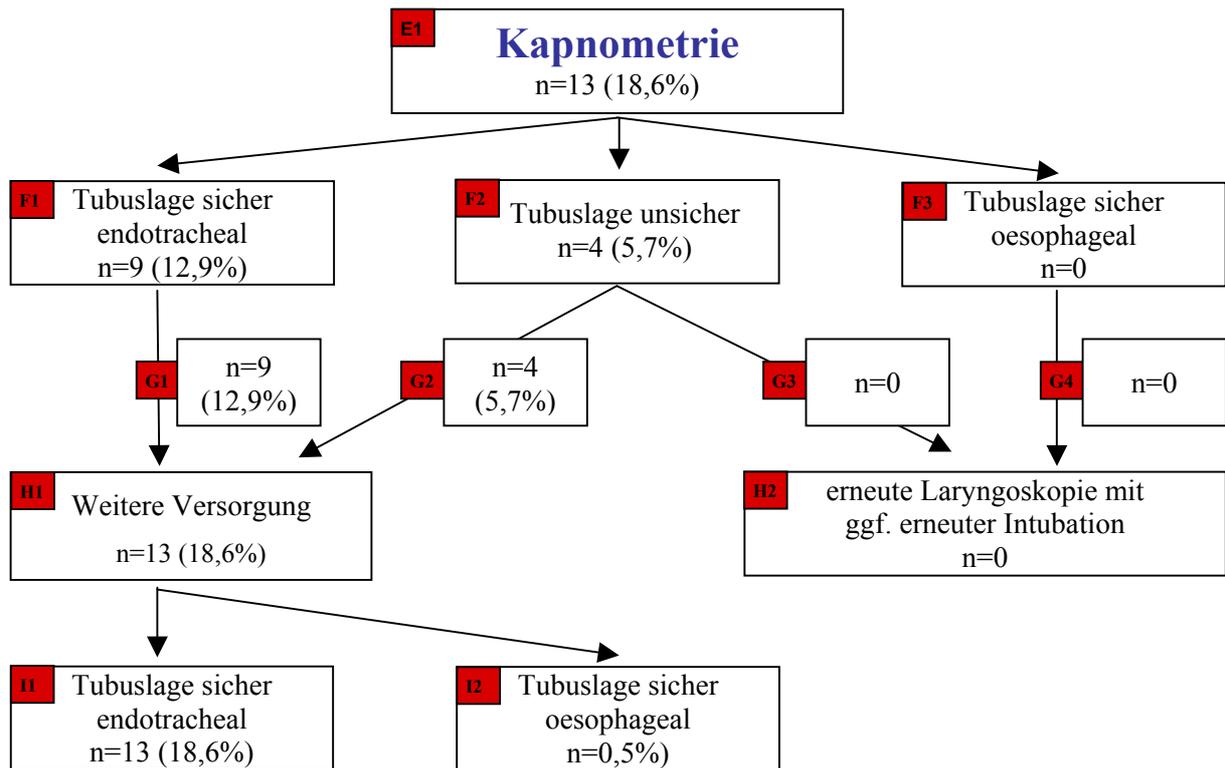


Abb. 6.4.4.-4: Verifizierung der Tubuslage mit Kapnometrie zweiter Intubationsversuch Subkollektiv Herz-Kreislauf-Stillstand (n=13)

6.5. Statistische Ergebnisse

Statistisch signifikanter Unterschied bei Entscheidung Tubuslage sicher/unsicher bei Trauma- und Nicht-Trauma-Patienten?

Nullhypothese: Kein statistisch signifikanter Unterschied bei der Entscheidung Tubuslage sicher/unsicher im Trauma- und Nicht-Trauma-Kollektiv

Schranke für χ^2 -einseitigen-Test mit $\alpha=0,05$ und einem Signifikanzniveau von 5% = 2,706

Tabelle 6.5.-1: Vierfeldertafel Tubuslage sicher/unsicher

	Tubuslage Sicher	Tubuslage unsicher	Σ
Trauma	82	8	90
Nicht-Trauma	102	15	117
Σ	184	23	207

Der errechnete χ^2 -Wert beträgt: **0,796153846**

Da $0,796 < 2,706$, lässt sich die Nullhypothese (Homogenitätshypothese zwischen den Kategorien) anhand der vorliegenden Daten auf dem 5%-Signifikanzniveau nicht ablehnen. Der Anteil der unsicheren Tubuslagen bei Patienten aus dem Subkollektiv Trauma ist gleich dem Anteil der unsicheren Tubuslagen bei Patienten aus dem Subkollektiv Nicht-Trauma.

Statistisch signifikanter Unterschied bei Einsehbarkeit der Stimmbandebene bei Trauma- und Nicht-Trauma-Patienten?

Nullhypothese: Es besteht kein signifikanter Unterschied zwischen der Einsehbarkeit der Stimmbandebene im Subkollektiv Trauma- bzw. Nicht-Trauma

Schranke für χ^2 -einseitigen-Test mit $\alpha=0,05$ und einem Signifikanzniveau von 5% = 2,706

Tabelle 6.5.-2: Vierfeldertafel Einsehbarkeit der Stimmbandebene

	Stimmband- ebene +	Stimmband- ebene -	Σ
Trauma	49	32	81
Nicht-Trauma	65	41	106
Σ	114	73	187

Der errechnete χ^2 -Wert beträgt: **0,013192883**

Da $0,013 < 2,706$ lässt sich die Nullhypothese anhand der vorliegenden Daten auf dem 5%-Signifikanzniveau nicht ablehnen. Die Einsehbarkeit der Stimmbandebenen im Subkollektiv Trauma ist gleich der im Subkollektiv Nicht-Trauma.

Statistisch signifikanter Unterschied bei Intubationserschwernissen bei Trauma- und Nicht-Trauma-Patienten?

Nullhypothese: Es besteht kein signifikanter Unterschied zwischen den Intubationserschwernissen im Subkollektiv Trauma bzw. Nicht-Trauma

Schranke für χ^2 -einseitigen-Test mit $\alpha=0,05$ und einem Signifikanzniveau von 5% = 2,706

Tabelle 6.5.-3: Vierfeldertafel Intubationserschwerisse

	Intubations- erschweren. +	Intubations. erschweren. -	Σ
Trauma	60	30	90
Nicht-Trauma	58	59	117
Σ	118	89	207

Der errechnete χ^2 -Wert beträgt: **6,06477887**

Da $6,065 > 2,706$ wird die Nullhypothese anhand der Vorliegenden Daten auf dem 5%-Signifikanzniveau abgelehnt. Der Anteil der Intubationserschwerisse im Subkollektiv Trauma ist größer als im Subkollektiv Nicht-Trauma.

Statistisch signifikanter Unterschied bei der Einsehbarkeit der Stimmbandebene Herz-Kreislauf-Stillstand/Nicht-Herz-Kreislauf-Stillstand-Kollektiv?

Nullhypothese: Es besteht kein signifikanter Unterschied zwischen der Einsehbarkeit der Stimmbandebene im Herz-Kreislauf-Stillstand- bzw. Nicht-Herz-Kreislauf-Stillstand-Kollektiv.

Schranke für χ^2 -einseitigen-Test mit $\alpha=0,05$ und einem Signifikanzniveau von $5\% = 2,706$

Tabelle 6.5.-4: Vierfeldertafel Einsehbarkeit der Stimmbandebene Rea/Nicht-Rea

	Stimmband- ebene +	Stimmband- ebene -	Σ
Rea	34	28	62
Keine Rea	80	45	125
Σ	114	73	183

Der errechnete χ^2 -Wert beträgt: **1,461601197**

Da $1,462 < 2,706$ wird die Nullhypothese anhand der vorliegenden Daten auf dem 5%-Signifikanzniveau nicht abgelehnt. Der Anteil der einsehbaren Stimmbandebenen im Subkollektiv Herz-Kreislauf-Stillstand entspricht dem im Unterkollektiv Nicht Herz-Kreislauf-Stillstand.

7. Diskussion

7.1. Material und Methode

Die präklinische Intubation eines Notfallpatienten stellt für jeden Notfallmediziner im präklinischen Einsatz eine Herausforderung dar. Schwierigkeiten, durch unvorhersehbare Variablen bedingt, können auch bei erfahrenen Notärzten zu Problemen führen. Valide Erkenntnisse kontrollierter Studien zu dieser Problematik, lagen bis dato nur vereinzelt vor [1, 43, 44, 67, 71].

Durch die hier gewählte prospektive Methodik der „online“ Datenerhebung war es möglich, ein breites notfallmedizinisches Patientenkollektiv (n=207) zu erfassen. Die Basisdaten wurden immer durch den Intubierenden, während bzw. nach der Intubation, dokumentiert. Durch den Einsatz, von unabhängigen, am Einsatz nicht beteiligten Studienassistenten gelang es, für ein kleineres Patientenkollektiv (n=103), zusätzlich Daten zur Intubation, Zeitabläufen und der Kapnometrie im Rettungsdienst zu generieren. Eine objektive und zeitsynchrone Dokumentation wichtiger Parameter und Ereignisse konnte dadurch gewährleistet werden.

Die Anwesenheit der Studienassistenten führte allerdings potentiell, gerade zu Beginn der Studie, bei einigen Notärzten zu einem Gefühl der Überwachung individueller präklinischer Maßnahmen (Anwender-Bias). Individuell „geschönte“ Angaben, z.B. im Bezug auf die Einsehbarkeit der Stimmbandebene, konnten deshalb initial nicht sicher ausgeschlossen werden. Durch die Anonymisierung der Datenerhebung trat nach kurzer Zeit ein Gewöhnungseffekt bei den Anwendern ein. Die Dokumentation durch die Studienassistenten wurde problemlos akzeptiert und unterstützt.

Das Augenmerk dieser Studie lag auf der Prozeßqualität der Intubation und auf möglichen Verbesserungen durch die Kapnometrie. Die erhobenen Daten beschränken sich aus diesem Grund auf den Intubationsvorgang, die Verifizierung der Tubuslage und deren Überwachung während der präklinischen Versorgung.

Durch die Wahl der Studienrettungsmittel konnte ein repräsentativer, notfallmedizinischer Querschnitt zur präklinischen Intubation ermöglicht werden. Einschränkend ist zu erwähnen, das der größte Anteil der Intubationen auf den Rettungsmitteln RTH „Christoph 1“ und NAW „Florian 1/70/1“ dokumentiert wurde (n=172). Beide Rettungsmittel haben ihr Einsatzgebiet im Stadtgebiet München sowie im näheren Umland. Auf dem RTH „Christoph 17“ und auf dem NEF „RK 1510“, mit ihrem Einsatzgebiet in den ländlichen Regionen Bayerns, konnten im Studienzeitraum nur sehr geringe Fallzahlen dokumentiert werden. Das Spektrum der Einsatzindikationen dieser Studie ist damit hauptsächlich durch das Patientenkollektiv der

Großstadt geprägt. Trotzdem konnten die häufigsten, alltäglichen Intubationsindikationen erfasst und wichtige Parameter zur Intubation und Kapnometrie in diesen Situationen dokumentiert werden.

7.2. Allgemeines zu den Kollektiven

7.2.1. Intubationsindikationen

Die Verteilung der Intubationsindikationen dieser Studie, spiegelt ähnlich den Daten vorangegangener präklinischer Studien [1, 18, 57, 68], das Einsatzspektrum der jeweils gewählten Studienrettungsmittel wieder.

Der hier dokumentierte Anteil trauma bedingter Intubationen von 43,5% erscheint im Vergleich zu anderen präklinischen Studien wie z.B. von Adnet et al. [1] mit 18,8%, Ochs et al. [57] mit 29% und Bozeman et al. [18] mit 16% trauma bedingten Intubationsindikationen, relativ hoch.

Dieser Unterschied ergibt sich durch einen hohen Anteil von Einsätzen der beiden Rettungshubschrauber „Christoph 1“ und „Christoph 17“ (53,6% von n_{ges}) an den Gesamteinsätzen der Studie. So erfolgte auf dem RTH „Christoph 1“ in 69,7% der Fälle bzw. auf dem RTH „Christoph 17“ in 59,1% der Fälle die Intubation aufgrund einer trauma bedingten Ursache. Die an dieser Studie beteiligten bodengebundenen Rettungsmittel, wiesen dagegen in nur 13,3% der Fälle (NAW „Florian 1/70/1“) bzw. in 30,8% der Fälle (NEF „RK1510“) trauma bedingte Intubationsindikationen auf.

Die Kollektive der Vergleichsstudien setzten sich dagegen, einerseits aus dem Einsatzgebiet der rein bodengebundenen Studienrettungsmitteln der Ile de France [1], andererseits aus einem präklinischen und einem frühen klinischen Teil des Rettungsdienstsystems der USA [18] zusammen. Eine Vergleichbarkeit der Studien ist schon aus diesem Grunde nur sehr eingeschränkt gegeben.

Die Studien von Tayal et al. [78] von 1999 sowie von Katz et al. [44] von 2001 kamen zu einem dieser Studie vergleichbarem Ergebnis. Hier konnten ebenfalls 44% bzw. 48% trauma bedingte Intubationen dokumentiert werden. Da die Datenerhebung dieser klinischen Studien jeweils innerklinisch in einem „Level 1 Trauma Center“ durchgeführt wurden, sind die Ergebnisse wiederum nur bedingt vergleichbar. Die in diesen Studien dokumentierten Intubationsindikationen spiegeln nicht den Querschnitt der präklinischen

Intubationsindikationen wider. In beiden Fällen handelte es sich jeweils um eine chirurgische Notaufnahme.

7.2.2. Zweiter Intubationsversuch

In einem Prozentsatz von 13,5% musste, in der hier vorgestellten Studie, ein zweiter Intubationsversuch unternommen werden. Aufgrund der fehlenden Datenlage, bezüglich dieser Fragestellung in der Literatur, erscheint eine Einstufung der hier gefundenen Ergebnisse schwierig. Dokumentierte Ergebnisse reichen von 1% zweiter Intubationsversuche und 1% Koniotomien [68] bis zu 32% zweiter Intubationsversuche bzw. sogar 3% [78] bis 11% dritte Intubationsversuche [1].

Da die Anzahl der benötigten Intubationsversuche von vielen Faktoren beeinflusst werden kann, wie z.B. durch die Intubationsindikation, die Narkosetiefe, die Einsatzsituation und den Erfahrungsstand des Intubierenden, sind die erhobenen Daten immer in Abhängigkeit der gewählten Kollektive und Rettungsmittel zu sehen. Eine Einzelbetrachtung ausgewählter Fälle erscheint sinnvoll, um eine Fehlinterpretation dokumentierter Ergebnisse zu vermeiden.

7.3. Intubation

7.3.1. Durchführung der Intubation

Die Durchführung der Intubation erfolgte in 63% der Fälle durch den Notarzt des beteiligten Studienrettungsmittels. In ca. 13% der Fälle wurde diese Maßnahme an den Rettungsassistenten (RettAss)/Rettungssanitäter (RS) des Studienrettungsmittels delegiert. In weiteren 24% der Fälle wurde die Intubation, bereits vor Eintreffen des Studienrettungsmittels, durchgeführt.

Auffällig ist der hohe Anteil von Intubationen durch den RettAss/RS im Subkollektiv Nicht-Trauma von 18,8% gegen 7% im Subkollektiv Herz-Kreislauf-Stillstand und 7% im Subkollektiv Trauma. Dies legt die Schlußfolgerung nahe, daß bei Einsätzen, bei denen aufgrund der Indikation bzw. der Umgebungsbedingungen, mit weniger Komplikationen bei der Durchführung der Intubation zu rechnen ist, diese Maßnahme häufiger vom Notarzt an den RettAss/RS delegiert wurde.

