

Aus der Universitätsklinik für Allgemeine, Viszeral - und
Transplantationschirurgie Tübingen
Ärztlicher Direktor: Professor Dr. A. Königsrainer

Der Verlegungstransport beatmeter Patienten

-

Prospektive, vergleichende Studie zum Einsatz transportabler Beatmungsgeräte im innerklinischen Verlegungstransport von beatmungspflichtigen Patienten

Inaugural – Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin

der Medizinischen Fakultät
der Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen

vorgelegt von
Jochen Sackmann
aus Freudenstadt

2007

Dekan: **Professor Dr. I. B. Autenrieth**

1. Berichterstatter: **Professor Dr. Dr. h.c. B. D. Domres**

2. Berichterstatter: **Privatdozent Dr. M. Morgalla**

Meinen Eltern & Geschwistern zum Dank

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungen

1 Einleitung

- 1.1. Fragestellung**
- 1.2. Die Größe des Beatmungsgerätes im Intensivverlegungstranport**
- 1.3. Die wichtigsten Beatmungsmodi in der heutigen Intensivmedizin**
 - 1.3.1. Kontrollierte Beatmung (CMV,IPPV, CPPV)**
 - 1.3.1.1. Volumenkontrollierte Beatmung (PCV)**
 - 1.3.1.2. Druckkontrollierte Beatmung**
 - 1.3.2. Beatmung mit erhöhtem endexpiratorischen Druck (PEEP)**
 - 1.3.3. Assistierte Beatmung (augmentierende Beatmung)**
 - 1.3.4. Kombiniert assistiert/kontrollierte Beatmungsformen**
 - 1.3.5. Der Beatmungsmodus SIMV**
 - 1.3.6. Der Beatmungsmodus ASB**
 - 1.3.7. Der Beatmungsmodus CPAP**
 - 1.3.8. Der Beatmungsmodus BIPAP**
- 1.4. Der Horowitzindex**
- 1.5. Der Ramsey Sedation Score – eine Möglichkeit zur Beurteilung des Sedierungszustandes eines Patienten**
- 1.6. Häufig in der Intensivmedizin eingesetzte Beatmungsgeräte in Deutschland**

2 Material und Methodik

- 2.1. Durchführung der Datenerhebung**
- 2.2. Ein – und Ausschlusskriterien**
- 2.3. Die Medizintechnische Einweisung des Personals**
- 2.4. Das Beatmungsgerät Servo 300 der Siemens Medical AG**
- 2.5. Das Beatmungsgerät Oxylog 3000 der Dräger Medical AG & Co.KGaA**

- 2.6. Vergleich der wichtigsten Funktionen beider Beatmungsgeräte**
- 2.7. Die Anschaffungs- und Wartungskosten beider Beatmungsgeräte**
- 2.8. Beschreibung der „Tübinger - Intensiv - Transporteinheit“**
- 2.9. Beschreibung der anaesthesiologischen Intensivstationen
A 5 Nord und A 5 Ost der Universitätsklinik Tübingen**
- 2.10. Die Versuchsdurchführung**
 - 2.10.1. Beschreibung eines innerklinischen Transportes**
- 2.11. Die Blutgasanalyse in der Intensivmedizin**
- 2.12. Anforderungen an ein Blutgasanalysegerät auf der Intensivstation**
 - 2.12.1. Direkt gemessene Parameter der Blutgasanalyse**
 - 2.12.1.1. Der pH-Wert**
 - 2.12.1.2. Der pCO₂-Wert**
 - 2.12.1.3. Der pO₂-Wert**
 - 2.12.1.4. Die Sauerstoffsättigung (SpO₂)**
 - 2.12.2. Abgeleitete Parameter der Blutgasanalyse**
 - 2.12.2.1. Die Standardbikarbonat-konzentration**
 - 2.12.2.2. Die Basenabweichung („Base Excess“)**
 - 2.12.3. Die Messprinzipien des Säure-Basen-Haushaltes**
 - 2.12.3.1. Das Potentiometrische Messprinzip**
 - 2.12.3.2. Das Amperometrische Messprinzip**
 - 2.12.3.3. Die Referenzelektrode**
 - 2.12.3.4. Die Elektrolytlösung**
 - 2.12.4. Die Messung des pH-Wertes**
 - 2.12.4.1. Die pH- Elektrode**
 - 2.12.4.2. Das Messprinzip der pH-Elektrode**
 - 2.12.5. Die Messung des Kohlendioxidpartialdrucks**
 - 2.12.5.1. Die pCO₂-Elektrode**
 - 2.12.5.2. Das Messprinzip der pCO₂-Elektrode**
 - 2.12.6. Die Messung des Sauerstoffpartialdrucks pO₂**
 - 2.12.6.1. Die pO₂- Elektrode**
 - 2.12.6.2. Messprinzip der PO₂-Elektrode**

- 2.13. Die Oxymetrie in den Geräten von Radiometer Copenhagen**
- 2.14. Das optische System**
- 2.15. Die Absorptionsspektroskopie**
- 2.16. Korrektur von Störsubstanzen bei der Messung von Oxymetrieparametern**
- 2.17. Die Blutgasanalyse auf der Intensivstation der Universitätsklinik Tübingen**
- 2.18. Software**

3 Eigene Ergebnisse

- 3.1. Stichprobenanalyse**
- 3.2. Ergebnisse unter der Betrachtung der Oxygenierungsindex nach Horowitz (p_aO_2 / FiO_2)**
 - 3.2.1. Veränderungen des Horowitzindex in den einzelnen Transportphasen – Auswertung anhand der DIVI-Leitlinien**
- 3.3. Ergebnisse unter der Betrachtung FiO_2 -Einstellung in den einzelnen Transportphasen**
- 3.4. Ergebnisse unter Betrachtung der Beatmungsmodusdaten**
 - 3.4.1. Auswertung der Beatmungsmodusdaten der Transporte mit dem Oxylog 3000**
 - 3.4.2. Auswertung der Beatmungsmodusdaten der Transporte mit dem Servo 300**
 - 3.4.3. Auswertung des Beatmungsmodus BIPAP in den einzelnen Transportphasen**
- 3.5. Ergebnisse unter Betrachtung der Möglichkeit einer Weiterführung der ursprünglichen Beatmungsform im Anschluss an den Transport**
 - 3.5.1. Weiterführung der ursprünglichen Beatmungsform nach dem Transport mit dem Oxylog 3000**
 - 3.5.2. Weiterführung der ursprünglichen Beatmungsform nach dem Transport mit dem Servo 300**

- 3.6. Vergleich der erforderlichen Sedierung des Patienten zum Transport**
- 3.7. Die PEEP Einstellungen am Beatmungsgerät in den einzelnen Transportphasen**
- 3.8. Komplikationen während der Verlegungstransporte**
- 3.9. Anforderungen an ein Transportrespirator im inner- und interklinischen Transport**
- 3.10. Anforderungen an ein Intensivtransportmodul für innerklinische Verlegungstransporte**
- 3.11. Anforderungen an das Personal eines Intensivverlegungstransportes**

4 Diskussion

- 4.1. Diskussion der Methodik**
 - 4.1.1. Die Durchführung der Blutgasanalyse**
- 4.2. Diskussion der Ergebnisse**
 - 4.2.1. Ergebnisse unter der Betrachtung Oxygenierungsindex nach Horowitz (p_aO_2 / FiO_2)**
 - 4.2.2. Ergebnisse unter der Betrachtung FiO_2 -Einstellung in den einzelnen Transportphasen / Vorteile der maschinellen Beatmung**
 - 4.2.3. Ergebnisse unter Betrachtung der Beatmungsmodusdaten**
 - 4.2.4. Ergebnisse unter Betrachtung der Möglichkeit einer Weiterführung der ursprünglichen Beatmungsform im Anschluss an den Transport**
 - 4.2.5. Die Sedierung des Patienten zum Transport**
 - 4.2.6. Die PEEP Einstellungen am Beatmungsgerät in den einzelnen Transportphasen**
 - 4.2.7. Die Komplikationen bzw. Probleme während des Verlegungstransportes einer beatmeten Patienten**
 - 4.2.8. Die Indikationsstellung eines Transports**
 - 4.2.9. Patienten mit einem Schädel-Hirn-Trauma**

**4.2.10. Anforderungen an ein zum Transport geeignetes
Beatmungsgerät**

**4.2.11. Richtlinien für den Transport intensivpflichtiger, beatmeter
Patienten**

4.2.12. Schlussfolgerung

5 Zusammenfassung

6 Literaturverzeichnis

7 Tabellenverzeichnis

8 Abbildungsverzeichnis

9 Anhang

9.1. Studienprotokoll für die Transporte mit dem Servo 300

9.2. Studienprotokoll für die Transporte mit dem Oxylog 3000

9.3. Worte des Dankes

9.4. Curriculum vitae

Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen

AF:	Atemfrequenz
ARDS:	Acute Respiratory Distress Syndrome
ASB:	Assisted-Spontaneous-Breathing
BGA:	Blutgasanalyse
BIPAP:	Biphasic-Positive-Airway-Pressure
C :	Compliance
CT:	Computertomographie
CPAP:	Continuous-Positive-Airway-Pressure
COPD:	Chronical Obstructive Pulmonary Disease
CMV:	Controlled Mechanical Ventilation
DIVI:	Deutsche Interdisziplinäre Vereinigung für Intensiv- und Notfallmedizin
DRF:	Deutsche Rettungsflugwacht e.V.
FiO ₂ :	inspiratorische Sauerstoffkonzentration
FRC:	Funktionelle Residualkapazität
IMV:	Intermittierend Mandatorische Ventilation
I:E:	zeitliche Verhältnis von Inspiration zu Expiration
ITH:	Intensivhubschrauber
paCO ₂ :	Arterieller CO ₂ - Partialdruck
paO ₂ :	Arterieller O ₂ - Partialdruck
PCV:	Pressure-Contolled-Ventilation
PEEP:	Positiver endexpiratorischer Druck
PONV:	postoperative nausea and vomiting
R:	Resistance
STK:	Sicherheitstechnische Kontrolle
SHT:	Schädel-Hirn-Trauma

Für Maßeinheiten wurden die Einheiten des SI-System (Système International d`unités) verwendet.