Aufgrund der verschiedenen spezifischen Systeme präklinischer Versorgung ist ein direkter Vergleich des Ausbildungsstandes des Intubierenden nicht immer möglich. Der tatsächliche Erfahrungsstand des Intubierenden ist schwer zu objektivieren und wird hier, sowie in den meisten klinischen und präklinischen Studien vernachlässigt. In mehreren vorangegangenen Studien, die sich am Rande mit dieser Thematik befasst haben, [1, 68, 71, 78] konnte erhoben werden, daß der überwiegende Teil der Patienten durch die Person mit dem höchsten spezifischen Ausbildungsstand und der meisten Übung in der Durchführung dieser Maßnahme intubiert worden ist. Tayal et al. [78] dokumentierte 1999 52% der Intubationen durch den Ausbildungsstand PGY2 und 40% der Intubationen durch den Ausbildungsstand PGY3. Ein vergleichbares Ausbildungskorrelat ist in Deutschland nicht vorhanden.

Auffällig ist weiterhin der hohe Anteil von Intubationen durch Besatzungsmitglieder der Studienrettungsmittel von 74,4% am Gesamtkollektiv. Aus dieser Tatsache können unter anderem vier mögliche Schlußfolgerungen gezogen werden:

1. Das Studienrettungsmittel war gleichzeitig mit den ersten Rettungsmitteln alarmiert worden und traf vor, zeitgleich oder kurz nach dem ersten Rettungsmittel am Einsatzort ein. Die Besatzung des vorher am Einsatzort eintreffenden Rettungsmittel war noch mit der Sichtung des Geschehens und dem Erheben der Vitalparameter beschäftigt und hatte noch keine Zeit für weiterführende Maßnahmen wie z.B. die Intubation.
2. Die Besatzung des ersten Rettungsmittels am Einsatzort hatte sich bis zum Eintreffen des Studienrettungsmittels noch keine Möglichkeit geboten, an den Patienten heranzukommen, wie z.B. bei Einsätzen in schwierigem Gelände, bei Verkehrsunfällen und Wohnungsöffnungen, um eine adäquate Versorgung einzuleiten.
3. Das Studienrettungsmittel wurde durch das erste Rettungsmittel oder den ersten Arzt am Einsatzort nachalarmiert. Die Indikationsstellung zur Intubation erfolgte allerdings erst kurz vor, während oder nach dem Eintreffen des Studienrettungsmittels durch den Notarzt vor Ort oder den Notarzt des Studienrettungsmittels, aufgrund einer Verschlechterung des Zustandes des Patienten.
4. Zum Zeitpunkt der Nachalarmierung des Studienrettungsmittel durch den ersten Arzt am Einsatzort oder dem ersten Rettungsmittel wurde auf dessen Eintreffen gewartet. Die Nachalarmierung erfolgte zum Teil aus dem Gedanken heraus, sich einen „höher qualifizierten“ Kollegen an seine Seite zu holen, der mehr Erfahrung mit invasiven Maßnahmen wie z.B. der Durchführung der Intubation hat. Die bereits am Einsatzort anwesende Besatzungen der Rettungsmittel versuchten die Zeit, bis zum Eintreffen des Studienrettungsmittels, mit weniger invasiven Maßnahmen zu überbrücken.

7.3.2. Einsehbarkeit der Stimmbandebene

Die Einsehbarkeit der Stimmbandebene, sowie die Platzierung des Endotrachealtubus unter Sicht gelten als wichtigste klinische Parameter für die Entscheidung über die sicher endotracheale Tubuslage [3, 13, 47].

Bereits 1991 beschrieben Benumof et al. [9], daß im klinischen Bereich, unter kontrollierten Bedingungen, die Stimmbandebene in 1-4% der Fälle, in einer Studie von Crosby et al. [26] sogar in 1,5 –8,5% der Fälle, nicht einsehbar war. Studien zu dieser Fragestellung für die Präklinik gibt es nicht.

Es ist vermutlich von einem höheren Prozentsatz nicht einsehbarer Stimmbandebenen in der Präklinik auszugehen.

Die in der Präklinik versorgten Patienten sind zumeist nicht nüchtern und weisen häufig Verletzungen im Gesichts- und/oder Halsbereich auf. Enorale Blutungen, veränderte anatomische Verhältnisse und Schleimhautschwellungen im Hypopharynx- und Pharynxbereich führen oftmals zu einer Behinderung der direkten Einsehbarkeit der Stimmbandebene. Zusätzlich erschwerend wirkt sich oftmals die mangelnde Erfahrung des Intubierenden, sowie die nicht immer adäquat gegebene Assistenz des Rettungsdienstpersonals aus.

In klinischen Studien über erschwertes Atemwegsmanagement und Empfehlungen für das Handling von Atemwegsproblemen [9, 26], wird regelmäßig die Relevanz der richtigen Kopflagerung, der adäquaten Intubationstechnik, der Verwendung von einfachen Intubationshilfsmitteln, wie z.B. dem BURP-Maneuver (Backwards, Upwards, Right, Pressure) und einer adäquaten Assistenz im Bezug auf die Einsehbarkeit der Stimmbandebene bestätigt. Inwieweit die an der Studie beteiligten Notärzte versucht haben, durch die oben erwähnten Möglichkeiten die Einsehbarkeit der Stimmbandebene zu verändern, wurde nicht dokumentiert, es ist aber von deren Durchführung auszugehen.

Obwohl eine gewisse Wahrscheinlichkeit besteht, daß die Einsehbarkeit hätte verbessert werden können, muß aber trotzdem häufiger von einer eingeschränkten Sicht auf die Stimmbandebene in der Präklinik ausgegangen werden. Spezielle Gegebenheiten an der Einsatzstelle sind oftmals nicht veränderbar und damit die Sichtverhältnisse auch nicht zu optimieren.

Das Ergebnis dieser Studie, in der „nur“ in 9% der Fälle die Stimmbandebene nicht einsehbar war, muß im Vergleich zur Majorität präklinischer Intubationen als gering eingestuft werden.

Die an dieser Studie beteiligten Notärzte verfügen über jahrelange klinische und präklinische Einsatzerfahrungen als Facharzt bzw. mit Facharztreihe für Anaesthesiologie, Chirurgie oder Innere Medizin mit intensivmedizinischer Zusatzqualifikation. Dies stellt somit keinen repräsentativen Querschnitt der Notärzteschaft dar. Die hier vorgestellten Ergebnisse könnten im täglichen Rettungsdienst vermutlich, vor allem in den ländlichen Gebieten, noch deutlicher ausfallen.

Auch die an dieser Studie beteiligten Rettungsassistenten und Rettungssanitäter verfügen bereits über jahrelange Erfahrungen im Rettungsdienst und z.T. auch über Intensiverfahrungen. Dieser Ausbildungsstand des Rettungsdienstpersonals ist nicht in allen Regionen, vor allem aber in den ländlichen Regionen, nicht gegeben.

Deutliche Unterschiede in der Einsehbarkeit der Stimmbandebene zeigten sich nach Stratifizierung in die verschiedenen Subkollektive. Im Subkollektiv Herz-Kreislauf-Stillstand konnte nur in etwa 4% der Fälle, im Subkollektiv Nicht-Trauma in 7% der Fälle die Stimmbandebenen nicht eingesehen werden.

Im Subkollektiv Trauma dagegen waren 11% der Stimmbandebenen nicht einsehbar. Diese deutlichen Unterschiede lassen sich zum Teil durch die verschiedenen Indikationen und Umgebungsbedingungen der Intubation erklären.

Im Falle der Reanimation z.B. wird ein tief bewußtloser Patient angetroffen, der in den meisten Fällen sofort intubiert werden kann. Im Subkollektiv Trauma dagegen werden viele Patienten meist zu Sicherung der Atemwege oder aufgrund ihres Verletzungsmusters, überwiegend unter Narkoseeinleitung, intubiert. In der Regel, erfolgt in diesem Patientenkollektiv, als eine der ersten Maßnahmen, die Anlage eines Stifneck® zur Immobilisation einer möglichen HWS-Verletzung. Die dadurch eingeschränkte Reklinationsmöglichkeit des Kopfes erschwert in vielen Fällen die freie Sicht auf die Stimmbandebene. Multiple Verletzungen im Gesichts- und Mundbereich, sowie die nicht optimale Lagerung des Patienten wirken sich zusätzlich erschwerend auf die Intubationsbedingungen aus.

Im zweiten Intubationsversuch konnte die Stimmbandebene im Gesamtkollektiv sogar in 17,9% der Fälle nicht eingesehen werden. Im Subkollektiv Nicht-Trauma in 12,5% der Fälle, im Subkollektiv Herz-Kreislauf-Stillstand in 15,4% der Fälle und im Subkollektiv Trauma in 25% der Fälle. Dies kann als ein Hinweis auf erschwerte Intubationsbedingungen gewertet werden.

Analysiert man dagegen die Einstellbarkeit der Stimmbandebene, in Hinblick auf die Fachdisziplin des Intubierenden, ergeben sich keine signifikanten Unterschiede.

7.3.3. Intubationserschwernisse

Der Schwierigkeitsgrad der klinischen sowie der präklinischen Intubation kann anhand verschiedener Kriterien beurteilt werden. Prognosefaktoren wie z.B. die Malampati-Einteilung, der thyreo-mentale Abstand oder die Größe der Mundöffnung des Patienten, können bereits vor der Intubation auf mögliche Schwierigkeiten hinweisen. Ihre Sensitivität und Spezifität wurde bereits mehrfach in vorangegangenen Studien untersucht. In den Studien von Crosby et al. [26], Benumof et al. [9] und Randell [64] variiert die Sensitivität der Malampati-Einteilung zwischen 44,7 bis 67,9% bzw. zwischen 42% bis 81%, die des thyreo-mentalens Abstands zwischen 7 bis 64,7% sowie von 62% bis 91%. Die Sensitivität der Mundöffnung größer 4 cm beträgt etwa 26%. Die Spezifität der Malampati-Einteilung variiert zwischen 89% und 52% bzw. 84% – 66%, die des thyreo-mentalens Abstandes 99,2% bis 25% bzw. 82% – 25%. Die Spezifität der Größe der Mundöffnung als Prognosekriterium, liegt bei 94,8%.

Diese Kriterien können nur auf eine erschwerte Intubation hinweisen, sie sind nicht beweisend dafür. In der Präklinik sind diese Kriterien zweitrangig. Notärzte, die nicht täglich mit der Intubation zu tun haben, können unter Umständen diese Einteilungen, aufgrund der mangelnden Erfahrungen nicht richtig anwenden und Rückschlüsse für die Intubation daraus ziehen. Generell muß in der Präklinik, unabhängig von Prognoseparametern, von einer erschwerten Intubation ausgegangen werden und die notwendigen Vorkehrungen dem Algorithmus [23] gemäß getroffen werden.

Die Beurteilung des Schwierigkeitsgrades der Intubation während des Intubationsvorganges bzw. danach erfolgt aus einer Synthese von subjektiven Parametern wie z.B. die Einschätzung des Intubierenden, die angegebene Einsehbarkeit der Stimmbandebene oder Angaben des Intubierenden zu Intubationserschwernissen und objektiven Kriterien wie z.B. letztendlich verwendete Intubationshilfsmittel oder dem Intubationserfolg.

Studien über erschwertes Atemwegsmanagement [9, 26, 46, 69] aus dem klinischen Bereich, sowie Studien über Intubation im Allgemeinen verdeutlichen die klinische Relevanz erschwelter Intubationen. So konnten Li et al. [53] in einer klinischen Studie über Notfallintubationen („Rapid-Sequenz-Induction“) bei relaxierten Patienten in 3% der Fällen,

bei nicht-relaxierten Patienten in 18% der Fälle eine schwierige Intubation dokumentieren. Caplan et al. [23] beschrieben 6% oesophageale Tubuslagen bei Narkoseeinleitung und Benumof et al. [9] dokumentierten bereits 1991 für den klinischen Bereich in 1-4% der Fälle eine nicht einsehbare Stimmbandebene. Crosby et al. [26] fanden in ihrer Studie 1,5% bis 8,5% erschwerte Intubationen bzw. in 0,13% - 0,3% erfolglose Intubationsversuche. Aussagen, über den präklinischen Bereich wurden lediglich durch Adnet et al. [1] getroffen. Sie konnten in ihrer Studie in 11% der Fälle eine schwierige Intubation dokumentieren.

Der Schwierigkeitsgrad der Intubationen in der hier vorliegenden Studie, lässt sich durch die Betrachtung der Einsehbarkeit der Stimmbandebene, der angegebenen Intubationserschwernisse bzw. der verwendeten Intubationshilfsmittel nicht uneingeschränkt einschätzen.

In 57% der Fälle traten, im Gesamtkollektiv der vorliegenden Studie Intubationserschwernisse auf. Betrachtet man dieses Ergebnis nach Subkollektiven getrennt, zeigt sich ein signifikanter Unterschied zwischen dem Subkollektiv Trauma und dem Subkollektiv Nicht-Trauma in den angegebenen Intubationserschwernissen. Es zeigten sich mit 66,7% deutlich häufiger Intubationserschwernisse bei Patienten aus dem Subkollektiv Trauma im Gegensatz zu den Patienten aus dem Subkollektiv Nicht-Trauma mit 49,6%. Im Subkollektiv Herz-Kreislauf-Stillstand konnte ein vergleichbares Ergebnis von 52,9% (64,3% bei trauma bedingtem Herz-Kreislauf-Stillstand; 50% bei nicht-trauma bedingtem Herz-Kreislauf-Stillstand) dokumentiert werden. Die in dieser Studie dokumentierten Intubationserschwernisse spiegeln Besonderheiten der präklinischen Notfallsituation und –versorgung wieder. Blut oder Erbrochenes im Mund-Rachenraum sowie starke Sonneneinstrahlung führten in 18,4% der Fälle zu einer Verschlechterung der Sichtverhältnisse, hier vor allem im Subkollektiv Trauma (27,7% von n_T). Platzmangel sowie die Verwendung einer HWS-Immobilisation wurden zusätzlich als Intubationserschwernis dokumentiert.

Diese Angaben besitzen wie bereits oben erwähnt, den Charakter subjektiver Einschätzung durch den Notarzt. Zusätzlich, zu tatsächlich vorhandenen Intubationserschwernissen, muß auch der Ausbildungs- bzw. Übungsstand des Intubierenden beachtet werden. So besteht die Möglichkeit, daß ein eher wenig geübter Notarzt sich durch Intubationserschwernisse stärker beeinflusst fühlt, als ein erfahrener Kollege. Der eher unerfahrenere Notarzt, kann unter Umständen Intubationserschwernisse wahrnehmen, die von erfahreneren Kollegen nicht als Problem identifiziert werden.

Die Intubationserschwerisse, nur mit dem Erfahrungsstand des Notarztes zu erklären, ist aber nicht ausreichend. Der Hauptteil der in dieser Studie dokumentierten Intubationserschwerisse ist durch verschiedene Notärzte reproduzierbar. Der eingeklemmte Patient oder der Patient im unwegigem Gelände stellen für jeden Notarzt eine Herausforderung dar.

7.3.4. Intubationshilfsmittel

Als weitere hinweisende Parameter auf den Schwierigkeitsgrad der Intubation können die verwendeten Intubationshilfsmittel herangezogen werden. Die Verwendung eines Intubationshilfsmittels erfolgte in 77% der Fälle. Sie variiert, je nach Subkollektiv, zwischen 88% im Subkollektiv Trauma und 57% im Subkollektiv Nicht-Trauma. Als häufigstes Hilfsmittel wurde im Gesamtkollektiv und den Subkollektiven Trauma und Herz-Kreislauf-Stillstand der Führungsstab verwendet, im Nicht-Trauma-Kollektiv war dies die Absaugvorrichtung. In den meisten Fällen erfolgte die Verwendung von mehreren Hilfsmitteln gleichzeitig. Es liegen keine vergleichbaren Studien über die Verwendung von Intubationshilfsmitteln vor.

Einschränkend für die Beurteilbarkeit des Schwierigkeitsgrades der Intubation durch dieses Kriterium, wirkt sich allerdings die Tatsache aus, daß viele Abläufe im Rettungsdienst im Zuge der Qualitätssicherung standardisiert worden sind. So wird z.B. im Bereich der Mega-Code-Schulungen in Deutschland gelehrt, die Intubation immer mit Führungsstab, Sellik-Handgriff und in Absaugbereitschaft durchzuführen. Die freie Wahl des Intubationshilfsmittels durch den Notarzt, kann damit unter Umständen wegfallen und somit auch das Kriterium für den Schwierigkeitsgrad der Intubation.

Die dokumentierten Unterschiede in der Verwendung von Intubationshilfsmittel zeigen allerdings, daß trotz der zunehmenden Harmonisierung von Einsatzabläufen in Deutschland, kein starres Handlungsschema, ähnlich den Algorithmen der amerikanischen Paramedics, zum Einsatz kommt.

Die Verwendung von Intubationshilfsmitteln kann vom Notarzt oder dem RettAss/RS vorgegeben und beeinflusst werden. Einerseits, kann der Rettungsassistent durch das Vorbereiten und Anreichen eines Intubationshilfsmittels Einfluß auf seine Verwendung nehmen. Ein RettAss/RS der gerade seine Schulausbildung beendet hat, wird, auch ohne Anweisung vom Notarzt, eine Intubation eher anhand der Algorithmen unter Verwendung

von Intubationshilfsmitteln vorbereiten und anreichern. Ein RettAss/RS mit jahrelanger Berufserfahrung hat sich meist schon einen eigenen Handlungsablauf entwickelt und wird, ohne direkte Weisung durch den Notarzt, auch nicht davon abweichen.

Die gleiche Situation besteht aber auch auf der Seite der Notärzte. Junge Notärzte werden vermehrt in Anlehnung an die Algorithmen handeln um in der ersten Zeit nicht den sogenannten „roten Handlungsfaden“ im Einsatz zu verlieren. Der etwas erfahrenere Kollege dagegen, wird eher die der Situation angepassten Intubationshilfsmittel verlangen oder generell seinem eigenen Handlungsablauf folgen. Aufgrund dieser Gegebenheiten ist das Kriterium verwendete Intubationshilfsmittel für die Bestimmung des Schwierigkeitsgrades der Intubation, nicht uneingeschränkt auswertbar.

7.3.5. Narkoseeinleitung

In 31,4% der Fälle erfolgte im Gesamtkollektiv eine Narkoseeinleitung zur Intubation. Adnet et al. [1] konnten in ihrer präklinischen Studie einen Prozentsatz von 66,5% Narkoseeinleitungen dokumentieren. In den klinischen Studien von Tayal et al. [78] sowie von Sakles et al. [68] konnten 70% bzw. 84% „Rapid-Sequenz-Inductions“ dokumentiert werden. Da in der hier vorliegenden Studie, die Daten zur Narkoseeinleitung nur bei „online“ dokumentierten Einsätzen erhoben wurde, muß das Ergebnis auf die Anzahl der „online“ erhobenen Fälle bezogen werden. Unter diesem Gesichtspunkt, ist die in dieser Studie gefundene Quote von 63,1% vergleichbar mit der von Adnet et al [1].

Das Spektrum der zur Narkoseeinleitung verwendeten Medikamente ist, durch die an Bord der Rettungsmittel vorhandenen Medikamente, sehr begrenzt. Zur Grundausstattung der meisten Rettungsmittel zählt Midazolam, Etomidate, Fentanyl und bisweilen Succinylcholin. Sie werden deshalb bei fast allen Einsätzen verwendet. Da ein Großteil der Notärzteschaft nicht aus dem Fachbereich der Anaesthesiologie kommt, sind die Erfahrungen mit andere Medikamente zur Narkoseeinleitung, wie z.B. Thiopental eher gering.

Da die Dosierung immer von Gewicht und Zustand des Patienten abhängig ist, ist mit den in dieser Studie erhobenen Daten, keine Möglichkeit zum Vergleich der Dosierungen gegeben. Es besteht kein signifikanter Unterschied in ihrer Verwendung oder ihrer Dosierung, nach Aufspaltung in die Fachrichtungen der Notärzte oder der Subkollektive Trauma, Nicht-Trauma und Herz-Kreislauf-Stillstand.

7.3.6. Einsatz- und Intubationsrelevante Zeiten

Die Zeitspanne vom Notrufeingang bis zum Eintreffen des ersten Rettungsmittel (im Median 8 Minuten) bzw. des ersten Arztes am Einsatzort (im Median 11 Minuten) ist in allen Subkollektiven vergleichbar. Sie liegt deutlich unterhalb der vom Gesetzgeber in Bayern geforderten Hilfsfrist von 12 Minuten und von 15 Minuten in Ausnahmefällen [48].

Als Hilfsfrist ist in Bayern die benötigte Fahrzeit zum Einsatzort gesetzlich definiert. Diese Zeitspanne wurde in der Studie nicht explizit erhoben. Rückschlüsse darauf lassen sich aber durch die Zeitspanne vom Notrufeingang bis zum Eintreffen des ersten Rettungsmittel am Einsatzort ziehen. Diese Zeitangabe beinhaltet zusätzlich zur Hilfsfrist die Dauer von Notrufeingang, der Einsatzübernahme durch das zuständige Rettungsmittel und die Zeitspanne bis zum Fahrtbeginn. Unter diesen Bedingungen zeigt sich bei den hier dokumentierten Einsätzen im Median eine deutliche Unterschreitung der gesetzlich geforderten Hilfsfrist.

Die Maximalwerte von 39 (NAW „Florian 1/70/1“) bzw. 43 Minuten (RTH „Christoph 1“) bis zum Eintreffen des ersten Rettungsmittel am Einsatzort lassen sich am ehesten durch die Detailanalyse der Einzelfälle beurteilen. Bei dem Einsatz des RTH „Christoph 1“ handelte es sich um einen Herz-Kreislauf-Stillstand in bergigem Gelände. Die als erstes alarmierte Bergwacht konnte vor Eintreffen des RTH nicht zum Patienten vordringen. Beim Einsatz des NAW „Florian 1/70/1“ konnte das erste Rettungsmittel den Einsatzort nicht sofort lokalisieren. Diese Fälle sind zwar nur Einzelfälle, es ist aber nicht ausgeschlossen, daß sie täglich eintreten könnten.

In der Aufschlüsselung nach dem jeweiligen Rettungsmittel (RTH „Christoph 1“ und NAW „Florian 1/70/1“) zeigte sich allerdings subkollektiv-unabhängig eine deutliche Differenz von bis zu 4 Minuten die das erste Rettungsmittel bzw. der erste Arzt bei den Einsätzen des RTH „Christoph 1“ länger zur Anfahrt/Anflug gebraucht hat als bei den Einsätzen des NAW „Florian 1/70/1“.

Dies spiegelt die unterschiedlichen geographischen Gegebenheiten der Einsatzgebiete der beiden Rettungsmittel wieder.

Der NAW „Florian 1/70/1“ wird hauptsächlich im Innenstadtbereich der Stadt München eingesetzt. Der hier stark vertretene öffentliche und private Rettungsdienst, wird zusätzlich durch First Responder der Berufsfeuerwehr München unterstützt. Dies ermöglicht eine sehr kurze Hilfsfrist.

Der RTH „Christoph 1“ rekrutiert einen Grossteil seiner Einsätze aus dem rettungsdienstlich weniger gut erschlossenen ländlichen Gebieten. Längere Einsatzzeiten sind die Folge.

Die in dieser Studie erhobene Einsatzzeit „Eintreffen am Einsatzort“ ist nicht gleich der Ankunftszeit beim Patienten.

Eintreffen am Einsatzort bedeutet den Zeitpunkt, zu dem das Rettungsmittel per FMS den „Status 3“ zur Rettungsleitstelle gesendet hat. Nicht selten wird diese Meldung, bereits vor dem Eintreffen, abgegeben. Die Zeitspanne bis zum letztendlichen Eintreffen beim Patienten ist sehr unterschiedlich. Bei einem Verkehrsunfall ist das Eintreffen am Einsatzort nahezu dem Eintreffen beim Patienten gleichzusetzen. Ist der Einsatzort in schwer zugänglichen Gelände oder z.B. einem Hochhaus können mitunter Minuten vergehen, nachdem das Rettungsmittel den „Status 3“ gesendet hat, bis das Rettungsteam beim Patienten vor Ort ist. Diese Zeitspanne ist nicht in der Hilfsfrist eingeschlossen.

Die Zeit vom Eintreffen des Rettungsdienstes beim Patienten bis zur Maskenbeatmung beträgt im Median 7,1 Minuten. Dieser Wert variiert sehr zwischen den verschiedenen Subkollektiven. So zeigte sich gerade im Subkollektiv Herz-Kreislauf-Stillstand die kürzeste Zeitspanne bis zum Beginn der Maskenbeatmung. Bedingt durch die bereits bestehende Apnoe des Patienten beim Eintreffen des Rettungsdienstes erfolgt sofort die Durchführung dieser Maßnahme. Auch im Subkollektiv Nicht-Trauma zeigt sich ein deutlicher Unterschied zum Subkollektiv Trauma im Median von bis zu 8 Minuten. Im Gegensatz zum Subkollektiv Nicht-Trauma und zum Subkollektiv Herz-Kreislauf-Stillstand sind die meisten Patienten im Subkollektiv Trauma beim Eintreffen des Rettungsdienstes noch ansprechbar bzw. sie verfügen noch über eine primär ausreichende Spontanatmung. Die Indikation zur Intubation wird erst nach Sichtung der Einsatzsituation bzw. nach der Beurteilung des Verletzungsmusters des Patienten, gestellt. Spezielle Gegebenheiten an der Einsatzstelle führen gerade im Subkollektiv Trauma, oftmals zu weiteren Verzögerungen bis zur Maskenbeatmung.

Bei der Maskenbeatmung ist ferner anzumerken, daß nicht jeder Intubation eine Maskenbeatmung voran gegangen ist. So wurde im Gesamtkollektiv in nur 36 von 59 dokumentierten möglichen Fälle eine Maskenbeatmung durchgeführt. Die anderen Intubationen wurden danach im Sinne einer „Rapid-Sequenz-Induction“ (entspricht etwa der deutschen Ileuseinleitung) eingeleitet.

In der Studie von Tayal et al. von 1999 [78] konnte sogar ein Prozentsatz von 70% „Rapid-Sequenz-Inductions“ dokumentiert werde. Da diese Studie die Erfolgsrate von „Rapid-

Sequenz-Inductions“ untersucht wurde ist das Ergebnis nicht auf den alltäglichen Rettungsdienst anzuwenden. Eine Vergleichbarkeit zur hier vorliegenden Studie, ist nicht gegeben.

Im Subkollektiv Herz-Kreislauf-Stillstand wurde in 11 von 18 möglichen Einsätzen darauf zurückgegriffen, davon aber nur in einem Fall bei einem trauma bedingten Herz-Kreislauf-Stillstand und in zehn Fällen bei einem nicht-trauma bedingten Herz-Kreislauf-Stillstand. Diese Zahlen sind durch einen relativ hohen Anteil von Intubationen bereits vor Eintreffen des Studienrettungsmittels beeinflusst, spiegeln aber die Vorgehensweise der Notärzte auf den Studienrettungsmitteln wieder.

Obwohl bei einigen Einsätzen eine Maskenbeatmung bereits durch die Besatzung des ersten Rettungsmittels am Einsatzort begonnen wurde, zeigte sich doch eine Häufung von „Rapid-Sequenz-Inductions“ ohne Maskenbeatmung vor allem im Subkollektiv Trauma.

Die Zeit vom Notrufeingang bis zum letztendlichem Einführen des Endotrachealtubus verfügt nur über eine eingeschränkte Aussagekraft und ist nur verwertbar wenn beim Eintreffen am Einsatzort ein reanimationspflichtiger oder ein Patient im Atemstillstand vorgefunden worden ist. Bei allen anderen Fällen spielt aufgrund des inhomogenen Einsatzkollektivs der Zeitpunkt der Indikationsstellung zur Intubation eine weitaus größere Rolle in der Beurteilung des zeitlichen Ablaufes der Intubation. Dieser Zeitpunkt wurde in dieser Studie nicht dokumentiert.

7.4. Kapnometriegeräte

Die hier verwendeten Kapnometriegeräte wurden unter verschiedenen Aspekten vom Anwender geprüft und beurteilt. Die wichtigste Fragestellung befasste sich allerdings mit der Diagnosesicherheit der Kapnometrie in der Präklinik im Allgemeinen, sowie der, in dieser Studie getesteten Geräte im Besonderen.

Da sie zum präklinischen Einsatz konzipiert worden sind, wurde auch ein spezielles Augenmerk auf ihre Tauglichkeit für die besonderen Anforderungen dieses Aufgabenbereiches gelegt. Die, in dieser Studie als wichtig erachteten Kriterien für die Anwendung eines Gerätes in der Präklinik, sind im folgenden kurz zusammengefasst:

Mobilität:	Netzunabhängigkeit für mindestens zwei Stunden, Batteriebetrieb mit handelsüblichen Batterien oder Lademöglichkeit über das 12-Volt Bord-Netz, leichter Akku- bzw. Batteriewechsel, geringes Gewicht, geringe Größe
Handhabbarkeit:	schnelle Einsatzbereitschaft, schnelle Ansprechbarkeit der Anzeige, Schutz vor Verschmutzung der Messeinrichtung, unkomplizierte Bedienung, gut lesbare Messwerte, Robustheit, Alarme für wichtige Parameter, akustische Signale
Hygiene:	Einmalartikel bzw. leicht zu reinigende Oberflächen
Messwerte:	quantitative Messwerte (ggf. Semiquantitativ), Genauigkeit, digitale Anzeige von etpCO_2 und Atemfrequenz, kontinuierliche Darstellung des etpCO_2 , Trendspeicher, Schnittstelle zur Datenübertragung

In vorangegangenen Studien von Brambrink 1997 [19] und Helm 1995 [38] wurden bereits vergleichbare Anfordergerungen an Geräte für ihre Verwendung in der Präklinik aufgestellt.

Einen wichtigen Parameter stellen die Netzunabhängigkeit, bzw. Akkus mit langer Funktionsfähigkeit dieser Geräte dar. In vielen Einsatzsituationen, vor allem im Trauma-Bereich, ist ein Zugang zum Stromnetz nicht gegeben. Rettungsversuche und Abtransport unterliegen zusätzlich keinen zeitlichen Begrenzungen. Gerade diese Situationen, wie z.B. die Rettung eines eingeklemmten Verletzten aus seinem Auto, erfordern eine engmaschige, kontinuierliche Überwachung der Vitalparameter, um bereits frühzeitig Veränderungen zu erfassen und darauf zu reagieren. Bei langer Funktionsfähigkeit der Akkus, erscheint ein leicht durchführbarer Akkuwechsel im Ausnahmefällen als tolerabel, er sollte aber nicht regelhaft nötig sein.

Genauigkeit, leichte Ablesbarkeit der Anzeige, leichte Bedienung und vor allem optische, sowie akustische Alarmfunktionen wichtiger Parameter erscheinen, vor dem Hintergrund der präklinischen Einsatzsituation als unabdingbar. Vergleichbar den Anforderungen von Helm et al. [38] sollte jedes Gerät, das Verwendung in der Präklinik findet, damit ausgestattet sein. In den häufig hektischen Einsatzsituationen sollte der Notarzt die Möglichkeit haben, alle angezeigten Parameter mit einem Blick zu erfassen und auf deren Veränderungen hingewiesen zu werden.

7.4.1. CO₂ntrol one™

Das CO₂ntrol one™ entspricht weitgehend den geforderten Parametern für einen Einsatz in der Präklinik.