1 Einleitung

Die Qualitätsansprüche und Anforderungen in der Medizin werden immer größer. Durch die Einführung der „Diagnosis Related Groups“ (DRG) und die immer geringer werdende finanzielle Mittel im deutschen Gesundheitswesen kommt dem Intensivverlegungstransport eine immer größer werdende Bedeutung zu. Immer häufiger müssen schwerkranke und schwerverletzte Patienten von Kliniken der Regelversorgung in Kliniken der Maximalversorgung verlegt werden, um dort adäquat versorgt werden zu können. Desgleichen nimmt die Zahl der innerklinischen Verlegungstransporte beatmeter Patienten stetig zu. Gründe für die Zunahme sind diagnostische Untersuchungen, wie z.B. Computer- oder Magnetresonanztomographie oder therapeutische Maßnahmen wie z.B. die Durchführung einer Operation oder Maßnahmen der interventionellen Radiologie, um dem intensivpflichtigen, beatmeten Patienten die bestmögliche Versorgung zu gewährleisten.

Dadurch wird die Verlegung intensivpflichtiger Patienten zu einem wichtigen Bestandteil der ärztlichen Tätigkeit und erfordert eine adäquate Versorgung dieser, häufig beatmungspflichtiger, Patienten während des Transports [1]. Zu einer Verschlechterung bzw. Gefährdung des Patienten während des Transports hinsichtlich des Gasaustausches und der Zirkulation darf es nicht kommen.

Einer der weit verbreitetsten Intensivbeatmungsgeräte im Verlegungstransport beatmeter Patienten ist der Servo 300 der Fa. Siemens Medical AG, wie eine bundesweit durchgeführten Umfrage von Dr. med. Hans-Rolf Mrugalla im Jahre 2001 ergab.

Die zurzeit verwendeten Intensivrespiratoren, die zu innerklinischen und interklinischen Transporten eingesetzt werden, sind von ihrer Bauart und Größe nicht für den Verlegungstransport konzipiert worden. Leistungsfähige Intensivrespiratoren haben meist den Nachteil, dass diese als bettseitiges Gerät konzipiert wurden. Dem zufolge sind sie bauartbedingt sehr schwer und

unhandlich. Zudem weisen sie nur eine geringe Akkukapazität auf oder verfügen standardmäßig über gar keinen Akku.

Dennoch werden diese Geräte bei inner- und interklinischen Transporten verwendet, um das differenzierte Beatmungsregime auch während des Transportes zu Diagnostik oder Interventionen, sowie bei Verlegungstransporten in andere Kliniken, aufrechterhalten zu können.

Auch in der Universitätsklinik Tübingen und bei der Deutschen Rettungsflugwacht (DRF) wird der Servo 300 zur Verlegung intensivpflichtiger, beatmeter Patienten verwendet.

Durch die Entwicklung des Transportrespirators Oxylog 3000 der Fa. Dräger Medical AG & Co. KGaA steht seit kurzem ein neu entwickeltes Beatmungsgerät zur Verfügung, das vor allem für den innerklinischen Transport und den präklinischen Einsatz entwickelt wurde.

Mit dieser Arbeit sollen zwei Beatmungsgeräte verglichen werden, die laut Hersteller beide für die Verlegung beatmungspflichtiger Patienten geeignet sind und sowohl innerklinisch, wie auch im Rettungsdienst und in der Luftrettung eingesetzt werden können.

Des Weiteren sollen in dieser Arbeit Anforderungen, die an ein zum Transport geeignetes Beatmungsgerät gestellt werden, sowie Anforderungen an eine Intensivtransporteinheit, sowie Anforderungen an das Personal, welches einen Verlegungstransport von intensivpflichtigen, meist beatmeten Patienten durchführt, erarbeitet werden.

1.1. Fragestellung

Folgende Fragen sollen mit der vorliegenden Untersuchung beantwortet werden:

Erfüllt der tragbare Notfall- und Transportrespirator Oxylog 3000 der Fa. Dräger Medical AG & Co. KGaA die medizinischen und technischen Anforderungen, die bei innerklinischen Transporten für den Intensivtransport gefordert werden?

Wie ist der Zustand von Patienten vor, während und nach dem Transport?

Wird der Patient durch den Transport zusätzlichen Belastungen ausgesetzt?

Sind zusätzliche Veränderungen im Gasaustausch des beatmeten Patienten durch den Transport festzustellen?

Kommt es zu Veränderungen der alveolo-arteriellen Sauerstoffdifferenz AaDO₂ (Horowitzindex) durch den Transport?

Kann ein differenziertes Beatmungsregime bei Intensivtransporten während des gesamten Transportes kontinuierlich gewährleistet werden?

Kann der Beatmungsmodus vor, während und nach dem Transport weitergeführt werden oder muss er geändert werden?

Kann die inspiratorische Sauerstoffkonzentration (FiO₂), die während dem Transport eingestellt ist, nach dem Transport übernommen werden bzw. benötigt der Patient nach dem Transport eine höhere inspiratorische Sauerstoffsättigung (FiO₂)?

Muss der Patient aufgrund eines Wechsels des Beatmungsmodus oder einer anderen Einstellungsänderung am Beatmungsgerät vor dem Transport zusätzlich sediert werden?

Können die stationären PEEP-Einstellungen übernommen werden?

Zu welchen Komplikationen und Schwierigkeiten kommt es während der Verlegungstransporte und wie könnten sie reduziert bzw. verhindert werden?

Welche Anforderungen werden an ein zum Transport beatmeter Patienten geeignetes Beatmungsgerät gestellt?

Welche Anforderungen werden an eine Intensivtransporteinheit gestellt?

Welche Anforderungen werden an das den Transport durchführende Personal gestellt?

1.2. Die Größe des Beatmungsgerätes im Intensivverlegungstranport

Die zurzeit verwendeten Intensivrespiratoren, die bei den innerklinischen Transporten und im Rettungsdienst, sowohl bodengebunden, wie auch in der Luftrettung eingesetzt werden, sind von ihrer Bauart und Größe nicht für den Intensivverlegungstranport konzipiert worden.

Leistungsfähige Intensivrespiratoren haben meist den Nachteil, dass diese als bettseitiges Gerät konzipiert wurden. Dem zufolge bauartbedingt sehr schwer und unhandlich sind. Als Beispiel sieht man in Abbildung 1 das Beatmungsgerät Servo 300 der Siemens Medical AG.

Zudem weisen sie nur eine geringe Akkukapazität auf oder verfügen standardmäßig über keinen Akku. Verschiedene Hersteller bieten optional so genannte Batteriepacks an, diese sind aber auch nicht von kleiner Bauart und sind in der Regel nur für den innerklinischen Einsatz geeignet, nicht aber für den präklinischen Einsatz.

Dennoch werden diese Geräte bei inner- und interklinischen Transporten verwendet, um das verwendete differenzierte Beatmungsregime auch während des Transportes zu Diagnostik oder Interventionen, wie z.B. Transporten in CT, sowie bei Verlegungstranporten in andere Kliniken, aufrechterhalten zu können.

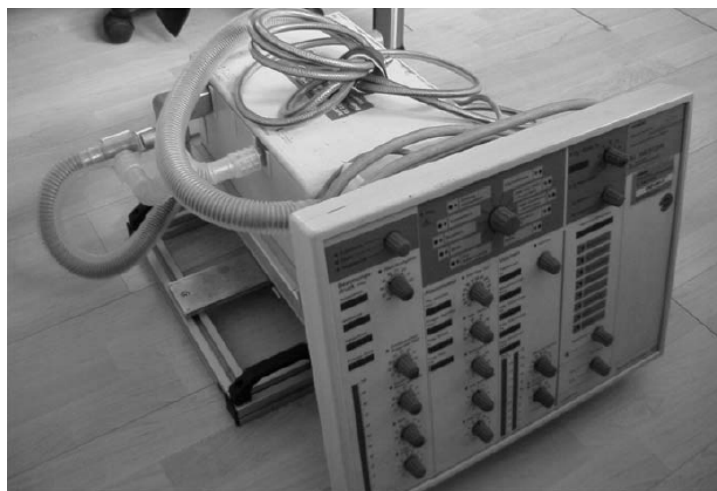


Abb. 1: Servo 300 der Siemens Medical AG

1.3. Die wichtigsten Beatmungsformen in der heutigen Intensivmedizin

Die Indikation zur Beatmung eines Patienten ist gegeben, wenn entweder ein pulmonales Pumpversagen bzw. eine pulmonale Pumpschwäche oder ein Lungenparenchymversagen vorliegt und der Patient nicht mehr imstande ist, die für einen adäquaten Gasaustausch erforderliche Atemarbeit zu erbringen.

In der Intensivmedizin unterscheidet man zwischen kontrollierter und assistierter Beatmung.

Um den geeigneten Beatmungsmodus auszuwählen, muss man zunächst unterscheiden, ob ein Pumpversagen oder ein Lungenparenchymschaden vorliegt. Beim Pumpversagen ist die CO₂-Elimination, d.h. eine Funktion der alveolären Ventilation, gestört.

Bei einem Lungenparenchymschaden, also bei einer Störung im Bereich der Alveolen, ist die Oxygenierung gestört, die eine Funktion der inspiratorischen Sauerstoffkonzentration (FiO₂) und der Gasaustauschoberfläche ist.

Ziel einer modernen Beatmungstherapie ist die „schonende“ Beatmung, d.h. eine Beatmung mit möglichst niedrigen Beatmungsspitzenrücken. Dadurch wird versucht eine beatmungsinduzierte Aggravierung der Lungenschädigung zu vermeiden.