Die dokumentierten Vor- und Nachteile des CO₂ntrol one™ sind mit Ergebnissen einer Tierversuchsstudie von Petroianu et al. [60] von 1995 vergleichbar. Dort wurde das CO₂ntrol one™ bis auf die fehlende Alarmfunktion, seine semiquantitative Messweise und die schlechte Ablesbarkeit der Anzeige, als sehr gut und zuverlässig eingestuft. Ein zusätzliches Problem stellt die empfohlene Lagerung bei Zimmertemperaturen bis zu 20° C dar. Diese Vorgaben sind, vor allem im Winter und Hochsommer im Rettungshubschrauber und den Rettungsdienstfahrzeugen, fast immer unter- bzw. überschritten. Temperaturen bis zu 40° C innerhalb der Rettungsmittel sind im Sommer keine Seltenheit.

Über die Technik der etpCO₂-Anzeige durch den Farbumschlag einer Indikatorsubstanz, sowie deren Vergleich mit anderen Methoden der Kapnometrie, wurden bereits vielfach Studien durchgeführt. So konnte z.B. Helm et al. [38] in ihrer Studie über semiquantitative Kapnometrie zeigen, daß diese Technik, obwohl sie nur „semiquantitative“ Messwerte liefert, ein sicheres Verfahren zur Verifizierung der Tubuslage darstellt. Dieses Ergebnis deckt sich mit den Ergebnissen der hier vorliegenden Studie. In Studien über ein älteres Gerät das auch den CO₂-Gehalt der Ausatemluft über eine Indikatorsubstanz bestimmt [6, 33, 42], konnte gezeigt werden, das die CO₂-Messung durch Farbumschlag einer Indikatorsubstanz gegenüber der Infrarotspektroskopie keine Nachteile bringt, auch bei kleinen V_T ab einem etpCO₂ von 2 Vol% sensitiv ist und gegenüber den klinischen Methoden zur Verifizierung der Tubuslage aufgrund der schnellen Anschlageszeit deutlich überlegen ist.

Gedeon et al. [32] dokumentierten in einer Studie über das CO₂ntrol one™ eine schnelle Reaktionszeit des Gerätes, Funktionstüchtigkeit auch bei hoher Luftfeuchtigkeit und realistische Messwerte bis zu 60 Atemzüge pro Minute.

In einer Studie von Puntervoll [62], mit der gleichen Fragestellung über die Verifizierung der Tubuslage nach präklinischen Intubation, zeigte sich das CO₂ntrol one™ als sehr sensitiv, auch im Bereich niedriger CO₂-Werte. Diese Tatsache kann zu einer falsch positiven Beurteilung der Tubuslage nach versehentlich oesophagealer Intubation, führen. Das Patientenkollektiv dieser Studie umfasste 14 Patienten. Die von Gedeon et al. [32] und Puntervoll [62] gefundenen Ergebnisse sind vergleichbar den in dieser Studie dokumentierten Ergebnissen.

Das CO₂ntrol one™ stellt somit ein kleines handliches Gerät dar, daß stromunabhängig schnell einsatzbereit und hilfreich bei der Verifizierung der Tubuslage ist.

7.4.2. Kapnometriemodul des LifePak 12® Monitors

Der LifePak 12® Monitor und Defibrillator ist ein kompakter Überwachungsmonitor für Atmung und Kreislauffunktionen mit integriertem Defibrillator.

Die für die Präklinik geforderten Parameter werden weitgehend erfüllt.

Die Anzeige des Gerätes ist aufgrund der Verstellbarkeit der Helligkeit des Monitors auch unter den extremen Lichtverhältnissen vieler präklinischer Einsätze gut zu beurteilen. Allerdings stellt sich das Gerät nicht automatisch auf die Umgebungsbedingungen ein, sondern muss per Hand umgestellt werden. In der Hektik des Einsatzgeschehens wird diese Option häufig nicht ausgeführt. Schlechte Sicht- und Ableseverhältnisse sind die Folge.

Die Daten sind nach kurzem Einsehen auf ihre Monitoranordnung gut ablesbar. Wichtige Parameter können als Kurven dargestellt werden. Dies ermöglicht das leichtere Erkennen von Trends, die den Patienten schaden können. Im Besonderen ist die Möglichkeit der Kapnographie zu nennen. Diese stellte sich in einigen Fällen der Beurteilung der Tubuslage, als der Kapnometrie überlegen, dar. Die Vorteile der Kapnographie gegenüber der Kapnometrie wurden bereits in vielen Studien dokumentiert [34, 62]. Die optische Kontrolle der Beatmung durch den Kurvenverlauf, führt bei Notärzten, denen die Kapnometrie bekannt ist, zu einer zusätzlichen Sicherheit.

Das LifePak 12® zeigte seine deutlichen Vorteile, besonders im bodengebundenen Rettungsdienst. In einer Studie von Brambrink [19] wurden bereits 1998 die Vorteile eines kompakten Atemmonitors (Pulsoxymetrie und Kapnometrie) dokumentiert. Im Einsatzgeschehen muß dabei das Augenmerk nur auf einen Monitor gerichtet werden. Die Vitalparameter sind dabei mit einem Blick zu erfassen. Alle Kabel am Patienten, gehen in eine Richtung weg und beim Transport ist nur ein Gerät zu tragen. Die Kombination mit einem Defibrillator führt, trotz des höheren Gewichtes, zu einer Erleichterung im bodengebundenen Rettungsdienst. Anders dagegen im Bereich der Luftrettung.

Da meist vor dem Eintreffen des RTH ein bodengebundenes Rettungsmittel den Einsatzort erreicht, ist der Defibrillator nicht immer nötig. Alle RTW/NAW sind mit Defibrillatoren ausgestattet. Die Aufteilung der Funktionen in einen extra Defibrillator und einen Monitor für die Vitalparameter erscheint für die Luftrettung als handlicher und sinnvoller.

Einen zusätzlichen Nachteil, vor allem im Bereich der Luftrettung, stellt die eingeschränkte Akkukapazität zu Beginn der Studie dar. Bei den meist länger dauernden Einsätzen der RTH, kann auf eine ausreichende Akkukapazität nicht verzichtet werden.

7.4.3. Pocket Cap™

Das Pocket Cap™ erfüllt nahezu alle geforderten präklinischen Kriterien.

Die geringe Größe, das geringe Gewicht sowie der Batteriebetrieb führten vor allem in der Luftrettung zu breiter Zustimmung für dieses Gerät. Da aber keine Anzeige für den Ladezustand der Batterie vorhanden ist und deren Ende nicht akustisch signalisiert wird, ist ein plötzlicher Geräteausfall während des Einsatzes durchaus möglich und nicht sicher vermeidbar. Ein einfacher Batteriewechsel, handelsüblicher Batterien, stellt allerdings die Einsatzbereitschaft schnell wieder her.

Da die Küvette nur in einer Richtung in den Sensorkopf gesteckt werden kann, kommt es in vielen Fällen zu vermeidbaren Verzögerungen beim Herstellen der Einsatzbereitschaft. Mit zunehmender Übung der Anwender, lassen sich Fehlversuche zwar deutlich reduzieren, aber nicht ganz vermeiden. Eine deutliche Markierung der Einführrichtung wäre, um jegliche Verzögerungen zu vermeiden, wünschenswert.

Als sehr positiv sind die Alarmfunktionen des Pocket Cap™ zu bewerten. Sie lassen sich nur für einen bestimmten Zeitraum komplett ausschalten und weisen danach den Anwender wiederholt und nicht mehr quittierbar auf die Verletzung der Alarmgrenzen hin.

Das Pocket Cap™ ist ein Kapnometer das im präklinischen Bereich aufgrund seiner Vorteil wie z.B. Alarmfunktion, beleuchtete Anzeige, schnelle Einsatzbereitschaft und handliches Format auf breite Zustimmung getroffen ist.

7.4.4. Einsatzbereitschaft, Dauer bis zur Anzeige der Geräte

Die Zeitspanne bis zur Herstellung der Einsatzbereitschaft der Kapnometriergeräte ist zwischen den einzelnen Geräten nicht vergleichbar. Auf dem RTH „Christoph 1“ betrug die Zeitspanne zum Herrichten des CO₂ntrol one™ im Median 5 Sekunden. Der Maximalwert von 120 Sekunden war durch den Verlust der Indikatorplatte nach dem Aufreißen der Schutzhülle bedingt. Vor der Öffnung eines weiteren Gerätes wurde versucht die

Indikatorplatte zu finden. Diese Komplikation kann, durch Erfahrung und vorsichtigeren Hantieren mit diesem Gerät, nahezu ausgeschlossen werden.

Auffällig ist weiterhin, die deutliche Differenz von 21 Sekunden beim Herstellen der Einsatzbereitschaft des Pocket Cap™ zwischen dem RTH „Christoph 1“ und dem NAW „Florian 1/70/1“. Da die Einsatzbereitschaft der Geräte in den studienassistentenbegleiteten Einsätzen durch die Studienassistenten hergestellt wurde, ist dies sicherlich als Übungseffekt zu werten. Die Studienassistenten wiesen zum Zeitpunkt des Einsatzes dieses Gerätes auf dem NAW „Florian 1/70/1“ bereits mehr Übung in der Handhabung des Gerätes auf.

Die Reaktionszeit der Kapnometrieeräte wurde in Sekunden und Beatmungshüben dokumentiert. Die Reaktionszeit bis zur Anzeige des ersten CO₂ in der Ausatemluft erwies sich als abhängig, von der Dauer zwischen dem Einsetzen des Kapnometrieerätes in den Atemstrom und dem ersten Beatmungshub. Alle Geräte reagierten, vergleichbar einer Studie von Guggenberger et al. [35], im Median nach einem Beatmungshub. Eine zusätzliche systembedingte Verzögerung konnte dokumentiert werden. Diese Verzögerung war am längsten bei der Verwendung eines Nebenstromkapnometers (z.B. LifePak12®) und am kürzesten bei der Verwendung eines Hauptstromkapnometers (z.B. CO₂ntrol one™, Pocket Cap™).

Die dokumentierten Extremwerte sind, bei genauerer Betrachtung der Einzelfälle, immer auf eine Fehlfunktion des Kapnometrieerätes oder auf ein nicht vorhandenes endexpiratorischen CO₂ aufgrund pathophysiologischer Veränderungen beim Patienten zurückzuführen. Die Befragung der jeweils am Einsatz beteiligten Besatzung ergab, daß in diesen Fällen, wie z.B. dem Maximalwert von 29,1 Minuten beim Pocket Cap™, die angegebene Dauer bis zur Kapnometrieanzeige keine reelle Zeitangabe sondern ein Ausdruck für keine Anzeige ist. Es wurde trotzdem bereits nach einigen wenigen Beatmungshüben die endotracheale Lage durch klinische Methoden bzw. durch die direkte Laryngoskopie bestätigt.

7.5. Verifizierung der Tubuslage

7.5.1. Erster Intubationsversuch

Nach der Intubation erfolgte die Verifizierung der Tubuslage anhand herkömmlicher klinischer Methoden wie z.B. Auskultation, Begutachtung der Thoraxexkursion und das

Beschlagen des Endotrachealtubus. Im Gesamtkollektiv blieb danach in 11,1% der Fälle die Tubuslage für den Intubierenden unsicher. Das bedeutet, daß sich bei mehr als jeder 10. Intubation für den Intubierende nach der Intubation die Tubuslage nicht sicher war.

Die Diagnosesicherheit klinischer und apparativer Methoden zur Verifizierung der Tubuslage wurde bereits mehrfach in Studien untersucht[3, 13, 56, 58, 60, 72]. Diese Studien bezogen sich in nahezu allen Fällen auf den innerklinischen Bereich, sowie auf den Bereich der Notaufnahme.

So konnten Mizutani et al. 1991 [56] in einer Studie über die Auskultation zur Verifizierung der Tubuslage nachweisen, das kein signifikanter Unterschied zwischen den Lautstärken der Beatmung der Lunge und der Beatmung des Magens besteht. Birmingham et al. [13] zeigten 1986 in einer Übersicht über Methoden zur Verifizierung der Tubuslage das in einer Vielzahl von Studien bei der Auskultation, auch für den Erfahrenen eine oesophageale von einer endotrachealen Tubuslage nicht sicher zu unterscheiden ist.

Durch Verwendung der Information des jeweiligen Kapnometriegerätes als zusätzliches Kriterium für die Entscheidung über die endotracheale Tubuslage, bestand nur noch in 5,8% der Fälle fachliche Unklarheit über die Tubuslage. Somit konnte die Kapnometrie in diesen Fällen sowie in allen Fällen mit sicherer Tubuslage vor ihrem Einsatz wichtige Zusatzinformationen liefern.

Im Subkollektiv Trauma konnte nach Verifizierung der Tubuslage unter Verwendung der klinischen Methoden in 8,9% Fällen, die Tubuslage nicht sicher bestimmt werden. Nach dem Einsatz des Kapnometriegerätes bestand weiterhin in 6,6% der Fälle Unsicherheit.

In einem Fall konnte eine oesophageale Fehllage des Endotrachealtubus durch die Kapnometrie und Kapnographie entdeckt werden.

Hier erfolgte die Intubation durch einen Rettungsassistenten vor Eintreffen des Studienrettungsmittels. Der Notarzt überprüfte bei der Übernahme des Patienten die Tubuslage anhand klinischer Parameter und kam, nach der Auskultation von scheinbaren Atemgeräuschen über allen vier Lungenfeldern bzw. der Begutachtung der Thoraxexkursion, zur Entscheidung, die Tubuslage sei sicher endotracheal. Bei der Verwendung des Kapnometriegerätes konnte allerdings kein endexpiratorisches CO₂ gemessen werden. Das Fehlen von CO₂ in der Ausatemluft veranlasste den Notarzt, zu Zweifel, an der endotrachealen Tubuslage und zur sofortigen Laryngoskopie. Die oesophageale Fehllage des Beatmungstubus wurde dabei entdeckt und korrigiert. Nach dieser erneuter Intubation konnte, zusätzlich zur positiven Auskultation und Thoraxexkursion, ein CO₂-Wert abgeleitet werden.

Die Tubuslage wurde als sicher endotracheal eingestuft und in der Klinik durch den Röntgen-Thorax-Befund bestätigt. Die scheinbaren Atemgeräusche während der ersten Auskultation können durch eine mangelnde Narkosetiefe die weiterhin eine Spontanatmung des Patienten zuließ oder durch das fortgeleitete Geräusch der Magenbeatmung bedingt gewesen sein.

Im Subkollektiv Nicht-Trauma konnte in 12,8% der Fälle die Tubuslage, anhand herkömmlichen klinischer Parameter, nicht sicher bestimmt werden. Nach Einsatz des Kapnometrieerätes konnte ebenfalls eine oesophageale Fehllage entdeckt werden. In nur 8,8% der Fälle bestand beim Intubierenden nach Verwendung eines Kapnometrieerätes Unklarheit über die Tubuslage.

Im Subkollektiv Herz-Kreislauf-Stillstand konnte in 14,3% der Fälle die Tubuslage anhand der herkömmlichen Methoden nicht sicher bestimmt werden. Nach der Verwendung eines Kapnometrieerätes in 60% der Fälle mit unsicherer Tubuslage und in 100% der Fälle mit sicher endotrachealer Tubuslage konnte eine sicher oesophageale Tubuslage (siehe Subkollektiv Nicht-Trauma) und in 20% der Fälle eine unsichere Tubuslage aufgedeckt werden. In der Unterscheidung zwischen trauma bedingtem Herz-Kreislauf-Stillstand und nicht-trauma bedingtem Herz-Kreislauf-Stillstand, wurde nach der Verwendung der klinischen Methoden zur Verifizierung der Tubuslage bei den nicht-trauma bedingten in 11,4%, bei den trauma bedingten Herz-Kreislauf-Stillständen in 2,9% der Fälle die Tubuslage als unsicher eingestuft. Nach Verwendung eines Kapnometrieerätes blieb bei 12,9% der Fälle nicht-trauma bedingter Reanimationen und bei 7,1% der Fälle trauma bedingter Reanimationen die Unklarheit über die Tubuslage bestehen. Dies bedeutet einen deutlichen Zuwachs von Verunsicherung in bis zu 4,2% der Fälle im Subkollektiv Herz-Kreislauf-Stillstand durch Einsatz eines Kapnometrieerätes.