1.3.1. Kontrollierte Beatmung (CMV, IPPV, CPPV)

Bei der kontrollierten Beatmung wird die Inspiration automatisch und unabhängig von einer eventuell bestehenden Eigenatmung des Patienten eingeleitet, d.h. es erfolgt keine Synchronisierung. Das Gerät übernimmt die gesamte Atemarbeit für die Einatmung und steuert Zeitablauf und Größe eines jeden verabreichten Atemhubes.

Ist der PEEP = 0 nennt man die Beatmungsform IPPV = Intermittent Positive Pressure Ventilation (intermittierende Beatmung mit positivem Druck).

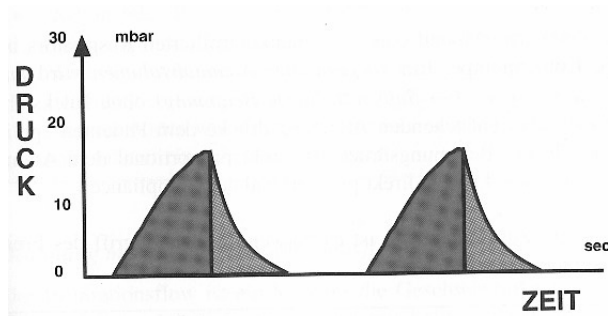


Abb. 2: Kontrollierte Beatmung ohne PEEP (IPPV)

Ist der PEEP größer 0 wird die Beatmungsform CPPV genannt.

CPPV = Continuous Positive Pressure Ventilation (Beatmung mit kontinuierlichem positivem Druck).

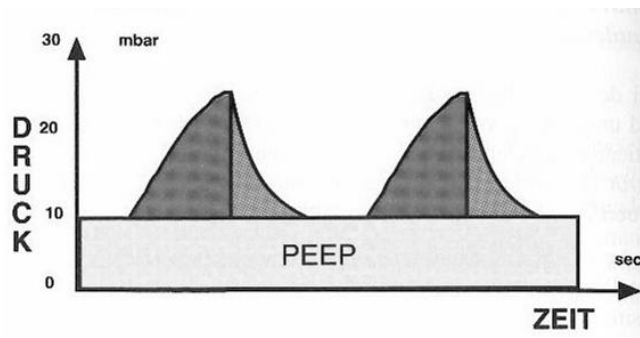


Abb. 3: Kontrollierte Beatmung mit PEEP (IPPV)

1.3.1.1. Volumenkontrollierte Beatmung

Bei der volumenkontrollierten Beatmung wird ein vorgewähltes Atemhubvolumen mit konstantem Flow ohne Rücksicht auf die dabei entstehenden Atemwegsdrücke dem Patienten appliziert.

Hierbei spielt der Inspirationsflow eine entscheidende Rolle. Er ist ein Maß für die Geschwindigkeit, mit der das Atemgas verabreicht wird. Wird mit hohem Inspirationsflow beatmet, so wird das vorgewählte Atemhubvolumen vor Ablauf

der Inspirationszeit appliziert. Dadurch kommt es im Druck-Zeit-Diagramm zur Ausbildung eines inspiratorischen Druckniveaus.

Durch einen eventuell zu hohen Inspirationsflow kann es zu folgenden Auswirkungen bei der volumenkontrollierten Beatmung kommen:

- Anstieg des inspiratorischen Spitzendrucks (Gefahr eines Barotrauma)
- Überblähung gesunder Lungenkompartimente
- Zunahme des intrapulmonalen Rechts-Links-Shunts
- Entstehen von sog. Pendelluft, d.h. in der Inspirationspause kommt es als Folge der Druckdifferenzen zwischen den einzelnen Lungenkompartimenten zu einer intrapulmonalen Umverteilung von Atemgas, welches bereits am Gasaustausch teilgenommen hat

Die volumenkontrollierte Beatmung ist die Methode der Wahl zur Beatmung der gesunden Lunge. Sie wird daher überwiegend zur Narkosebeatmung eingesetzt. Eine weitere Indikation ist die Beatmung von Patienten mit einem Schädel-Hirn-Trauma, da die flusskonstante Beatmung eine sichere Applikation der eingestellten Atemhubvolumina gewährleistet und somit eine exakte Einstellung des PaCO₂ ermöglicht wird.

1.3.1.2. Druckkontrollierte Beatmung PCV (Pressure Controlled Ventilation)

Bei der druckkontrollierten Beatmung fließt das Atemgas mit konstantem Druck während der eingestellten Inspirationszeit in die Lungen, d.h. der voreingestellte Inspirationsdruck P_{\max} wird für die Dauer der gesamten Inspirationszeit aufrechterhalten.

Eine der Gefahren bei der druckkontrollierten Beatmung ist, dass es bei einer spontanen Änderung der Compliance bzw. der Resistance das Atemhubvolumen ändert und es somit zu einer plötzlichen Erhöhung des Bronchialwiderstandes kommt und der Patient somit hypoventiliert wird.

Daher ist bei der druckkontrollierten Beatmung eine engmaschige Überwachung mit eng eingestellten Alarmgrenzen unbedingt erforderlich.

Die Vorteile der druckkontrollierten Beatmung sind:

- Senkung des Spitzendruckes und somit Verminderung der Gefahr von Barotrauma und Trachealläsion
- wirksame Beatmung bei Verteilungsstörungen, da der mit der Druckerhöhung einhergehende dezelerierende Inspirationsflow das Überblähen gut belüfteter Alveolen reduziert
- sie eignet sich besonders für die Beatmung bei Leckageverlusten, wie z.B. bei Fisteln, in der Pädiatrie oder bei ungecufften Tuben, da hier die Verluste bis zu einem gewissen Grad kompensiert werden können

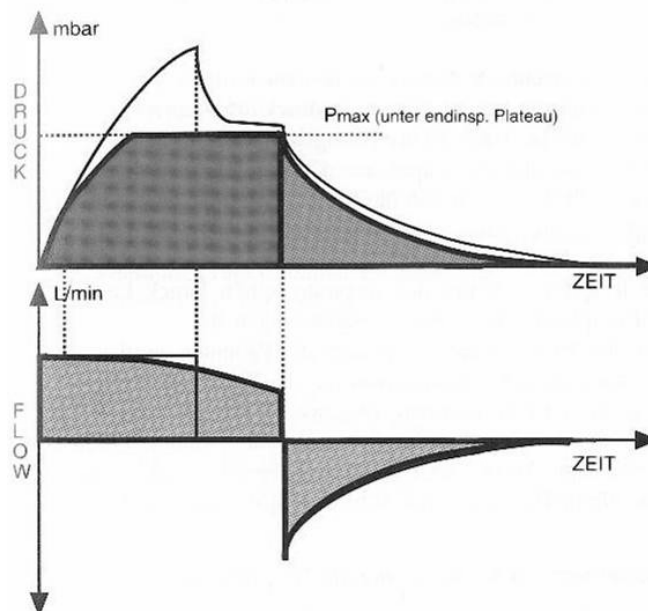


Abb. 4: Druckkontrollierte Beatmung - PCV mit Druck-Zeit-Diagramm und Flow-Zeit-Diagramm

1.3.2. Beatmung mit erhöhtem endexpiratorischen Druck (PEEP)

Bei der Beatmung mit PEEP (Positive Endexpiratory Pressure) lässt man den Patienten nicht mehr bis zum Druckausgleich null ausatmen, sondern erhält einen im Vergleich zum atmosphärischen Druck positiven Druck innerhalb der Atemwege am Ende der Expiration aufrecht.

Dieser Druck ist auch während der expiratorischen Pause wirksam, so dass während des gesamten Atemzyklus ein positiver Druck in der Lunge herrscht.

In der Praxis werden meistens PEEP-Werte zwischen 5 und 15 mbar angewandt. Die Wirkung von PEEP ist bei 15 mbar maximal ausgeschöpft, da jenseits von 15 mbar sich der Alveolardruckmesser mit PEEP-Werten nicht mehr vergrößert.

Das Alveolargewebe ist bei höheren Drücken offensichtlich nicht weiter dehnbar. Bei höheren PEEP-Werten kann es zu einer Überdehnung („overdistension“) mit der Gefahr der Alveolarruptur kommen.

Barotraumen können die Folge sein.

Die Wirkungen von PEEP:

- Vergrößerung der funktionellen Residualkapazität
- Wiedereröffnung atelektatischer Lungenbezirke („alveolar recruitment“)
- Verminderung des intrapulmonalen Rechts-Links-Shunts
- Vermeidung des endexpiratorischen Alveolarkollapses
- Verbesserung der Ventilations- /Perfuionsverhältnisses

Die Nebenwirkungen des PEEP:

- Abfall des Herzzeitvolumens durch Verminderung des venösen Rückstroms als Folge des erhöhten intrathorakalen Druckes
- Abnahme der Nieren-Leber-Splanchnikusdurchblutung
- Anstieg des intrakraniellen Druckes durch den verminderten venösen Abstrom aus den Jugularvenen

Die Beatmung mit PEEP sollte immer langsam ausschleichend reduziert werden, da bei einer abrupten Beendigung der PEEP-Beatmung es zu Pleuraergüssen kommen kann.

1.3.3. Assistierte (augmentierende) Beatmung

Bei der assistierten Beatmung liefert das Beatmungsgerät einen mandatorischen Atemhub, der aber vom Patienten ausgelöst werden muss.

Der Patient ist in der Lage einen Einatemanstoß aufzubringen und damit einen Trigger auszulösen. Somit wird der Patient synchron zu seiner spontanen Einatmung beatmet.

Der Trigger reagiert auf den Unterdruck, den der Patient bei Beginn einer Inspiration aufbaut. Bezugspunkt für den Beginn der Inspiration ist der endexpiratorische Druck.