Dieses Ergebnis läßt unter anderem zwei Schlußfolgerungen zu:

1. Während eines Herz-Kreislauf-Stillstandes kommt es zu einer Vielzahl von pathophysiologischen Veränderungen im Organismus. So kann z.B. der CO₂-Transport, die CO₂-Produktion oder die CO₂-Abatmung unter diesen Bedingungen gestört sein. Durch einen Perfusionsstillstand im großen und im kleinen Kreislauf kann das im Stoffwechsel anfallende CO₂ nicht zur Lunge transportiert werden. Durch den Atemstillstand kann das in der Lunge vorhandene CO₂ nicht abgeatmet werden. Nach dem Beginn der Reanimationsmaßnahmen kommt es durch die künstliche Beatmung wieder zu einer Ventilation und durch die Herzdruckmassage zu einem Minimalkreislauf. Das in der Lunge vorhandene CO₂ wird mit den ersten Atemzügen ausgewaschen (meist durch Maskenbeatmung). Das im weiterem durch das Kapnometer angezeigte CO₂ spiegelt den

Zustand der Lungenperfusion wieder. In vielen Studien wurde bereits versucht durch die Höhe des CO₂ nach gewissen Zeitabständen während der Reanimation Rückschlüsse auf das Outcome der Patienten zu ziehen [8, 11, 22, 29, 39, 41, 51, 52, 61, 70, 81]. In dieser kontroversen Diskussion werteten einige Autoren [22, 51, 70, 81, 83, 85] fehlendes oder niedriges endexpiratorisches CO₂ als potentieller Prediktor, für eine erfolgreiche Reanimation. In anderen Untersuchungen konnte keine signifikante Korrelation zwischen arteriellen und endexpiratorischen CO₂-Werten festgestellt [61], bzw. kein Prognosefaktor abgeleitet werden [8].

2. Ein positiver endexpiratorischer CO₂-Wert führte in allen Fällen zur Bestärkung der Diagnose „endotracheale Tubuslage“. Ein negativer endexpiratorischer CO₂-Wert führte zu Verunsicherung über die Tubuslage (siehe oben), trotz ihrer endotrachealen Verifizierung anhand klinischer Parameter.

7.5.2. Zweiter Intubationsversuch

Im zweiten Intubationsversuch blieb im Gesamtkollektiv, nach Verwendung der klinischen Methoden zur Verifizierung der Tubuslage, in 10,7% der Fälle die Tubuslage noch immer unsicher. Nach Verwendung des Kapnometrieerätes sogar in 14,3% der Fälle. Trotzdem erfolgte in allen 28 Fällen, die weitere Versorgung des Patienten. Bei der Verifizierung der Tubuslage im erstaufnehmenden Krankenhaus, konnte in allen Fällen die endotracheale Tubuslage bestätigt werden.

Im Subkollektiv Trauma blieb nach der herkömmlichen Verifizierung der Tubuslage in 1,1% der Fälle die Tubuslage unsicher. Nach Verwendung des Kapnometrieerätes sogar in 3,3% der Fälle. Mögliche Gründe hierfür sind bereits in Punkt 7.4.2. erläutert.

Im Subkollektiv Nicht-Trauma blieb dagegen nur in 1,7% der Fälle die Tubuslage anfangs unsicher, nach Verwendung der Kapnometrie sogar nur in 1% der Fälle. Hier konnte die Kapnometrie in einem Fall bei der Klärung der Tubuslage helfen.

Im Subkollektiv Herz-Kreislauf-Stillstand führte die Verwendung der Kapnometrie-Ergebnisse zur Verifizierung der Tubuslage in drei Fällen zu vermehrter Verunsicherung. Gründe hierfür können, wie bereits in Punkt 7.5.1 erwähnt, vor allem pathophysiologische Veränderungen des Körpers im Herz-Kreislauf-Stillstand sein. Dieses Ergebnis verdeutlicht nochmals, die Einschränkungskriterien für die Kapnometrie/Kapnographie. Im Falle des Herz-Kreislauf-Stillstandes besteht die Möglichkeit, dass trotz endotrachealer Intubation kein

endexpiratorisches CO₂ gemessen werden kann. In diesen Fällen ist das wichtigste Kriterium für die sichere endotracheale Tubuslage, die Einführung des Endotrachealtubus unter Sicht.

7.6 Bewertung der Kapnometriegeräte

Die in diese Studie involvierten Notärzte beurteilten die verwendeten Kapnometriegeräte im Median subjektiv mit der Gesamtnote gut. Diese Benotung erfolgte auch für die einzelnen Unterpunkte wie Einsatzbereitschaft, Handhabung, Ablesbarkeit der Anzeige, Kontinuität der Anzeige und den Gesamteindruck. Es fand sich auch kein Unterschied in der Benotung bei Betrachtung der Daten einzelner Rettungsmittel.

Die subjektiven Benotungen von „ausreichend“, „mangelhaft“ und „ungenügend“ fanden sich nur in Einzelfällen. Bei der Betrachtung dieser Fälle zeigte sich, dass die schlechte Benotung zumeist durch Umgebungsbedingungen wie z.B. eine starke Sonneneinstrahlung oder Dunkelheit sowie durch Anwenderprobleme bedingt (siehe 7.3.) war. So erhielt z.B. das CO₂ntrol one in einem speziellen Fall die Note 6,0 in allen Beurteilungskriterien. Bei genauerer Befragung der beteiligten Besatzung, stellte sich ein Anwenderproblem als ursächlich für die schlechte Benotung heraus. (Die Indikatorplatte des Gerätes diskonnektierte, fiel auseinander und die Indikatorsubstanz verfärbte den Patienten. Dieser Vorgang war einmalig und konnte auch im Trockenversuch nicht reproduziert werden.)

Fälle, bei denen die Patienten aufgrund eines Herz-Kreislauf-Stillstandes intubiert werden mussten, führten zusätzlich vermehrt zu schlechterer Benotung. Aufgrund pathophysiologischer Veränderung im Herz-Kreislauf-Stillstand führte die Kapnometrie in einigen dieser Fälle zu Unklarheit und Verwirrung über die Tubuslage und damit zu einer schlechteren Benotung des verwendeten Gerätes durch die Anwender.

Die Benotung der Kapnometriegeräte ist zum Teil aber auch skeptisch zu bewerten. Sie ist subjektiv und spiegelt die Vorlieben und Erfahrungen des jeweiligen Anwenders wieder. Geräte, die dem Anwender bereits bekannt und vertraut sind, werden meist besser bewertet als neue Geräte, die eine gewisse Einarbeitungszeit benötigen. Die Methode der Kapnometrie und ihre Bewertung, ist grundsätzlich nicht von der Bewertung der Kapnometriegeräte zu trennen. Ein Anwender, der keine Erfahrung in der Interpretation von Kapnometrieergebnissen hat, wird potentiell eher Probleme mit dem Gerät haben und es schlechter benoten, als einer, der täglich damit zu tun hat. Im letzteren Fall kann sich der

Anwender auf die Bewertung des eingesetzten Gerätes konzentrieren. Der Bewertung liegen ferner keine objektiven Faktoren zu Grunde. Sie ist fallbezogen und dadurch nicht reproduzierbar.

Objektive Beurteilungskriterien stellen dagegen die dokumentierten Vor- und Nachteile der Geräte da. Sie wurden von verschiedenen Anwendern unabhängig voneinander aufgestellt. Sie sind reproduzierbar und nicht fallbezogen.

Trotzdem ist der Median der Benotung hinweisend auf den Eindruck und die Praktikabilität der Kapnometrieeräte.

Letztendlich wurde die Kapnometrie/Kapnographie von den Anwendern in dieser Studie als ein sehr nützliches und sicheres Verfahren zur Verifizierung der Tubuslage nach präklinischer Intubation eingestuft. Die gewonnenen Informationen sollten aber nur vor dem Hintergrund klinischer Parameter und unter dem Wissen um die Fehlerquellen dieser Methoden beurteilt werden. Die Grenzen dieser Methode sowie ihre Einschränkungen wurden bereits mehrfach in Form von Fallberichten [7, 10, 24, 27] publiziert. Auch die Ergebnisse dieser Studie zeigen, vor allem im Subkollektiv Herz-Kreislauf-Stillstand, daß die Kapnometrie nicht uneingeschränkt zu interpretieren ist.

So ist ein positiver CO₂-Wert, über mehrere Atemzüge gemessen, in jeder Situation beweisend für die endotracheale Tubuslage.

Kann kein endexpiratorisches CO₂ in der Ausatemluft gemessen werden, muß man die Intubationsindikation in die Überlegung mit einbeziehen. In der Nicht-Reanimationssituation gilt kein endexpiratorisches CO₂ beweisend für die nicht-endotracheale Tubuslage. Diese Aussage gilt allerdings nur unter der Berücksichtigung verschiedener Erkrankungen.

Kann in der Reanimationssituation kein endexpiratorisches CO₂ gemessen werden, kann keine Aussage über die Tubuslage getroffen werden.

8. Zusammenfassung

Die Kapnometrie ist ein einfach anwendbares, nicht-invasives Monitoringverfahren zur Messung des endexpiratorischen CO₂-Gehaltes der Atemluft, das aus dem klinischen Alltag anaesthesiologischer Intubation nicht mehr wegzudenken ist. In der Präklinik dagegen, kommt dieses Verfahren bis dato, nur vereinzelt zur Anwendung. Daten zur Evaluierung der Kapnometrie zur Verifizierung der endotrachealen Tubuslage sind in der Literatur nur wenig zu finden.

Die hier vorliegende Studie untersucht die Sicherheit der präklinischen Verifizierung der Tubuslage durch nichtapparative Methoden, Verbesserungsmöglichkeit der Diagnosesicherheit bei der Verifizierung der Tubuslage durch die Kapnometrie und die Praktikabilität präklinischer Kapnometriesysteme.

Im Studienzeitraum von Juni 1999 bis August 2000 wurden 207 Patienten in die Studie eingeschlossen. 32% waren weiblich und 66% männlich. Das Alter der Patienten betrug im Median 58 Jahre. In 43% der Fälle erfolgte die Intubation aufgrund einer trauma bedingten, in 57% der Fälle aufgrund einer nicht-trauma bedingten Intubationsindikation und in 34% der Fälle aufgrund eines Herz-Kreislauf-Stillstandes.

In über 55% der Fälle traten präklinische Intubationserschwernisse auf. Die Stimmbandebene war nur in 61% der Fälle komplett einsehbar. In 10% der Fälle konnte sie gar nicht eingesehen werden. Die Einsehbarkeit der Stimmbandebene bei Reanimationen zeigt keinen signifikanten Unterschied zu den anderen Intubationsindikationen. Bezüglich der Unterscheidung trauma/nicht-trauma konnte kein signifikanter Unterschied bei der Einsehbarkeit der Stimmbandebene erhoben werden. Jede neunte Tubuslage wurde anhand klinischer Parameter als nicht sicher beurteilbar eingestuft.

Nach Einsatz der Kapnometrie bei primär als sicher endotracheal eingestufte Tubuslage (n=172) konnte in 162 Fällen die endotracheale Tubuslage durch ein positives endexpiratorisches CO₂ bestätigt werden.

In insgesamt 17 Fällen blieb nach dem Einsatz der Kapnometrie die Tubuslage weiterhin unsicher. Dabei handelte es sich bei 14 Fällen um eine Reanimation nach Herz-Kreislauf-Stillstand, eine Lungenembolie, ein Schädel-Hirn-Trauma und einen Krampfanfall.

Im Falle der CPR führte in 20% der Fälle ein Ausbleiben des etpCO₂ zur Verunsicherung über die Tubuslage. Im Gegensatz dazu bestand bei den weiteren Fällen nur in drei Fällen nach

Verwendung der Kapnometrie noch Unsicherheit über die Tubuslage (SHT, Lungenembolie, Krampfanfall).

Die getesteten Kapnometrieeräte erwiesen sich als zuverlässig im präklinischen Einsatz. Nach einer Eingewöhnungsphase wurden die Geräte von den Besatzungen der Studienrettungsmittel unter den Gesichtspunkten der Zuverlässigkeit und Einsatzbereitschaft subjektiv im Median mit der Note „gut“ bewertet.

Fazit: Die hier dokumentierten Intubationserschwernisse spiegeln die Besonderheiten der präklinischen Intubation wieder. Erschwerte Sichtverhältnisse durch Blut/Erbrochenes sowie durch Platzmangel und HWS-Immobilisation beeinträchtigen in vielen Fällen (n=98; 47,3% von n_{ges}) den Intubationserfolg. Die Platzierung des Endotrachealtubus unter Sicht, das wichtigste Kriterium für die sicher endotracheale Intubation, war bei jeder zehnten Intubation nicht möglich. Trotz dieser Probleme, erfolgte in nur 13% der Fälle ein zweiter Intubationsversuch. Dies legt die Vermutung nahe, daß in einem nicht unbedeutenden Anteil der Fällen, der Tubus unter schlechten Sichtverhältnissen „blind“ plaziert worden ist.

Die nicht apparativen Methoden zur Verifizierung der Tubuslage wie Auskultation, Thoraxexkursion und das Beschlagen des Endotrachealtubus müssen als unsicher bewertet werden. Jede neunte Tubuslage konnte damit nicht sicher verifiziert werden.

Die Kapnometrie ist als eine zuverlässige Ergänzung der klinischen nicht apparativen Methoden zur Verifizierung der Tubuslage zu werten. Ein positiver Nachweis von CO₂ in der Ausatemluft über mehrere Atemzüge gilt auch im präklinischen Bereich als beweisend für die endotracheale Tubuslage. Fehlendes CO₂ in der Ausatemluft führte aber in vielen Fällen zu Verwirrung über die Tubuslage.

Die Intubationsindikation war in der Mehrzahl dieser Fälle die Reanimation bei Herz-Kreislauf-Stillstand. Durch eine Veränderung in der Lungenperfusion, -diffusion und -ventilation kommt es in der Folge auch zu einer Veränderung des endexpiratorischen CO₂, das dann häufig zu falschen Interpretationen führt. Fehlendes endexpiratorisches CO₂ ist dadurch nicht beweisend für eine sicher nicht endotracheale Tubuslage.

Ausblick: Die Kapnometrie ist eine zuverlässige Methode zur Verifizierung der Tubuslage nach präklinischer Intubation. Die speziellen pathophysiologischen Gegebenheiten von CO₂-Produktion, -Transport und Ventilation sowie der klinische Aspekt müssen aber berücksichtigt werden.

Zusammenfassend kann konstatiert werden:

- keine Reanimationssituation:
 - Wird endexpiratorisch CO₂ über mehrere Atemzüge gemessen, gilt dies als beweisend für die endotracheale Tubuslage.
 - Wird kein endexpiratorisches CO₂ gemessen muß, unter Berücksichtigung pathophysiologischer Veränderungen (Status Asthmaticus, haemorrhagischer Schock) von einer oesophagealen Tubuslage ausgegangen werden.
- Reanimationssituation:
 - Wird endexpiratorisches CO₂ über mehrere Atemzüge gemessen, gilt dies als beweisend für die endotracheale Tubuslage.
 - Wird kein endexpiratorisches CO₂ gemessen ist keine sichere Aussage möglich.

Die Kapnometrie sollte in der präklinischen Versorgung des intubierten und beatmeten Patienten zum Standardmonitoring gehören. In den Richtlinien (Guidelines) der American Heart Association von 2000 [4] wurde die Kapnometrie als eine Maßnahme der Klasse II a eingestuft: „acceptable, safe und useful“.