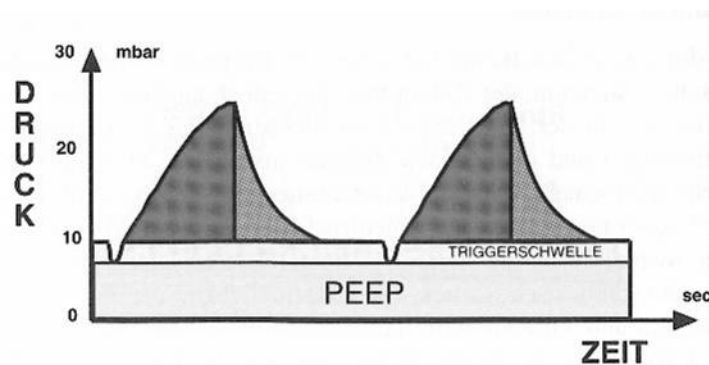


Abb. 5: Assistierte Beatmung

Die Empfindlichkeit des Triggers ist einstellbar und wird durch die Triggerschwelle gekennzeichnet. Die Triggerschwelle ist der Betrag, um den der Druck unter den Bezugsdruck fallen muss, damit eine Inspiration ausgelöst wird (meistens ca. 2 mbar unter dem endexpiratorischen Druck).

Ist der PEEP = 0, so wird die Beatmungsform S-IPPV= Synchronized Intermittent Positive Pressure Ventilation (Synchronisierte Beatmung mit intermittierendem positivem Druck) genannt.

Ist der PEEP größer 0, wird die Beatmungsform S-CPPV genannt: S-CPPV = Synchronized Continuous Positive Pressure Ventilation (synchronisierte Beatmung mit kontinuierlichem positivem Druck).

Die Vorteile der augmentierenden Beatmung sind:

- selektive Unterstützung gestörter Teilfunktionen der Lunge bei erhaltener Spontanatmung durch Verbesserung der Pumpleistung - Optimierung der gestörten Ventilation
- erhaltene Zwerchfellmotilität (Atelektasenprophylaxe)
- Unterstützung der Atemmuskulatur
- Optimierung der Oxygenierung durch Rekrutieren von Alveolarkompartimenten
- Verminderung beatmungsinduzierter Organrückwirkungen
- rascheres Wiedererlangen der Spontanatmung („besseres Weaning“)

Die assistierte Beatmung wird oft zur kurzfristigen postoperativen Nachbeatmung und beim Entwöhnen (Weaning) nach Langzeitbeatmung eingesetzt.

1.3.4. Kombiniert assistiert/kontrollierte Beatmungsformen

Diese Beatmungsformen sind eine Kombination aus druckunterstützter Atmung und zeitgesteuerter volumen- oder druckkonstanter Beatmung, so dass eine Spontanatmung des Patienten möglich ist.

1.3.5. Der Beatmungsmodus SIMV

SIMV = Synchronous Intermittent Mandatory Ventilation (synchronisierte intermittierende maschinelle Beatmung; sie wird mit der Spontanatmung synchronisiert).

Dieser Beatmungsmodus gehört in die Gruppe der kombiniert assistiert/kontrollierten Beatmungsformen.

Hier lässt man dem Patienten vor jeder maschinellen Inspiration ein Erwartungszeitfenster von ca. 5 sec., in dem er die Inspiration selber triggern kann.

Der maschinelle Atemhub wird dann ausgelöst, wenn der Patient nach dem Ende der Spontanatemphase innerhalb des Erwartungszeitfensters eine spontane Einatemanstrengung unternimmt und damit den Triggerimpuls auslöst. Ein einmal gestarteter maschineller Atemzyklus kann nicht mehr beeinflusst werden. Es handelt sich um eine intermittierende Totalsubstitution einzelner Atemzüge.

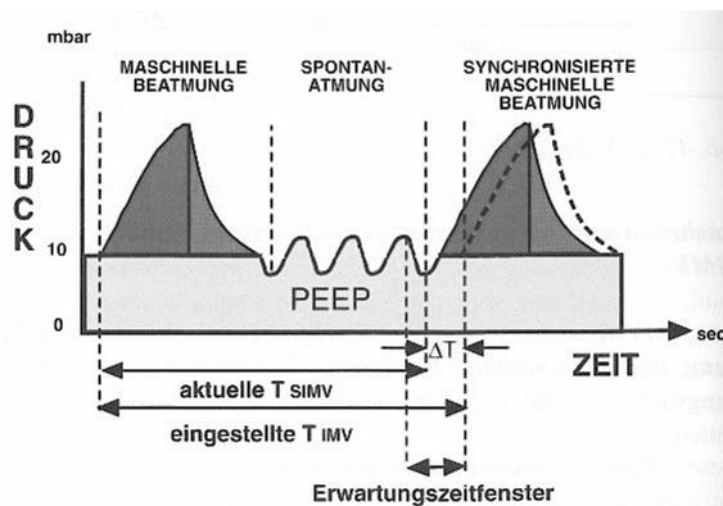


Abb. 6: SIMV-Beatmung (Synchronous Intermittent Mandatory Ventilation)

Die SIMV-Beatmungshübe können entweder volumen- oder druckkontrolliert appliziert werden (SIMV-Volume Controlled, SIMV-Pressure Controlled).

Da die Synchronisation des mandatorischen Beatmungshubes die wirksame SIMV-Zeit verkürzt und somit die wirksame IMV-Frequenz unerwünscht erhöhen würde, verlängern moderne Respiratoren die nachfolgende Spontanatemzeit um die fehlende Zeitdifferenz ΔT , wodurch eine SIMV-Frequenzerhöhung vermieden wird.

Diese Art von Beatmung hat sich als wirksame Mittel zur Entwöhnung von Langzeit-Beatmungspatienten bewährt. Im Zuge des „Weaning“ wird am Beatmungsgerät die SIMV-Frequenz weiter reduziert. Damit werden die Pausenzeiten verlängert, bis schließlich das erforderliche Minutenvolumen ganz durch die Spontanatmung gedeckt wird.

In den Spontanatemphasen kann der Patient mit ASB = Assisted Spontaneous Breathing (Inspirationsassistenz) unterstützt werden.

Die Grundidee von SIMV besteht darin, dass der Patient im Wesentlichen spontan atmet und dass das Beatmungsgerät mit einer sehr niedrigen Sicherheitsfrequenz maschinelle Beatmungshübe abgibt und somit eine Mindestventilation gewährleistet ist.

1.3.6. Der Beatmungsmodus ASB

Assisted Spontaneous Breathing, eine sog. Inspirationsassistenz kann als assistierte, druckunterstützte, flowgesteuerte Atemhilfe angesehen werden.

Dieser Beatmungsmodus verbindet die Vorteile der druckkontrollierten Beatmung mit der Spontanatmung.

Ähnlich wie der Anästhesist die wiedereinsetzende Spontanatmung des Patienten am Beatmungsbeutel fühlt und manuell unterstützt, kann das Beatmungsgerät eine insuffiziente Spontanatmung unterstützen, indem nach Beginn einer spontanen Inspiration das Druckniveau im Respiator auf einen höheren Wert angehoben wird.

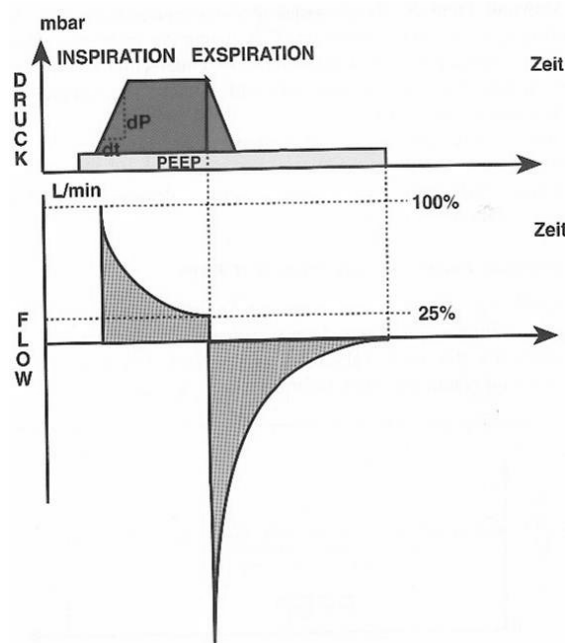


Abb. 7: ASB (=Assisted Spontaneous Breathing)

Die absolute Druckunterstützung errechnet sich demnach aus der Differenz Referenzdruck(=ASB - Druck) minus PEEP.

Bei einigen Beatmungsgeräten wird die Druckunterstützung bereits in mbar über PEEP-Niveau angegeben. Das Gerät übernimmt partiell die Atemarbeit. Der Patient steuert die Atemfrequenz und das Atemhubvolumen.

Der Patient bestimmt neben Atemfrequenz nicht nur den Beginn, sondern auch Verlauf und Volumen des maschinell unterstützten Atemzuges.

Insbesondere hilft ASB die Strömungswiderstände des Trachealtubus und des Schlauchsystems zu überwinden. ASB kann auch über eine dicht sitzende Maske appliziert werden.

Die Steilheit des Druckanstieges kann ebenfalls variiert werden, so dass eine bessere Adaptation der Druckunterstützung an die Spontanatmung des Patienten erreicht werden kann.

ASB wird bei Patienten angewendet, die nicht über genügend Muskelkraft verfügen, z.B. im Rahmen einer Respiratorentwöhnung. Des Weiteren hat sich ASB bei Patienten mit COPD (Chronical Obstructive Pulmonary Disease) bewährt, da der beim tachyphnoischen COPD-Patienten auftretende Intrinsic-PEEP durch ASB effektiv gesenkt werden kann.

1.3.7. Der Beatmungsmodus CPAP (Continuous Positive Airway Pressure)

Darunter versteht man eine Form der Spontanatmung mit einem kontinuierlichen positiven Atemwegsdruck in allen Phasen des Atemzyklus, d.h. auch in der Inspiration. Der Patient atmet spontan auf einem erhöhten Atemwegsdruck-Niveau.

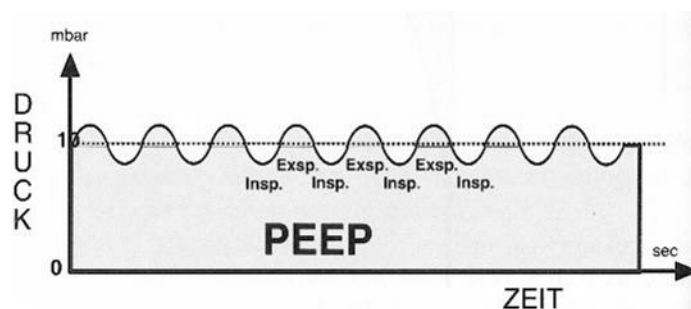


Abb. 8: CPAP (Continuous Positive Airway Pressure)

CPAP kann mittels eines Endotrachealtubus oder über eine dicht sitzende Gesichts- oder Nasenmaske dem Patienten appliziert werden. Voraussetzung für CPAP-Atmung sind wache, kooperative Patienten mit ausreichender Spontanatmung, d.h. mit suffizienter pulmonaler Pumpfunktion.

Die Kombination von einer Beatmung mit PEEP intraoperativ und postoperativer CPAP-Therapie hat sich bei der Prophylaxe von Atelektasen besonders gut bewährt.

Wirkprinzip:

- Verbesserung der Oxygenierung (Anstieg des paO_2) durch Erhöhung der funktionellen Residualkapazität
- verminderte Atemarbeit, da der inspiratorische Gasfluß die Einatmung erleichtert
- Verminderung der Kollapsneigung der kleinen Atemwege aufgrund des kontinuierlichen positiven Atemwegsdruckes
- Wiedereröffnung atelektatischer Lungenbezirke („alveolar recruitment“)
- Verkleinerung des intrapulmonalen Recht-Links-Shunts
- Verbesserung des Ventilations-/Perfusionverhältnisses

Indikationen für CPAP:

- posttraumatische und postoperative Gasaustauschstörungen wie z.B. Lunkenkontusion oder Atelektasen, v.a. nach Oberbaucheingriffen
- kardiogenes Lungenödem
- Pneumonien
- Respirationsentwöhnung („Weaning“)
- Respiratory Distress Syndrom (RDS) beim Neugeborenen

Folgende Probleme können bei einer Applikation über Maske auftreten:

- Luftansammlung im Gastrointestinaltrakt
- Entwicklung eines Pneumozephalus bei Schädelbasisfraktur
- Konjunktivitis (durch ein Gasleck am Nasenrand)
- Druckläsionen der Gesichtshaut
- Angst - und Beklemmungsgefühl

1.3.8. Der Beatmungsmodus BIPAP (Biphasic-Positive-Airway-Pressure)

BIPAP ist in vielen Zentren zur überwiegend verwendeten Form der Beatmung von Intensivpatienten geworden [62].

Das Weaning des Patienten unter BIPAP ist durch eine stetige Reduktion des oberen Druckniveaus, ohne den Beatmungsmodus wechseln zu müssen, gut durchzuführen [13].

Ein weiterer Effekt der assistierten Beatmung ist eine mögliche Verbesserung des Recruitments bzw. das Verhindern von Atelektasen.

Der Beatmungsmodus BIPAP kann als simultane Mischung von Spontanatmung und zeitgesteuerter, druckkontrollierter Beatmung definiert werden. In diesem System wird in einem frei wählbaren Zeitfenster zwischen zwei einstellbaren Druckniveaus, deren Höhen unabhängig voneinander wählbar sind, umgeschaltet. Auf beiden Druckniveaus ist für den Patienten eine Spontanatmung (CPAP) möglich (offenes System).

Der maschinelle Teil der Ventilation ergibt sich aus der Volumenverschiebung beim Umschalten zwischen den beiden Druckniveaus. Durch die entstehende Druckdifferenz Δp wird ein Atemgasflow erzeugt.

Über die rhythmische Veränderung der funktionellen Residualkapazität (FRC) wird die alveoläre Ventilation verbessert.

Im Rahmen der BIPAP-Beatmung gibt es außer der inspiratorischen Sauerstoffkonzentration (F_{iO_2}) nur vier Einstellgrößen:

Es sind dies die zwei Referenzdrücke P_{hoch} und P_{niedrig} (einstellbar zwischen 0 - 35mbar) und die zugehörigen Zeiten $T_{\text{hoch}} = T_I$ und $T_{\text{niedrig}} = T_E$, d.h. die Dauer der Phasen mit höherem und niedrigerem Druck ist beliebig einstellbar.

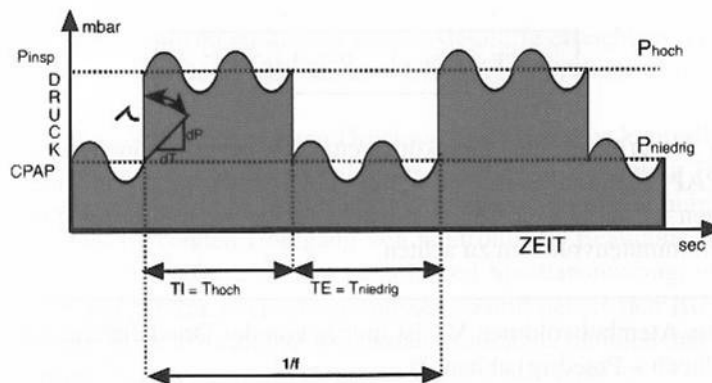


Abb. 9: BIPAP (Piphasic Positive Airway Pressure)

Das applizierte Atemzugvolumen ist abhängig von der Druckdifferenz Δp ($P_{\text{hoch}} = P_{\text{insp}} - P_{\text{niedrig}} = \text{PEEP}$) und den atemmechanischen Größen Compliance C und Resistance R.

Ein Vergrößern der Druckdifferenz Δp bewirkt einen höheren BIPAP-Beatmungshub. Da der Freiheitsgrad das Atemvolumen ist, muss auf eine enge Einstellung der Alarmgrenzen für das Atemminutenvolumen geachtet werden.

Die Steilheit des Druckanstieges kann ebenfalls variiert werden. Die wirksame Zeit für den Druckanstieg kann nicht größer als die eingestellte Inspirationszeit $T_I (=T_{\text{hoch}})$ werden.

Das Besondere an BIPAP ist, dass der Patient zu jedem Zeitpunkt des Atemzyklus, d.h. sowohl auf dem unteren als auch auf dem oberen Druckniveau spontan atmen kann, da das Expirationsventil bereits ein geringes Ansteigen des Atemwegsdruckes über einen Regelmechanismus gerade so viel Atemgas freigibt, wie für einen konstanten Atemwegsdruck notwendig ist.

Vereinfacht kann man BIPAP auch als ein Spontanatemverfahren mit zwei unterschiedlichen CPAP-Druckniveaus betrachten.

Fehlt die Spontanatmung, verbleibt eine zeitgesteuerte, druckkontrollierte Beatmung.

Je nach Spontanbeteiligung des Patienten können unterschieden werden:

- CMV-BIPAP: keine Spontanatmung, der Patient wird durch Umschaltung auf das obere Druckniveau druckkontrolliert, zeitgesteuert beatmet.
- IMV-BIPAP: Spontanatmung auf dem unteren Druckniveau
- Genuiner-BIPAP: („echter BIPAP“): Spontanatmung auf beiden Druckniveaus

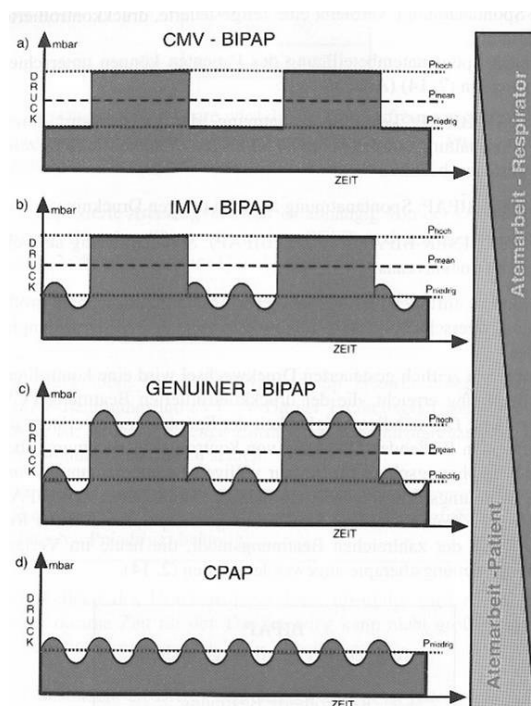


Abb. 10: a) CMV-BIPAP: keine Spontanatmung
b) IMV-BIPAP: Spontanatmung auf dem unteren Druckniveau
c) GENUINER-BIPAP: Spontanatmung auf beiden Druckniveaus
d) CPAP: vollständige Angleichung der beiden Druckniveaus

Besonders auffallend ist die bei dieser Form der Beatmung erreichbare große Volumenverschiebung mit relativ geringen BIPAP-Druckamplituden. Durch den zeitlich gesteuerten Druckwechsel wird eine kontrollierte Beatmung erreicht, die der druckkontrollierten Beatmung PCV entspricht.

Die ständige Möglichkeit der Spontanatmung erlaubt jedoch einen fließenden Übergang von kontrollierter Beatmung über die Entwöhnungsphase bis hin zur völligen Spontanatmung, ohne den Beatmungsmodus wechseln zu müssen.

Damit nähert sich BIPAP einem der Ziele der modernen Beatmungstherapie, nämlich der Reduzierung der zahlreichen Beatmungsmodi, die heute im Verlauf einer Beatmungstherapie eines Patienten angewendet werden.