9. Abbildungsverzeichnis

- Abb. 1.-1 William Maceween
Abb. 1.-2 Intubationstuben nach Maceween
Abb. 1.-3 Die endotracheale Tubuslage nach James Curry 1815
- Abb. 3.1.-1 Die CO₂-Bindungskurve
Abb. 3.1.-2 Der CO₂-Transport im Blut
Abb. 3.2.3.-1 Diffusion von CO₂ und O₂ in der Lunge
Abb. 3.3.-1 Modell nach West
Abb. 3.5.2.-1 Physiologische Kapnogramm
Abb. 3.5.3.-1 Absorptionsspektren wichtiger Gase
Abb. 3.5.3.-2 Aufbau des Colibri™-Indikators
Abb. 3.5.3.-3 Farbumschlag eines chemischen Indikators
Abb. 3.5.4.-1 mögliches Kapnogramm bei Gerätefehler
Abb. 3.5.4.-2 mögliches Kapnogramm beim sogenannten Colaeffekt
Abb. 3.5.4.-3 mögliches Kapnogramm in der Reanimationssituation
Abb. 3.5.4.-4 mögliches Kapnogramm im Schockzustand
- Abb. 4.9.-1 Das CO₂ntrol one™
Abb. 4.9.-2 Das LifePak 12®
Abb. 4.9.-3 Technologie des Pocket Cap™
Abb. 4.9.-4 Das Pocket Cap™
Abb. 4.9.-5 Das Pocket Cap™ im Einsatz
- Abb. 6.1.1.-1 Einsatzverteilung nach Rettungsmitteln im Gesamtkollektiv
Abb. 6.1.1.-2 Intubationsindikationen im Gesamtkollektiv
Abb. 6.1.1.-3 Einsatzverteilung nach Rettungsmitteln zweiter Intubationsversuch Gesamtkollektiv
Abb. 6.1.2.-1 Durchführung der Intubation im Gesamtkollektiv
Abb. 6.1.2.-2 Einsehbarkeit der Stimmbandebene im Gesamtkollektiv
Abb. 6.1.2.-3 Intubationserschwerisse im Gesamtkollektiv
Abb. 6.1.2.-4 Verwendete Intubationshilfsmittel im Gesamtkollektiv
Abb. 6.1.2.-5 Boxplot der erhobenen Zeitintervall

- Abb. 6.1.2.-11 Einsehbarkeit der Stimmbandebene zweiter Intubationsversuch Gesamtkollektiv
- Abb. 6.1.2.-12 Intubationserschwerisse zweiter Intubationsversuch Gesamtkollektiv
- Abb. 6.1.2.-13 Verwendete Intubationshilfsmittel zweiter Intubationsversuch Gesamtkollektiv
- Abb. 6.1.4.-1 Klinische Verifizierung der Tubuslage im Gesamtkollektiv
- Abb. 6.1.4.-2 Verifizierung der Tubuslage mit Kapnometrie im Gesamtkollektiv
- Abb. 6.1.4.-3 Klinische Verifizierung der Tubuslage zweiter Intubationsversuch Gesamtkollektiv
- Abb. 6.1.4.-4 Verifizierung der Tubuslage mit Kapnometrie zweiter Intubationsversuch Gesamtkollektiv
- Abb. 6.2.2.-1 Einsehbarkeit der Stimmbandebene im Subkollektiv Trauma
- Abb. 6.2.2.-2 Einsehbarkeit der Stimmbandebene zweiter Intubationsversuch Subkollektiv Trauma
- Abb. 6.2.4.-1 Klinische Verifizierung der Tubuslage im Subkollektiv Trauma
- Abb. 6.2.4.-2 Verifizierung der Tubuslage mit Kapnometrie im Subkollektiv Trauma
- Abb. 6.2.4.-3 Klinische Verifizierung der Tubuslage zweiter Intubationsversuch Subkollektiv Trauma
- Abb. 6.2.4.-4 Verifizierung der Tubuslage mit Kapnometrie zweiter Intubationsversuch Subkollektiv Trauma
- Abb. 6.3.2.-1 Einsehbarkeit der Stimmbandebene im Subkollektiv Nicht-Trauma
- Abb. 6.3.2.-2 Einsehbarkeit der Stimmbandeben zweiter Intubationsversuch Subkollektiv Nicht-Trauma
- Abb. 6.3.4.-1 Klinische Verifizierung der Tubuslage im Subkollektiv Nicht-Trauma
- Abb. 6.3.4.-2 Verifizierung der Tubuslage mit Kapnometrie im Subkollektiv Nicht-Trauma
- Abb. 6.3.4.-3 Klinische Verifizierung der Tubuslage zweiter Intubationsversuch Subkollektiv Nicht-Trauma
- Abb. 6.3.4.-4 Verifizierung der Tubuslage mit Kapnometrie zweiter Intubationsversuch Subkollektiv Nicht-Trauma
- Abb. 6.4.4.-1 Klinische Verifizierung der Tubuslage im Subkollektiv Herz-Kreislauf-Stillstand
- Abb. 6.4.4.-2 Verifizierung der Tubuslage mit Kapnometrie im Subkollektiv Herz-Kreislauf-Stillstand

- Abb. 6.4.4.-3 Klinische Verifizierung der Tubuslage zweiter Intubationsversuch
Subkollektiv Herz-Kreislauf-Stillstand
- Abb. 6.4.4.-4 Verifizierung der Tubuslage mit Kapnometrie zweiter Intubationsversuch
Subkollektiv Herz-Kreislauf-Stillstand

10. Tabellenverzeichnis

- Tabelle 3.3.1 Veränderungen im V/Q- Verhältnis
- Tabelle 3.5.4.-1 Einflüsse auf den etpCO_2
- Tabelle 3.5.3.-1 Vergleich Hauptstrom- und Nebenstromverfahren
- Tabelle 5.-1 Die Vierfeldertafel
- Tabelle 6.1.1.-1 Intubationsindikationen nach Rettungsmitteln im Gesamtkollektiv
- Tabelle 6.1.1.-2 Geschlechts- und Altersverteilung der Patienten im Gesamtkollektiv im Median
- Tabelle 6.1.1.-3 Median der Vitalparameter der Patienten im Gesamtkollektiv
- Tabelle 6.1.3.-1 Intubationsindikationen nach Kapnometer
- Tabelle 6.1.3.-2 Alter der Patienten im Median nach Kapnometer
- Tabelle 6.1.3.-3 Vitalparameter der Patienten im Median nach Kapnometer
- Tabelle 6.1.3.-4 Dauer bis Einsatzbereitschaft der Kapnometriergeräte in Sekunden
- Tabelle 6.1.3.-5 Dauer bis zur Kapnometrieanzeige in Sekunden
- Tabelle 6.1.3.-6 Dauer bis zur Kapnometrieanzeige in Beatmungshüben
- Tabelle 6.1.5.-1 Bewertung des $\text{CO}_2\text{ntrol one}^{\text{TM}}$ im Median nach Rettungsmitteln
- Tabelle 6.1.5.-2 Bewertung des LifePak 12® im Median nach Rettungsmitteln
- Tabelle 6.1.5.-3 Bewertung des Pocket CapTM im Median nach Rettungsmitteln
- Tabelle 6.1.5.-4 Übersicht über Bewertung der Kapnometriergeräte im Median
- Tabelle 6.3.2.-1 Median der Einsatzzeiten im Subkollektiv Nicht-Trauma
- Tabelle 6.3.3.-1 Dauer bis Einsatzbereitschaft der Kapnometriergeräte im Subkollektiv Nicht-Trauma in Sekunden
- Tabelle 6.3.3.-2 Dauer bis zur Kapnometrieanzeige in Sekunden im Subkollektiv Nicht-Trauma
- Tabelle 6.3.3.-3 Dauer bis zur Kapnometrieanzeige in Beatmungshüben im Subkollektiv Nicht-Trauma
- Tabelle 6.4.2.-1 Einsehbarkeit der Stimmbandebene im Subkollektiv Herz-Kreislauf-Stillstand
- Tabelle 6.4.2.-2 Intubationserschwerisse im Subkollektiv Herz-Kreislauf-Stillstand
- Tabelle 6.4.2.-3 Intubationshilfsmittel im Subkollektiv Herz-Kreislauf-Stillstand
- Tabelle 6.4.2.-4 Median der Einsatzzeiten im Subkollektiv Herz-Kreislauf-Stillstand

- Tabelle 6.4.2.-5 Einsehbarkeit der Stimmbandebene zweiter Intubationsversuch im Subkollektiv Herz-Kreislauf-Stillstand
- Tabelle 6.4.2.-6 Intubationserschwernisse zweiter Intubationsversuch im Subkollektiv Herz-Kreislauf-Stillstand
- Tabelle 6.4.2.-7 Intubationshilfsmittel zweiter Intubationsversuch im Subkollektiv Herz-Kreislauf-Stillstand
- Tabelle 6.4.3.-1 Dauer bis Einsatzbereitschaft der Kapnometrieeräte im Subkollektiv Herz-Kreislauf-Stillstand in Sekunden
- Tabelle 6.4.3.-2 Dauer bis zur Kapnometrieanzeige in Sekunden im Subkollektiv Herz-Kreislauf-Stillstand
- Tabelle 6.4.3.-3 Dauer bis zur Kapnometrieanzeige in Beatmungshüben im Subkollektiv Herz-Kreislauf-Stillstand
- Tabelle 6.5.-1 Vierfeldertafel Tubuslage sicher/unsicher
- Tabelle 6.5.-2 Vierfeldertafel Einsehbarkeit der Stimmbandebene
- Tabelle 6.5.-3 Vierfeldertafel Intubationserschwernisse
- Tabelle 6.5.-4 Vierfeldertafel Einsehbarkeit der Stimmbandebnen Rea/N-Rea

11. Glossar

1.DR.	erster Arzt am Einsatzort
1.RM	erstes Rettungsmittel am Einsatzort
ADAC	Allgemeiner Deutscher Automobilclub
AHA	American Heart Association
AN	Ankunftszeit am Patienten
AN.MB	Zeitintervall von der Ankunft beim Patienten bis zum Beginn der Maskenbeatmung
AN.LAR	Zeitintervall von der Ankunft beim Patienten bis zur Laryngoskopie
AN.INT	Zeitintervall von der Ankunft beim Patienten bis zur Intubation
AMV (V_E)	Atemminutenvolumen (l/min)
ATPD-Bedingungen	Ambient, temperature, pressure, dry
AZV (V_T)	Atemzugvolumen (l)
BTPS-Bedingungen	Body, temperature, pressure, saturated
BURP-Maneuver	Backwards-, Upwards-, Right- and Pressure-Maneuver zur Verbesserung der Einsehbarkeit der Stimmbandebene
COPD	chronic obstructive pulmonary disease
CO ₂	Kohlendioxid
CPR	Cardiopulmonare Reanimation
D	Dicke der Diffusionsschicht
etCO ₂	endexpiratorischer CO ₂ -Wert als Absolutwert der Konzentration
etpCO ₂	endexpiratorischer CO ₂ -Wert als Partialdruck des Gasgemisches nach dem Gasgesetz von Dalton
f	Atemfrequenz (pro Minute)
F	Fläche der Diffusionsschicht
F _I O ₂	Inspiratorischer Sauerstoffgehalt der Atemluft

F_{aO_2}	Expiratorischer Sauerstoffgehalt der Atemluft
H_2	Wasserstoff
HCO_3^-	Bikarbonat
H_2O	Wasser
HZV	Herzzeitvolumen (l/min)
INT	Intubation
K	Kroghscher Diffusionskoeffizient, Diffusionsleitfähigkeit
kPa	Kilo-Pascal
l	Liter
LAR	Laryngoskopie
M	Diffusionsstrom
MB	Beginn der Maskenbeatmung
mmHg	Millimeter Quecksilbersäule
n	Anzahl der Gasmoleküle
N_2	Stickstoff
NAW	Notarztwagen
NE	Notrufeingang
NEF	Notarzteinsatzfahrzeug
n_{erw}	Anzahl der Fälle im Kollektiv der erweiterten Dokumentationsprotokolle
n_{ges}	Anzahl der Fälle im Gesamtkollektiv
nm	Nanometer
n_{NT}	Anzahl der Fälle im Subkollektiv Nicht-Trauma
N-Rea	keine Reanimation
n_{Rea}	Anzahl der Fälle im Subkollektiv Herz-Kreislauf-Stillstand
n_{Rea-NT}	Anzahl der nicht-trauma bedingten Fälle im Subkollektiv Herz-Kreislauf-Stillstand
n_{Rea-T}	Anzahl der trauma bedingten Fälle im Subkollektiv Herz-Kreislauf-Stillstand
n_T	Anzahl der Fälle im Subkollektiv Trauma

O ₂	Sauerstoff
Pa	Pascal
P _a CO ₂	arterieller Kohlendioxidpartialdruck
P _a O ₂	arterieller Sauerstoffpartialdruck
P _e CO ₂	endexpiratorischer Kohlendioxidpartialdruck
PEEP	Positive Endexpiratoric Pressure
P _e O ₂	endexpiratorischer Sauerstoffpartialdruck
R	allgemeine Gaskonstante
Rea	Reanimation
RettAss	Rettungsassistent
RS	Rettungssanitäter
RK	Rotes Kreuz
RTH	Rettungstransporthubschrauber
RTW	Rettungstransportwagen
STPD-Bedingungen	Standard, temperature, pressure, dry
T	Temperatur
V	Gasvolumen
V _A	alveoläre Ventilation
V _E	Atemminutenvolumen
V _D	Totraumventilation
V _{Da}	Ventilation des anatomischen Totraums
V _{Dp}	Ventilation des physiologischen Totraums
Vol%	Volumenprozent
V/Q-Verhältnis	Ventilations-/Perfusions-Verhältnis
V _T	Atemzugvolumen

12. Literaturverzeichnis

1. Adnet F., Jouriles N., Le Toumelin P., Hennequin B., Taillandier C., Rayeh F., Couvreur J., Nougier B., Nadiras P., Ladka A., Fleury M., *Survey of out-of-Hospital Emergency Intubations in the French Prehospital Medical System: A Multicenter Study*. *Annals of Emergency Medicine*, 1998. **32**(4): p. 454-460.
2. Ambu, *Pocket Captm Co₂monitor Bedienungsanleitung*. 1998.
3. American College of Emergency Physicians, *Expired Carbon Dioxide Monitoring*. *Annals of Emergency Medicine*, 1995. **25**: p. 441-442.
4. American Heart Association, *Ecc Guidelines, Part 6: Advanced Cardiovascular Life Support, Section 3: Adjuncts for Oxygenation, Ventilation and Airway Control*. *Circulation*, 2000(102): p. I-95.
5. Andersen K.H., Hald R.A., *Assessing the Position of Tracheal Tube. The Reliability of Different Methods*. *Anesthesia*, 1989. **44**: p. 984-985.
6. Anton W.R., Gordon R.W., Jordan T.M., Posner K.L., Cheney F.W., *A Disposable End-Tidal CO₂ Detector to Verify Endotracheal Intubation*. *Annals of Emergency Medicine*, 1991. **20**(3): p. 271-275.
7. Asai T., Shingu K., *Case Report: A Normal Capnogram Despite Esophageal Intubation*. *Canadian Journal of Anaesthesiology*, 2001. **48**(10): p. 1025-1028.
8. Barton C., Callahan M., *Lack of Correlation between End-Tidal Carbon Dioxide Concentrations and PaCO₂ in Cardiac Arrest*. *Critical Care Medicine*, 1991. **19**(1): p. 108-110.
9. Benumof J., *Management of Difficult Adult Airway*. *Anesthesiology*, 1991. **75**: p. 1089-1110.
10. Benumof J., *Capnography and Errors with Gas Sampling*. *Anaesthesia*, 2001. **56**(1): p. 89-90.
11. Bhavani-Shankar K., Moseley H., Kumar A.Y., *Capnometry and Anaesthesia*. *Canadian Journal of Anaesthesia*, 1992. **39**(6): p. 617-632.
12. Bhavani-Shankar K., Philip J.H., *Defining Segments and Phases of a Time Capnogram*. *Anesthesia and Analgesia*, 2000. **91**: p. 973-977.
13. Birmingham P.K., Cheney F.W., Ward J.R., *Esophageal Intubation: A Review of Detection Techniques*. *Anesthesia and Analgesia*, 1986. **65**: p. 886-891.
14. Black J.J., Skinner D.V., *Confirmation of Correct Endotracheal Tube Placement*. *Journal of Accident and Emergency Medicine*, 2000. **17**(1): p. 74-75.

15. Böbel M., *Leitfaden Kapnometrie*. 1997, Edeweicht: Stumpf & Kossendey.
16. Böbel M., Dürner P., Lederer S., Domres B., *Kapnometrie in der präklinischen Notfallmedizin*. Rettungsdienst, 1996. **4**: p. 24-28.
17. Bowie J.R., Smith R.A., Downs J.B., *Absence of a Capnogram after Positive End-Expiratory Pressure*. Journal of Clinical Monitoring, 1993. **9**(2): p. 78-80.
18. Bozeman W.P., Hexter D., Liang H.K., Kelen G., *Esophageal Detector Device Versus Detection of End-Tidal Carbon Dioxide Level in Emergency Intubation*. Annals of Emergency Medicine, 1996. **27**(5): p. 595-599.
19. Brambrink A.M., *Kompakter Atemmonitor für die präklinische Überwachung von Notfallpatienten*. Notfallmedizin, 1998. **24**: p. 80-86.
20. Brambrink A.M., *Die CO₂-Messung Im Atemgas*. Anesthesist, 1997. **46**: p. 604-612.
21. Brand L., *Das Freihalten der Atemwege*, in *Illustrierte Geschichte Der Medizin*. 1997, Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH: Stuttgart. p. 105-114.
22. Callaham M., Barton C., *Prediction of Outcome of Cardiopulmonary Resuscitation from End-Tidal Carbon Dioxide Concentration*. Critical Care Medicine, 1990. **18**(4): p. 358-362.
23. Caplan R.A., Benumof J.L., Berry F.A., Blitt C.D., Bode R.H., Cheney F.W., Connis R.T., Guidry O.R., Ovassapian A., *Practice Guidelines for the Management of the Difficult Airway*. Anaesthesiology, 1993. **78**(3): p. 597-602.
24. Chan Y.K., Zuraidah S., Tan P.S.K., *Use of Capnography Delaying the Diagnosis of Tracheal Intubation*. Anaesthesia, 1998. **53**: p. 1207-1208.
25. Colibri Technology, *What Do You Do When You Cannot Use a Capnograph*. 1998. p. 1-10.
26. Crosby E.T., Cooper R.M., Douglas M.J., Doyle D.J., Hung O.R., Labrecque P., Muir H., Murphy M.F., Preston R.P., Rose D.K., Roy L., *The Unanticipated Difficult Airway with Recommendations for Management*. Canadian Journal of Anaesthesiology, 1998. **45**(7): p. 757-776.
27. Deluty S., Turndorf H., *The Failure of Capnography to Properly Assess Endotracheal Tube Location*. Anesthesiology, 1993. **78**: p. 783-784.
28. Dick W.F., *Evidence-Based Emergency Medicine*. Anaesthesist, 1998. **47**(12): p. 957-967.
29. Dubin A., Murias G., Estenssoro E., Canales H., Sottile P., Padie J., *End-Tidal CO₂ Pressure Determinants During Hemorrhagic Shock*. Intensive Care Medicine, 2000. **26**(11): p. 1619-1623.

30. Ensle G., *Einsatz der Kapnometrie im Luftrettungsdienst*. AIRMED, 1996: p. 484-487.
31. Frei F.J., Konrad R., *Die Arterielle-Endtidale CO₂ Partialdruckdifferenz während der Anaesthesie*. Anaesthesist, 1990. **39**: p. 101-106.
32. Gedeon A., Krill P., Mebius C., *A New Colorimetric Breath Indicator (Colibri)*. Anaesthesia, 1994. **49**: p. 798-803.
33. Goldberg J.S., Rawle P.R., Zehnder J.L., Sladen R.N., *Colorimetric End-Tidal Carbon Dioxide Monitoring for Tracheal Intubation*. Anesthesia and Analgesia, 1990. **70**: p. 191-194.
34. Grmec S., *Comparison of Three Different Methods to Confirm Tracheal Tube Placement in Emergency Intubation*. Intensive Care Medicine, 2002. **28**(6): p. 701-704.
35. Guggenberger H., Lenz G., Federle R., *Early Detection of Inadvertent Oesophageal Intubation: Pulsoximetry Vs. Capnography*. Acta Anaesthesiology Scandinavia, 1989. **33**: p. 112-115.
36. Guyatt G.H., *Evidence-Based Emergency Medicine*. Annals of Emergency Medicine, 1997. **30**(5): p. 675-676.
37. Harms V., *Biomathematik, Statistik Und Dokumentation*. Vol. 6. 1992, Kiel: Harms Verlag.
38. Helm M., Lampl L., Mutzbauer T., Bock K.-H., *Semiquantitative Kapnometrie - Hilfreich in der Verifizierung der Tubuslage bei Traumapatienten?* Unfallchirurg, 1996. **99**: p. 11-16.
39. Hess D., Agarwal N.N., *Variability of Blood Gases, Pulse Oximeter Saturation and End-Tidal Carbon Dioxide Pressure in Stable, Mechanically Ventilated Trauma Patients*. Journal of Clinical Monitoring, 1992. **8**: p. 111-115.
40. Howells H.T., Riethmuller R.J., *Signs of Endotracheal Intubation*. Anaesthesia, 1980. **35**: p. 984-986.
41. Jin X., Weil M.H., Tang W., Povoas H., Pernat A., Xie J., Bisera J., *End-Tidal Carbon Dioxide as a Noninvasive Indicator of Cardiac Index During Circulatory Shock*. Critical Care Medicine, 2000. **28**(7): p. 2415-2419.
42. Jones B.R., Dorsey M.J., *Sensitivity of a Disposable End-Tidal Carbon Dioxide Detector*. Journal of Clinical Monitoring, 1991. **7**: p. 268-270.
43. Karch S.B., Lewis T., Young S., Hales D., *Field Intubation of Trauma Patients: Complications, Indications and Outcomes*. American Journal of Emergency medicine, 1996. **14**(7): p. 617-619.

44. Katz S.H., Falk J.L., *Misplaced Endotracheal Tubes by Paramedics in an Urban Emergency Medical Services System*. *Annals of Emergency Medicine*, 2001. **37**(1): p. 32-37.
45. Kelly J.J., Eynon C.A., Kaplan J.L., De Garavilla L., Dalsey W.C., *Use of Tube Condensation as an Indicator of Endotracheal Tube Placement*. *Annals of Emergency Medicine*, 1998. **31**(5): p. 575-578.
46. King T.A., Adams A.P., *Failed Tracheal Intubation*. *British Journal of Anaesthesia*, 1990. **65**: p. 400-414.
47. Knapp S., Kofler J., Stoiser B., Thalhammer F., Burgmann H., Posch M., Hofbauer R., Stanzel M., Frass M., *The Assessment of Four Different Methods to Verify Tracheal Tube Placement in the Critical Care Setting*. *Anesthesia and Analgesia*, 1999. **88**: p. 766-770.
48. Koch B., Kuschinsky B., Pohl-Meuthen U., *Organisatorische und infrastrukturelle Rahmenbedingungen in der Notfallrettung*. *Notfallmedizin*, 1994. **20**: p. 268-273.
49. Lackner C.K., *Evidence-Based-Medicine*. *Notfall und Rettungsmedizin*, 1998. **1**(4): p. 228-236.
50. Lenz G., Klöss Th., Schorer R., *Grundlagen und Anwendung der Kapnometrie*. *Anaesthesie Intensivmedizin*, 1985. **26**: p. 133-141.
51. Levine R.L., Wayne M.A., Miller C.C., *End - Tidal Carbon Dioxide and Outcome of out-of-Hospital Cardiac Arrest*. *New England Journal of Medicine*, 1997. **337**(5): p. 301-301.
52. Lewis L.M., Stothert J., Standeven J., Chandel B., Kurtz M., Fortney J., *Correlation of End-Tidal CO₂ to Cerebral Perfusion During CPR*. *Annals of Emergency Medicine*, 1992. **21**(9): p. 1131-1133.
53. Li J., *Capnography Alone Is Imperfect for Endotracheal Tube Placement Confirmation During Emergency Intubation*. *Journal of Emergency Medicine*, 2001. **20**(3): p. 223-229.
54. Luft K., *Über eine neue Methode der registrierenden Gasanalyse mit Hilfe der Absorption ultraroter Strahlen ohne spektrale Zerlegung*. *Z Tech Phys*, 1943. **24**(97).
55. Medtronic Physio Control, *Draft 3012249-201 Gebrauchsanweisung Lifepak 12 Defibrillator und Monitor*.
56. Mizutani A.R., Ozaki G., Benumof J.L., Scheller M.S., *Auscultation Cannot Distinguish Esophageal from Tracheal Passage of Tube*. *Journal of Clinical Monitoring*, 1991. **7**(3): p. 232-236.

57. Ochs M., Davis D., Hoyt D., Bailey D., Marshall L., Rosen P., *Paramedic-Performed Rapid Sequence Intubation of Patients with Severe Head Injuries*. *Annals of Emergency Medicine*, 2002. **40**(2): p. 159-166.
58. Petroianu G., *Überprüfung der Tubuslage: sicher "unsichere" Methoden und neuere Entwicklungen*. *Anaesthesist*, 1991. **40**(6): p. 356-357.
59. Petroianu G., *Überprüfung der Tubuslage mit einem nichtquantitativen CO₂-Detektor*. *Anaesthesist*, 1993. **42**: p. 324-325.
60. Petroianu G., Maleck W., Bergler W.F., Ellinger K., Osswald P.M., Rüfer R., *Präklinische Kontrolle von Tubuslage und Beatmung*. *Anaesthesist*, 1995. **44**: p. 613-623.
61. Prause G., Hetz H., Lauda P., Pojer H., Smolle-Juettner F., Smolle J., *A Comparison of the End-Tidal-CO₂ Documented by Capnometry and the Arterial PCO₂ in Emergency Patients*. *Resuscitation*, 1997. **35**: p. 145-148.
62. Puntervoll S.A., Soreide E., Jacewicz W., Bjelland E., *Rapid Detection of Oesophageal Intubation: Take Care When Using Colorimetric Capnometry*. *Acta Anaesthesiologica Scandinavica*, 2002. **46**(4): p. 455-457.
63. Ramolla T., *Schnelle Überprüfung der Tracheal-Tubuslage in der Luftrettung*. *Airmed*, 1996: p. 483.
64. Randell T., *Prediction of Difficult Intubation*. *ACTA Anaesthesiologica Scandinavica*, 1996. **40**: p. 1016-1023.
65. Reamer D.B., Catalang I., *Accuracy of End-Tidal Carbon Dioxide Tension Analyzers*. *Journal of Clinical Monitoring*, 1991. **7**: p. 195-208.
66. Rebel A. Strauss K.M., *Technik und Interpretation der endexpiratorischen Kohlendioxidmessung*. www.ma.uni-heidelberg.de/inst/anae/studium/manual/fortb04
67. Ruppert M., Zintl B., Sadeghi M., Lackner C.K., *Complications in Prehospital Airway Management of Trauma Patients - Which Way to Quality Improvement*. *Intensive Care Medicine*, 1999. **25**(Suppl. 1): p. 112.
68. Sakles J.C., *Airway Management in the Emergency Department: A One-Year Study of 610 Tracheal Intubations*. *Annals of Emergency Medicine*, 1998. **31**(3): p. 325-332.
69. Samsoon G.L.T., Young J.R.B., *Difficult Tracheal Intubation: A Retrospective Study*. *Anaesthesia*, 1987. **42**: p. 487-490.
70. Sanders A.B., *Capnometry in Emergency Medicine*. *Annals of Emergency Medicine*, 1989. **18**(12): p. 1287-1290.

71. Sayre M.R., Sakles J.C., Mistler A.F., Evans J.L., Kramer A.T., Pancioli A.M., *Field Trial of Endotracheal Intubation by Basic Emts.* Annals of Emergency Medicine, 1998. **31**(2): p. 228-233.
72. Schara J., *Rasche und sichere Überprüfung der Tubuslage.* Anaesthesist, 1983. **32**: p. 501.
73. Schmidt R.F., Thews G., *Physiologie des Menschen.* 26 ed. 1995, Berlin: Springer Verlag. 565-640.
74. Silbernagel S., Despopoulos A., *Physiologie des Menschen.* 5 ed. 2001, Stuttgart: Georg Thieme Verlag. 78-109.
75. Sum-Ping S.T., Mehta M.P., Anderton J.M., *A Comparative Study of Methods of Detection of Esophageal Intubation.* Anesthesia and Analgesia, 1989. **69**: p. 627-632.
76. Sum-Ping S.T., Mehta M.P., Symreng T., *Reliability of Capnography in Identifying Esophageal Intubation with Carbonated Beverage or Antacid in the Stomach.* Anesthesia and Analgesia, 1991. **73**: p. 333-337.
77. Sum-Ping S.T., Mehta M.P., Symreng T., *Accuracy of the FEF CO₂ Detector in the Assessment of Endotracheal Tube Placement.* Anesthesia and Analgesia, 1992. **74**: p. 415-419.
78. Tayal V.S., Riggs R.W., Marx J.A., Tomaszewski C.A., Schneider R.E., *Rapid-Sequence Intubation at an Emergency Medicine Residency: Success Rate and Adverse Events During a Two-Year Period.* Academic Emergency Medicine, 1999. **6**(1): p. 31-37.
79. Tinker J.H., Dull D.L., Caplan R.A., *Role of Monitoring Devices in Prevention of Anesthetic Mishaps: A Closed Claims Analysis.* Anesthesiology, 1989. **71**: p. 541-546.
80. Unseld H., *Die nicht rechtzeitig erkannte ösophageale Fehlintonation.* Anaesthesist, 1988. **37**: p. 198-201.
81. Varon A.J., Morrino J., Civetta J., *Clinical Utility of a Colorimetric End-Tidal CO₂ Detector in Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Intubation.* Journal of Clinical Monitoring, 1991. **7**: p. 289-293.
82. Waeckerle J.F., Et Al., *Evidence-Based Emergency Medicine: Integrating Research into Practice.* Annals of Emergency Medicine, 1997. **30**(5): p. 626-628.
83. Wayne M., A. Levine R.L., Miller Ch. C., *Use of End-Tidal Carbon Dioxide to Predict Outcome in Prehospital Cardiac Arrest.* Annals of Emergency Medicine, 1995. **25**(6): p. 762-767.

84. Wenzel V., Idris A.H., Banner M.J., Kubilis P.S., Williams J.L., *Influence of Tidal Volume on the Distribution of Gas between the Lungs and Stomach in the Nonintubated Patient Receiving Positive-Pressure Ventilation*. *Critical Care Medicine*, 1998. **26**(2): p. 364-368.
85. White R.D., Asplin B. R., *Out-of-Hospital Quantitative Monitoring of End-Tidal Carbon Dioxide Pressure During CPR*. *Annals of Emergency Medicine*, 1994. **23**(1): p. 25-30.
86. Wyer P.C., Cardell W.H., *Evidence-Based Emergency Medicine: Updates, Feedback, and Links*. *Annals of Emergency Medicine*, 1999. **34**(5): p. 657-663.
87. Wyer P.C., Et Al., *Evidence-Based Emergency Medicine. The Clinician and the Medical Literature: When Can We Take a Shortcut*. *Annals of Emergency Medicine*, 2000. **36**(2): p. 149-155.
88. Zbinden S., Schüpfer G., *Detection of Oesophageal Intubation: The Cola-Complication*. *Anaesthesia*, 1989. **44**: p. 81.