Zur guten Adaptation an das Spontanatemverhalten des Patienten werden die Druckwechsel sowohl vom unteren auf das obere Druckniveau als auch der vom oberen auf das untere Druckniveau mit der Spontanatmung des Patienten synchronisiert.

Der Druckwechsel vom unteren auf das obere Druckniveau wird mit einem Flowtrigger (1-15l/min. einstellbar) innerhalb eines Triggerzeitfensters mit fester zeitlicher Lage (25% der Phasenzeit) ausgelöst. Kommt es innerhalb dieses Zeitfensters zu keiner Spontanatmung, schaltet der Respirator am Ende des Zeitfensters auf das obere Druckniveau. Der Wechsel vom oberen auf das untere Druckniveau erfolgt bei beginnender Ausatmung des Patienten, wenn der Inspirationsflow auf Null abgefallen ist.

Anhand der Blutgasanalyse (BGA) kann das Beatmungsmuster wie folgt geändert werden:

Ist der paO_2 niedrig, kann die Oxygenierung durch folgende Maßnahmen verbessert werden:

- Gleichgerichtete Erhöhung des unteren Druckniveaus (PEEP) und des oberen Druckniveaus (Δp bleibt gleich, daher keine Änderung der Ventilation)
- Gegensinnige Veränderung der Phasenzeiten
- Erhöhung der FIO_2 als symptomatische Therapiemaßnahme

Diese Maßnahmen führen zu einer Erhöhung des Atemwegsmitteldruckes mit Zunahme der funktionellen Residualkapazität (FRC).

Ist der PaCO₂ erhöht oder erniedrigt, wird die Ventilation durch folgende Maßnahmen korrigiert:

- PaCO₂ erniedrigt (Hyperventilation): → Reduktion des oberen Druckniveaus
- PaCO₂ erhöht (Hypoventilation): → Erhöhung des oberen Druckniveaus
- Erhöhung der Atemfrequenz durch gleichgerichtete Verkürzung der Phasenzeiten

Die Entwöhnungsstrategie („Weaning“) unter BIPAP:

Sie findet durch Annäherung der beiden Druckniveaus P_{hoch} und P_{niedrig} und durch Verlängerung der Zeit T_{niedrig} und damit Reduzierung der Beatmungsfrequenz statt:

Folgendes ist im Verlauf des Weanings unter BIPAP anzustreben:

- Reduktion der FIO₂ auf <0,5 anstreben
- Reduzierung des I:E – Verhältnisses auf ≤ 1:1
- Reduzierung des PEEP (P_{niedrig}) auf 7-9 mbar
- Reduzierung des oberen Druckniveaus in 2 mbar-Schritten bis Δp von 8 -12 mbar zwischen beiden Druckniveaus erreicht ist.
- Dehnung der Phasenzeiten T_{hoch} und T_{niedrig} auf 3 Sekunden (I:E = 3:3)
- schrittweise Verlängerung der Phasenzeit T_{niedrig} auf bis zu 12 Sekunden bei gleichzeitigem T_{hoch} von 3 Sekunden entspricht einer maschinellen Atemfrequenz von 4/min)
- Umstellung auf CPAP mit etwa 6 -8 mbar

Es hat sich bewährt, die CPAP-Phase in der Nacht durch eine augmentierende Atemhilfe mit Erhöhung der Sedierung (z.B. Propofol) zu unterbrechen.

Dadurch kann dem Patienten eine Erholung bei besserer Nachtruhe gewährt werden.[116]

1.4. Der Oxygenierungsindex nach Horowitz p_aO_2 / FiO_2

Der Oxygenierungsindex nach Horowitz ist der Quotient des arteriellen Sauerstoffpartialdruckes (p_aO_2) und der inspiratorischen Sauerstoffkonzentration (FiO_2).

Er dient zur Beurteilung der Oxygenierung beatmeter Patienten, sowie zur Definition des Schweregrads des Acute Respiratory Distress Syndroms (ARDS). Des Weiteren wird er als Maß zur Abschätzung der Intubationsindikation in der Intensivmedizin benutzt, sowie zur Beurteilung der Entwöhnungsfähigkeit eines beatmeten Patienten.

Beim Gesunden ergeben sich folgende Werte in Abhängigkeit vom Alter:

Alter (in Jahren)	10	20	30	40	50	60	70	80
PFI (in mmHg)	450	450	430	410	400	390	380	350

Tabelle 1: Oxygenierungsindex nach Horowitz in Abhängigkeit vom Alter

Mit Hilfe des Oxygenierungsindex kann eine pulmonale Gasaustauschstörung in verschiedene Stadien eingeteilt werden.

Die Deutsche Interdisziplinäre Vereinigung für Intensiv- und Notfallmedizin (DIVI) definiert diese Stadien wie folgt:

Mittlerer Schweregrad (acute lung injury = ALI)

Oxygenierungsstörung: $PaO_2 / FiO_2 < 300$ mmHg
(unabhängig vom PEEP)

Hoher Schweregrad (acute respiratory distress syndrome = ARDS)

Oxygenierungsstörung: $PaO_2 / FiO_2 < 200$ mmHg
(unabhängig vom PEEP)

1.5. Der Ramsey Sedation Score (RSS) – eine Möglichkeit zur Beurteilung des Sedierungszustandes eines Patienten

In Bereich der heutigen Intensivmedizin stehen verschiedene Scoring-Systeme zur Beurteilung des Sedierungszustandes zur Verfügung. Einer der am häufigsten angewandten ist der Ramsey Sedation Score (RSS).

Score	Beschreibung	Beurteilung
0	wach, orientiert	wach
1	agitiert, unruhig, ängstlich	zu flach
2	wach, kooperativ, Beatmungstoleranz	adäquat
3	schlafend, aber kooperativ (öffnet Augen auf laute Ansprache oder Berührung)	adäquat
4	tiefe Sedierung (öffnet Augen auf laute Ansprache oder Berührung nicht, aber prompt Reaktion auf Schmerzreize)	adäquat
5	Narkose (träge Schmerzreaktion auf Schmerzreize)	tief
6	tiefes Koma (keine Reaktion auf Schmerzreize)	zu tief

Tabelle 2: Ramsey Sedation Score (RSS)

Die Erfinder des Ramsay Sedation Score fanden den Grad von Sedierung adäquat, in denen sich die Patienten außerhalb von RSS eins und sechs befanden [89]. In einigen Studien wird ein Score von RSS zwei bis drei als ideale Sedierungstiefe angenommen [4], in anderen ein RSS von zwei – vier, zwei – fünf, drei – fünf oder ausschließlich fünf [81]. De Jonghe fand in seiner Studie für den RSS eine zufrieden stellende beobachter-unabhängige Reliabilität, außerdem eine hohe Korrelation mit der Cook Sedation Scale und der Sedation-Agitation-Scale. Trotzdem folgerten sie, daß es an der Zeit sei, den Ramsay Sedation Score durch einen wissenschaftlich entwickelten und evaluierten Score zu ersetzen[23]. Für verschiedene Anwendungen wurde der Score angepaßt und teilweise modifiziert.

Der Ramsay Sedation Score (RSS) stellt den Goldstandard der Überwachung der Sedierungstiefe auf Intensivstationen dar. Er wurde ursprünglich als wissenschaftlicher Score zur Beurteilung der Sedierungstiefe hervorgerufen durch Alphaxolone- Alphadolone (Althesin) genutzt [89].

Beurteilt werden die Merkmale Bewußtsein, Agitation und Angst.

Sechs Sedierungsstufen sind definiert: drei für die Wach - und drei für die Schlafstadien. Die Einteilung reicht von ängstlich bzw. agitiert über schlafend bis hin zu vollständiger Reaktionslosigkeit.

Um eine Differenzierung der Schlafstadien drei bis sechs zu ermöglichen wird ein auditorischer Stimulus und die Auslösbarkeit des Glabellareflex herangezogen. Dieser im Hirnstamm umgeschaltete Primitivreflex wird durch einen leichten Schlag mit dem Finger auf die Region zwischen den Augenbrauen oberhalb der Nasenwurzel ausgelöst und induziert einen reflektorischen Lidschluss durch Kontraktion des Musculus orbicularis oculi. Bei repetitiver Stimulation zeigen Erwachsene eine schnelle Habituation, diese fehlt bei Neugeborenen und Morbus Parkinson [44]. Die Differenzierung tiefster Sedierungsstufen ist nicht mehr möglich, da mit zunehmender Sedierungstiefe keine praktisch – klinisch prüfbar Merkmale mehr zu existieren scheinen. Die Differenzierung der Schlafstadien bleibt somit, wie bei anderen klinischen Scores, unzuverlässig.

Trotz verschiedener Studien kann über die innere Konsistenz des Scores und seine Objektivität der Messung keine definitive Aussage getroffen werden, da der RSS bisher wissenschaftlich nicht umfassend auf seine Reliabilität und Validität geprüft wurde.

Obwohl der Ramsay Sedation Score eine numerische Sechs-Punkte-Skala darstellt, außerdem sowohl Sedierung, als auch Agitation beurteilt, werden formatbedingt jeweils nur das eine oder das andere Merkmal untersucht.

Die sechs Stufen des Scores sind nicht streng voneinander zu trennen. Ein tiefer sedierter Patient kann bei maschineller Beatmung nur auf Beklopfen der Glabella oder laute akustische Reize reagieren (RSS 5), aber trotzdem agitiert sein (RSS 1).

Da es sich um eine ordinale Skala handelt sind Mittelwerte nicht aussagekräftig und parametrische statistische Methoden nicht anwendbar. Die Sedierung vom Grad RSS sechs ist somit nicht doppelt so tief wie eine von RSS Stadium drei [38].

1.6. Häufig in der Intensivmedizin eingesetzte Beatmungsgeräte in Deutschland

Die meist verwendeten Intensivrespiratoren, die in Deutschland zum Einsatz kommen, sind der „Servo 300“ der Siemens Medical AG, Deutschland, die „Evita 4“ von Dräger Medical AG, Deutschland, sowie der „Raphael“ der Firma Hamilton Medical AG, Schweiz.

Dies ergab eine Umfrage aus dem Jahre 2001 von Dr. med. Hans-Rolf Mrugalla.

In der folgenden Tabelle sollen die wichtigsten Eigenschaften dieser Beatmungsgeräte zum Vergleich dargestellt werden:

Parameter	Servo 300	Evita 4	Raphael
Volumenkontrolliert	ja	ja	ja
Druckkontrolliert	ja	ja	ja
Durckreguliert volumenkontrolliert	ja	ja	ja
SIMV	ja	ja	ja
SIMV druckkontrolliert	ja	ja	ja
Druckunterstützt	ja	ja	ja
BIPAP	nein	ja	ja
I:E	1:9 bis 4:1	1:9 bis 4:1	1:9 bis 4:1
Frequenzspektrum CMV	5 - 150/min	0 - 100/min	1 - 80/min
Frequenzspektrum SIMV	0,5 - 40/min	0 - 100/min	1 - 80/min
FiO ₂	0,21 - 1,0	0,21 - 1,0	0,21 - 1,0
Atemzugvolumen	0,002 - 4,0	0,02 - 2,0	0,05 - 1,8l
Inspirationszeit	10 - 80% des Atemzyklus	0,1 - 10 sec	0,1 - 3,2 sec
Max.Inspirationsdruck kontrolliert	0 - 100 mbar	0 - 100mbar	0 - 70 mbar
Max.Inspirationsdruck Spontanatmung	0 - 100 mbar	0 - 80 mbar	0 - 70 mbar
PEEP	0 - 50 mbar	0 - 35 mbar	0 - 20 mbar
Peak-Flow	200 l/min	120 l/min	180 l/min

Parameter	Servo 300	Evita 4	Raphael
Flow Messung	In- und expiratorisch	In- und expiratorisch	In- und expiratorisch
Flow Trigger	Automatisch	Automatisch	2 - 10 l/min
Apnoe Backup	ja	ja	ja
Alarmsignal	optisch, akustisch	optisch, akustisch	optisch, akustisch
Diskonnektionsalarm	ja	ja	ja
Pmax.Alarm	ja	ja	ja
Leckage Alarm	ja	ja	ja
Batteriekapazität	max.30 min.		max. 60 min
Anzeige Ladestatus	nein		ja
Alarm der Entladung	ja		ja
Ladedauer	ca. 10 h		ca. 6 h
Gewicht	24kg	26kg	16 kg

Tabelle 3: Eigenschaften häufig eingesetzter Beatmungsgeräte in der Intensivmedizin

2 Material und Methodik

Zur Beantwortung der Fragestellung, ob es während Intensivverlegungstransporten beatmeter Patienten zu zusätzlichen Belastungen, sowie zu einer Verschlechterung des Patientenzustandes hinsichtlich des Gasaustausches kommt, wurden Verlegungstransporte beatmeter Patienten (z.B. von der Intensivstation ins CT) begleitet und die verschiedenen Parameter der Beatmung und die Werte einer Blutgasanalyse direkt vor, während und eine Stunde nach dem Transport gemessen und dem folgenden für die Studie vorbereiteten Studienprotokoll dokumentiert.

Die Durchführung dieser Untersuchung wurde, nach Vorlage des Studienprotokolls und des Prüfplans, von der Ethikkommission der Medizinischen Fakultät der Universität Tübingen überprüft und genehmigt. Eine Projektnummer wurde von der Ethikkommission nicht vergeben. Für diese Art von Untersuchung ist laut der Ethikkommission keine Genehmigung von Nöten, da für die Datenerhebung keine zusätzlichen Maßnahmen und Messungen, wie z.B. Blutentnahmen oder das Legen von Kathetern, am Patienten erforderlich gewesen sind. (Formulierung)

2.1. Durchführung der Datenerhebung

Die Daten wurden prospektiv zwischen Januar 2003 und Juli 2003 auf den Intensivstationen der Universitätsklinik Tübingen A 5 Nord und A 5 Ost erhoben. Insgesamt wurden 61 beatmete Patienten unterschiedlicher Genese und unterschiedlicher Krankheitsbilder in die Studie aufgenommen.

Mit dem folgenden Protokoll wurden alle Transporte begleitet und protokolliert:

Innerklinische Studie mit dem Oxylog 3000 / Servo 300:

Geschlecht: **männlich** weiblich Geburtsdatum: _____ Uhrzeit: ____:____

Patientenstatus vor Transport	
Führende Diagnose:	_____
Wurde der Patient sediert zum Transport:	nein ja (wenn ja warum?): _____
Verlegungsgrund/-ziel:	CT OP Stationswechsel Verlegungstransport Sonstige
Beatmungsgerät:	Servo 300 Servo 900 Evita 4 Galileo
Beatmungsmodus vor Transport:	CMV PCV ASB BIPAP CPAP PEEP >15: __
Blutgasanalyse (vor Transport):	EtCO ₂ : ___ mmHg SpO ₂ : ___ BGA: hinten Anheften!!! pH: ___ paCO ₂ : ___ mmHg paO ₂ : ___ Fi O ₂ : ___ Horowitzindex paO ₂ / FiO ₂ : ___
Ventilation vor Transport:	AF / BF ___ /min AMV ___ l/min FiO ₂ ___ I:E ___ : ___ PEEP ___ cmH ₂ O Druckunt. ___ cmH ₂ O
Kreislauf vor Transport:	RR ___ / ___ mmHg HF/min ___

Patientenstatus nach Adaption an den Oxylog 3000 / Servo 300	
Beatmungsmodus während Transport:	IPPV IPPV Assist. SIMV SIMV / ASB BIPAP BIPAP / ASB CPAP CPAP / ASB PEEP: __
Blutgasanalyse nach Adaption an den Oxylog:	EtCO ₂ : ___ mmHg SpO ₂ : ___ BGA: hinten Anheften!!! pH: ___ paCO ₂ : ___ mmHg paO ₂ : ___ Fi O ₂ : ___ Horowitzindex paO ₂ / FiO ₂ : ___
Ventilation während Transport:	AF / BF ___ /min AMV ___ l/min FiO ₂ ___ I:E ___ : ___ PEEP ___ cmH ₂ O Druckunt. ___ cmH ₂ O
Kreislauf während Transport:	RR ___ / ___ mmHg HF/min ___

Patientenstatus 1 h nach Anschluss an das Stationäre Beatmungsgerät	
Beatmungsmodus nach Transport:	CMV PCV ASB BIPAP CPAP PEEP >15: __
Blutgasanalyse (nach Transport):	EtCO ₂ : ___ mmHg SpO ₂ : ___ BGA: hinten Anheften!!! pH: ___ paCO ₂ : ___ mmHg paO ₂ : ___ Fi O ₂ : ___ Horowitzindex paO ₂ / FiO ₂ : ___
Ventilation nach Transport:	AF / BF ___ /min AMV ___ l/min FiO ₂ ___ I:E ___ : ___ PEEP ___ cmH ₂ O Druckunt. ___ cmH ₂ O
Kreislauf nach Transport:	RR ___ / ___ mmHg HF/min ___

Technisches Handling des Oxylog 3000 / Servo 300: (Bewertung nach Schulnoten)	
Bedienungskonzept	1 2 3 4 5 6 Alarmierungssystem optisch 1 2 3 4 5 6
Displaylesbarkeit	Alarmierungssystem akustisch
Akkukapazität	Zielgerichtete Beatmungsformen
Reinigung	

Sonstige Bemerkungen:

Name Arzt: _____

Abb. 11 : Studienprotokoll der vorliegenden Untersuchung

2.2. Ein- und Ausschlusskriterien

Einschlusskriterium in die Studie war eine bereits bestehende künstliche Beatmung von intensivpflichtigen Patienten, die für die Dauer des Verlegungstransportes auf die Fortführung der künstlichen Beatmung zwingend angewiesen waren.

Ausschlusskriterien für die Teilnahme an der Studie stellten ein Alter <18 Jahre und eine bestehende Schwangerschaft dar.

Eine selektive Auswahl der Patienten fand nicht statt, da nicht vorhersehbar war, welcher Patient wann beatmet transportiert werden wird.

Für die Dauer der Untersuchung wurde die Tübinger-Intensivtransport-Einheit, die regulär mit dem Beatmungsgerät Siemens Servo 300 ausgerüstet ist, von Mitarbeitern der Medizintechnikabteilung der Universitätsklinik Tübingen auf das Beatmungsgerät Oxylog 3000 der Firma Dräger Medical AG & Co. KGaA umgerüstet, sodass von diesem Zeitpunkt an sämtliche beatmete Patienten mit dem Oxylog 3000 beatmetet wurden und diese Transporte protokolliert werden konnten.

Nachdem das Beatmungsgerät Oxylog 3000 zeitlich nicht mehr zur Verfügung stand, wurde die Tübinger-Intensivtransport-Einheit wieder auf das vorherige Beatmungsgerät Servo 300 umgebaut und im Anschluss daran die anfallenden Transporte mit dem Servo 300 begleitet und ebenfalls protokolliert.

Für sämtliche Patienten waren für die Probengewinnung der Blutgasanalyse keine zusätzlichen invasiven Maßnahmen erforderlich, da unabhängig von der Studie alle beatmeten Patienten auf den anaesthesiologischen Intensivstationen einen arteriellen und venösen Katheter haben. Daher konnten die Blutproben für die Blutgasanalyse ohne jegliche Belastung des Patienten gewonnen werden.