13. Anhang

13.1. Basisdatensatzprotokoll

ANR Erhebungsprotokoll Kapnometrie-Studie		Nr.
1. Einsatztechnische Daten Datum: ____ / ____ / 1999 Einsatznummer lt. RLST: ____ ☐ Christoph 1 ☐ Christoph 17 ☐ Fl. 1/70/1 ☐ RK 1510 ☐ _____ Zielkrankenhaus / Abteilung: _____		2. Kapnometer <input type="checkbox"/> CO ₂ ntrol Pocket™ <input type="checkbox"/> PocketCap™ <input type="checkbox"/> Lifepak 12®
3. Patientendaten, initiale Vitalparameter und Erstdiagnose Name, Vorname: _____ Geburtsdatum: ____/____/19__ RR _{syst} <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> mmHg Puls <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> /min AF <input type="text"/> <input type="text"/> /min GCS gesamt <input type="text"/> <input type="text"/> Punkte SaO ₂ <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> % bei <input type="checkbox"/> Inhalation: ____ l/min. O ₂ <input type="checkbox"/> Beatmung: __, __ FiO ₂ <input type="checkbox"/> Raumluft Erstdiagnose: _____		
4. Intubationsindikation <input type="checkbox"/> Reanimation <input type="checkbox"/> Polytrauma <input type="checkbox"/> Schädel-Hirn-Trauma <input type="checkbox"/> Thoraxtrauma <input type="checkbox"/> Gesichtsschädelverletzungen <input type="checkbox"/> enorale Blutung <input type="checkbox"/> Anaphylaxie <input type="checkbox"/> dekompensierte Herzinsuffizienz <input type="checkbox"/> Status asthmaticus <input type="checkbox"/> Intoxikation: _____ <input type="checkbox"/> sonstige Ind.: _____		5. Intubationserschwerisse <input type="checkbox"/> geringe Mundöffnung <input type="checkbox"/> geringe Reklinationsmöglichkeit des Kopfes <input type="checkbox"/> sonstige anatomische Besonderheiten: _____ <input type="checkbox"/> manuelle HWS-Immobilisation <input type="checkbox"/> mechanische HWS-Immobilisation <input type="checkbox"/> fehlende oder unzureichende Narkosetiefe <input type="checkbox"/> Materialdefekt <input type="checkbox"/> Platzverhältnisse am Patienten: _____ <input type="checkbox"/> sonstige: _____
6. Intubierender: <input type="checkbox"/> NA <input type="checkbox"/> RA / RS <input type="checkbox"/> anderer: _____ <input type="checkbox"/> bereits intubiert Intubationshilfsmittel: <input type="checkbox"/> Führungsstab <input type="checkbox"/> Sellik-Handgr. <input type="checkbox"/> Magill-Zange <input type="checkbox"/> Absaugung <input type="checkbox"/> ____ Stimmbandebene frei einsehbar: <input type="checkbox"/> komplett <input type="checkbox"/> teilweise <input type="checkbox"/> gar nicht <input type="checkbox"/> unbekannt Intubation: <input type="checkbox"/> oral <input type="checkbox"/> nasal <input type="checkbox"/> Alternativtechnik (bitte angeben!)		
7. Verifizierung der Tubuslage endotracheal oesophageal unklar Diagnosekriterium: <input type="checkbox"/> Auskultation <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Thoraxexkursion <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Beschlagen des Tubus <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> ™ Entscheidung Tubuslage <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Kapnometer-Anzeige: <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> ™ Entscheidung Tubuslage <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		8. Procedere <input type="checkbox"/> erneute Laryngoskopie: TUBUSLAGE ™ <input type="checkbox"/> endotracheal <input type="checkbox"/> oesophageal <input type="checkbox"/> unklar <input type="checkbox"/> Tubus belassen <input type="checkbox"/> Tubus entfernt
Punkte 9. – 11. nur ausfüllen, wenn zweiter Intubationsversuch erfolgt ist Erläuterungen siehe Rückseite und Studienprotokoll		
9. Intubierender <input type="checkbox"/> NA <input type="checkbox"/> RA / RS <input type="checkbox"/> anderer: __ Intubationshilfsmittel <input type="checkbox"/> Führungsstab <input type="checkbox"/> Sellik-Handgr. <input type="checkbox"/> Magill-Zange <input type="checkbox"/> Absaugung <input type="checkbox"/> __ Stimmbandebene frei einsehbar <input type="checkbox"/> komplett <input type="checkbox"/> teilweise <input type="checkbox"/> gar nicht <input type="checkbox"/> unbekannt Intubation <input type="checkbox"/> oral <input type="checkbox"/> nasal <input type="checkbox"/> Alternativtechnik (bitte angeben!)		

13.2 Erweitertes Dokumentationsprotokoll

INTERNE EINSATZ ID-Nr: _____ O NAW Fl. 1.70.1 O RTH Chr. 1

1. Einsatztechnische Daten

• Datum: ___/___/1999 • Notarzt: _____ • Dokumentationsassistent: _____

• Fachrichtung NA : O Anaesthesie O Chirurgie O Innere O _____

• Notrufeingangszeit : ___/___/___ Uhr • Einsatznummer der RLSt: _____

• 1. Rettungsmittel: _____ O KTW O RTW O NAW O NEF O RTH O FR

• Einsatzzeit: ___/___/___ Uhr

• 2. Rettungsmittel: _____ O KTW O RTW O NAW O NEF O RTH

• Einsatzzeit: ___/___/___ Uhr

• 3. Rettungsmittel: _____ O KTW O RTW O NAW O NEF O RTH

• Einsatzzeit: ___/___/___ Uhr

• Bedside-Zeit: ___/___/___ Uhr

• Zielkrankenhaus und Abteilung: _____

2. Kapnometer

O CO₂-ntrol one™ O PocketCap™ O CO₂-Modul/LifePak 12®

• Dauer bis Einsatzbereitschaft: _____ sec

3. Patientendaten, initiale Vitalparameter und Erstdiagnose

• Name: _____ • Vorname: _____

• Geburtsdatum: ___/___/19___ • Geschlecht: O m O w

• RR: _____ mmHg Uhrzeit: ___/___/___ • Puls: _____/min Uhrzeit: ___/___/___

• Af: _____/min Uhrzeit: ___/___/___

• SaO₂ primär: _____ % bei O Raumluft O O₂: _____l/min O Beatmung Uhrzeit: ___/___/___

• GCS:|_|_| • Augen öffnen:|_| • beste verb. Reaktion:|_| • beste mot. Reaktion:|_|

• Erstdiagnose: _____

4. Intubationsindikation

<input type="checkbox"/> Reanimation	<input type="checkbox"/> Gesichtsschädelverletzungen	<input type="checkbox"/> Status Asthmaticus
<input type="checkbox"/> Polytrauma Intoxikation: _____	<input type="checkbox"/> enorale Blutung	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> SHT	<input type="checkbox"/> Anaphylaxie	<input type="checkbox"/> Sonstige: _____
<input type="checkbox"/> Thoraxtrauma	<input type="checkbox"/> dekomp. Herzinsuffizienz	

5. Intubationserschwerisse

geringe Mundöffnung

schlechte Reklination des Kopfes

anatomische Hindernisse: _____

HWS-Immobilisation: manuell mechanisch

fehlende oder unzureichende Narkosetiefe

schlechte Sicht durch Flüssigkeit/Schleim im Rachen

schlechte Lichtverhältnisse

schlechte Platzverhältnisse am Patienten: _____

Materialdefekt

Bemerkungen: _____

6. Intubierender: NA RA/RS bereits intubiert Sonstige: _____

• Narkoseeinleitung:

• Analgesie:	Medikament: _____	Dosis: _____ mg
	Medikament: _____	Dosis: _____ mg
• Sedierung:	Medikament: _____	Dosis: _____ mg
	Medikament: _____	Dosis: _____ mg
• Relaxierung:	Medikament: _____	Dosis: _____ mg
	Medikament: _____	Dosis: _____ mg

• **Stimmbandebene frei einsehbar:** komplett teilweise gar nicht

• **Intubation:** oral nasal Alternativtechnik: _____

schlechte Lichtverhältnisse

schlechte Platzverhältnisse am Patienten: _____

Materialdefekt

Bemerkungen: _____

• Narkoseeinleitung:

• Analgesie: Medikament: _____ Dosis: _____ mg

Medikament: _____ Dosis: _____ mg

• Sedierung: Medikament: _____ Dosis: _____ mg

Medikament: _____ Dosis: _____ mg

• Relaxierung: Medikament: _____ Dosis: _____ mg

Medikament: _____ Dosis: _____ mg

• Stimmbandebene frei einsehbar: komplett teilweise gar nicht

• Intubation: oral nasal Alternativtechnik: _____

• Intubationshilfsmittel: Führungsstab Sellikscher Handgriff
 Magill- Zange Absaugung

• Beginn Maskenbeatmung ____/____/____ Uhr • Einführen Spatel: ____/____/____ Uhr

• Einführen des Tubus: ____/____/____ Uhr • Auskultationsbeginn: ____/____/____ Uhr

• Einsetzen der Kapnometers: ____/____/____ Uhr • Anzeige Kapnometer: ____/____/____ Uhr

• SaCO₂: _____ Vol% _____ mmHg • nach _____ Beatmungshüben

• Tubus: Magill Sonstige _____ Größe: 6,5 7,0 7,5 8,0 8,5

10. Erneute Verifizierung der Tubuslage

• nach Auskultationsbefund : endotracheal oesophageal unsicher

• nach Begutachtung der Thoraxexkursion : endotracheal oesophageal unsicher

• Beschlagen des Tubus: ja nein

• sonstige Zeichen: _____

Tubus liegt: endotracheal oesophageal unsicher

• nach Anzeige Kapnometer: endotracheal oesophageal unsicher

Verifizierung der Tubuslage durch aufnehmende Klinik

• Tubuslage kontrolliert durch:

stationäres Kapnometriegerät

Röntgen-Thorax

erneute Laryngoskopie

Sonstige: _____

-> Tubuslage: endotracheal

re. Hauptbronchus

li. Hauptbronchus

oesophageal

Ggf. Ereignisse die zur möglichen Dislokation des Tubus führten

Ggf. Diskonnektion des Schlauchsystems oder Beatmungsunterbrechungen

• durch Kapnometer bemerkt: ja nein

• nach welcher Zeit: sofort nach _____ min

Diskonnektion an welcher Stelle : _____

12. Bewertung des Kapnometriegerätes durch Notarzt

• Einsatzbereitschaft: 1 2 3 4 5 6

• Handhabung: 1 2 3 4 5 6

• Ablesbarkeit: 1 2 3 4 5 6

• Kontinuität d. Anzeige: 1 2 3 4 5 6

• Gesamteindruck 1 2 3 4 5 6

Anmerkungen: _____

Danksagung

Mein ganz besonderer Dank gilt allen, die zum Gelingen meiner Promotionsarbeit beigetragen haben:

Dem Vorstandsvorsitzenden des Instituts für Notfallmedizin und Medizinmanagement (INM), Herrn Prof. Dr. med. W. Mutschler für die Überlassung dieses Themas.

Dem Geschäftsführer des Instituts für Notfallmedizin und Medizinmanagement (INM), Herrn PD Dr. med. Chr. K. Lackner für die äußerst kompetente Betreuung meiner Promotionsarbeit sowie für die Bereitstellung von optimalen Arbeitsbedingungen.

Herrn Dr. med. Michael Reith, Herrn Dr. med. Matthias Ruppert und Herrn Dr. med. Jörg Widmann für die stets optimale Betreuung meiner Promotionsarbeit. Für die tatkräftige Unterstützung bei der Konzeption dieser Studie, ihrer Durchführung sowie im Rahmen der Datenauswertung.

Der weiteren Studiengruppe mit Herrn Dr. med. K. Hofmann-Kiefer, Herrn Dr. med. E. Stolpe, Herrn Dr. med. Wolff, Herrn Dr. med. Zipperlen, Herrn Dr. med. Felder, Herrn Dr. med. Stöckel, Herrn Dr. med. Bayeff-Filloff, Herrn Dr. med. Pawlak und Herrn Dr. med. Riffelmacher.

Herzlichen Dank den Leitern Rettungsdienst der beteiligten Rettungsdienstbereiche München, Rosenheim und Kempten für die Ermöglichung der Studie.

Herzlichen Dank den Notärzten und Besatzungen der Rettungsmittel RTH „Christoph 1“, NAW „Florian 1/70/1“, NEF „RK 1510“ und RTH „Christoph 17“ für die stets kräftige Unterstützung bei der Durchführung der Datenerhebung, die auch in schwierigen Situationen immer gegeben war.

Den Firmen Gibeck, Medtronik/Physio-Control und Nihon Kohden sowie deren Vertreiber in Deutschland, die Firmen Ambu für Nihon Kohden und Medimex für die Firma Gibeck, für die problemlose Bereitstellung der Testgeräte und Verbrauchsmaterialien.

Meinem Bruder Christian, Herrn Andreas Gill und Herrn Marc Lazarovic für die optimale Unterstützung bei allen Computerfragen. Für das Retten von manchen Versionen.

Den Studienassistenten, dem ganzen INM-Team sowie allen Mitarbeitern des INM für die Hilfestellungen verschiedenster Art bei der Realisierung meiner Promotionsarbeit.

Herzlichen Dank meiner Familie und meinem Freund, die mir auch in den schwierigsten Situationen den Rücken freigehalten und mich immer wieder zum weitermachen motiviert haben.

Lebenslauf

Ich, Claudia Marie Elisabeth Netzsch, wurde am 10. Oktober 1974 in München geboren.

1980 begann ich meine Schulausbildung in der Grundschule an der Graslitzer Straße in Waldkraiburg. 1984 wechselte ich auf das Ruperti-Gymnasium Mühldorf/Waldkraiburg, das ich bis Juli 1990 in Waldkraiburg und bis Juli 1991 in Mühldorf am Inn besuchte.

Das Schuljahr 1991/92 verbrachte ich im Schüleraustausch an der Riverside Poly Highschool/Kalifornien/USA und beendete es mit der amerikanischen Graduation.

Von 1992 bis 1994 besuchte ich erneut das Ruperti-Gymnasium in Mühldorf am Inn, wo ich am 1. Juli 1994 mein Abitur mit dem Notendurchschnitt 2,0 ablegte.

Im Wintersemester 1994 nahm ich das Studium der Medizin an der Technischen Universität in München auf. 1996 legte ich die ärztliche Vorprüfung, 1997 das erste Staatsexamen und 2000 das zweite Staatsexamen ab.

Das Praktische Jahr absolvierte ich in den Fächern Anaesthesiologie (Klinikum Rechts der Isar; München), Innere Medizin (Kreiskrankenhaus Altötting) und Chirurgie (Klinikum Rechts der Isar; München).

Im Jahr 2001 beendete ich mein Studium mit dem dritten Staatsexamen an der Technischen Universität München.

Am 1. Juni 2001 trat ich eine Stelle als Ärztin im Praktikum in der Klinik für Anaesthesiologie der Ludwig-Maximilians-Universität München, Klinikum Innenstadt an. Zum Dezember 2002 wurde ich nahtlos in ein Assistentenverhältnis an der gleichen Klinik übernommen.

Seit 1995 bin ich ehrenamtlich für das Bayerische Rote Kreuz im Rettungsdienst tätig. Im Zuge dieser Tätigkeit machte ich 1997 die Ausbildung zur Rettungssanitäterin, 1998 zur Rettungsschwimmerin und 2000 zur Multiplikatorin für Frühdefibrillation.

1997 nahm ich noch eine nebenamtliche Tätigkeit in der Rettungsleitstelle in Traunstein an und trat der SEG Waldkraiburg bei.

Im März 1999 begann ich mit meiner Doktorarbeit am Institut für Notfallmedizin und Medizinmanagement.