2.3. Die medizintechnische Einweisung des Personals

Vor Beginn der Durchführung von Verlegungstransporten mit dem Oxylog 3000 wurden sowohl das ärztliche Personal, wie auch das Pflegepersonal beider Intensivstationen in die Handhabung und den Umgang mit dem Oxylog 3000 nach Medizinproduktegesetz eingewiesen. Dadurch stand ein gut geschultes ärztliches und pflegerisches Personal zur Verfügung. Dadurch war eine kompetente und gleichwertige Bedienung beider Beatmungsgeräte gewährleistet.

2.4. Das Beatmungsgerät Servo 300 der Siemens Medical AG

Der Servo 300 der Siemens Medical AG wurde für die Beatmung in der Intensivpflege entwickelt und ist für die Behandlung aller Patienten, vom Neugeborenen bis zum Erwachsenen, geeignet.

Das Gerät bietet sieben verschiedene Beatmungsformen. Mit dem so genannten Automode ist eine patientengetriggerte Beatmung möglich. Falls der Patient aufhört zu atmen, schaltet das Gerät wieder auf die kontrollierte Beatmung um.

Das Gerät wird mit medizinischer Druckluft aus der Flasche oder der zentralen Gasversorgung betrieben. Die Sauerstoffmischung ist im Gerät integriert und von 21 - 100 % stufenlos einstellbar.

Das Gewicht des Servo 300 beträgt ca. 24 Kg. Der PEEP ist von 0 - 50 mbar einstellbar. Die Betriebszeit mit Akku beträgt ca. 30 Minuten.

Wichtige Beatmungsparameter werden in verschiedenen Displays konstant angezeigt. Die verschiedenen Parameter der Beatmung können direkt über separate Drehsteller eingestellt werden.

Der Servo 300 ist mit einem Alarmsystem ausgestattet, welches die vitalen Beatmungsparameter ständig überwacht. Die Alarmsignale werden zum einen optisch durch farbiges Blinken, so wie akustisch gemeldet.

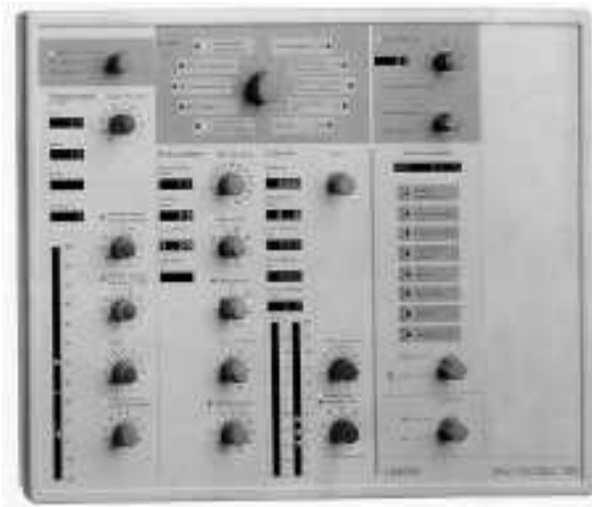


Abb. 12 : Servo 300 der Maquet



Abb. 13: Oxylog 3000 der Dräger Medical AG

2.5. Das Beatmungsgerät Oxylog 3000 der Dräger Medical AG & Co.KG

Der in Abbildung 13 dargestellte Oxylog 3000 der Fa. Dräger Medical AG & Co. KGaA ist ein zeitgesteuertes, volumenkonstantes und druckkontrolliertes Notfall- und Transportbeatmungsgerät. Das Gerät ist für die Beatmung von Kindern und Erwachsenen geeignet.

Er ist ausgestattet mit den Standardbeatmungsverfahren für volumenkontrollierte- und druckgesteuerte Beatmungsverfahren. Das Gerät ist zusätzlich mit dem biphasischen Beatmungsmodus BIPAP, sowie für die Nichtinvasive Ventilation (NIV) zur Maskenbeatmung und Apnoe-Ventilation ausgestattet.

Das Gerät wird mit Sauerstoff, im Ausnahmefall mit Druckluft, aus Flasche oder einer zentralen Gasversorgung betrieben.

Die Sauerstoffmischung ist im Gerät integriert und zwischen 40 und 100 % stufenlos einstellbar.

Die wichtigen Parameter Tidalvolumen, Frequenz, Pmax und O₂-Konzentration können direkt durch separate Drehsteller eingestellt werden, während weitere Parameter über die Displayeinstellungen mit einem multifunktionalen Drehknopf verändert werden können.

Der Oxylog 3000 ist mit einem intuitiven Alarmmanagement ausgestattet, das die vitalen Beatmungsparameter überwacht. Das endexpiratorische Minutenvolumen wird gemessen und nicht berechnet. Alarmsignale werden sowohl akustisch, als auch optisch durch Textanzeige auf dem Bildschirm gemeldet.

Das Gerät kann wahlweise mit einem wieder verwendbaren Beatmungsset oder Einwegbeatmungsmaterial betrieben werden.

Das Gewicht des Gerätes beläuft sich auf 4,5 kg. Der PEEP ist von 0 - 20 mbar einstellbar. Das integrierte Display zeigt Flow- oder Druckkurven an. Sämtliche Parameter lassen sich nacheinander in einer Messwertzeile ablesen.

Das Gerät arbeitet mit einem Sicherheitskonzept gemäß EN794-3 (Norm für Notfall- und Transportbeatmungsgeräte).

2.6. Vergleich der wichtigsten Funktionen beider Beatmungsgeräte

Parameter	Oxylog 3000	Servo 300
Volumenkontrolliert	ja	ja
Druckkontrolliert	ja	ja
Durckreguliert volumenkontrolliert	ja	ja
SIMV	ja	ja
SIMV druckkontrolliert	ja	ja
Druckunterstützt	ja	ja
BIPAP	ja	nein
I:E	1:4 bis 3:1	1:9 bis 4:1
Frequenzspektrum CMV	5 - 60/min	5 - 150/min
Frequenzspektrum SIMV	2 - 60/min	0,5 - 40/min
FiO2	0,4 - 1,0	0,21 - 1,0
Atemzugvolumen	0,05 - 2,0	0,002 - 4,0
Inspirationszeit	0,2 - 10 sec	10 - 80% des Atemzyklus
Max.Inspirationsdruck kontrolliert	3 - 75 mbar	0 - 100 mbar
Max.Inspirationsdruck Spontanatmung	3 - 75 mbar	0 - 100mbar
PEEP	0 - 20 mbar	0 - 50 mbar
Peak-Flow	100 l/min	200 l/min
Flow Messung	In- und expiratorisch	In- und expiratorisch

Flow Trigger	Automatisch	Automatisch
Apnoe Backup	ja	ja
Alarmsignal	optisch, akustisch	optisch, akustisch
Diskonnektionsalarm	ja	ja
Pmax.Alarm	ja	ja
Leckage Alarm	ja	ja
Batteriekapazität	ca. 4 h	max.30 min.
Anzeige Ladestatus	ja	nein
Alarm der Entladung	ja	ja
Ladedauer		ca. 10 h
Gewicht	4,9kg	24kg

Tabelle 4: Funktionsvergleich zwischen Oxylog 3000 und Servo 300

2.7. Die Anschaffungs - und Wartungskosten der beiden Beatmungsgeräte

Sowohl bei der Deutschen Rettungsflugwacht e. V. (DRF), wie auch in der Universitätsklinik Tübingen wird momentan der Servo 300 zur Verlegung von intensivpflichtig beatmeten Patienten eingesetzt.

Während der Anschaffungspreis für ein Intensivbeatmungsgerät, wie der Servo 300, zwischen EUR 20.000.- und 30.000.- liegt, kostet der Oxylog 3000 je nach Konfiguration zwischen EUR 14.000 und 15.000.-.

Ein weiterer Punkt, der für den Einsatz eines Transportrespirators anstelle eines Intensivrespirators spricht, sind die Wartungskosten.

Während z.B. der Intensivrespirator Servo 300 laut Herstellerangaben alle 6 Monate von einem Servicetechniker im Rahmen einer Sicherheitstechnischen Kontrolle (STK) überprüft werden muss, so ist dies bei dem Transportrespirator Oxylog 3000 nur alle 2 Jahre notwendig.

Auf Anfrage bei der Firma Siemens AG und der Dräger Medical GmbH, sind zurzeit für die STK incl. der auszu-tauschenden Ersatzteile folgende Kosten pro STK fällig (ohne Anfahrtskosten des Servicetechnikers):

- Servo 300 pro STK / ca. EUR 600.-
- Oxylog 3000 pro STK / ca. EUR 336.-

Durch die unterschiedlichen Prüfintervalle der vorgeschriebenen STK bei den beiden Respiratoren entstehen ohne weitere Reparaturen bei dem Servo 300 ca. EUR 1.200.- Wartungskosten pro Jahr und bei dem Oxylog 3000 ca. EUR 168.- Wartungskosten pro Jahr.

Der Servo 300 benötigt zum Antrieb des Respirators medizinische Druckluft. Diese zusätzlichen Kosten für Druckluftflaschen und deren permanente Füllung fallen bei dem Oxylog 3000 nicht an, da dieser mit dem Atemgas angetrieben werden kann.

2.8. Beschreibung der „Tübinger - Intensivtransport - Einheit“

Die Tübinger-Intensivtransport-Einheit wurde entwickelt, um beatmete Patienten, die z.B. zur weiteren Diagnostik transportiert bzw. innerklinisch verlegt werden müssen, genau so adäquat und am besten unter den selben Bedingungen wie auf der Intensivstation, sowohl technisch als auch personell, verlegen zu können.

Ziel ist, dass dem Patient durch den Verlegungstransport keine zusätzlichen Belastungen zuteil kommen. Die Tübinger- Intensivtransport- Einheit steht jederzeit für das transportbegleitende Personal (meistens Facharzt für Anaesthesiologie und Intensivfachpflegekraft) einsatzbereit zur Verfügung. Es ist dringend erforderlich, dass die Transporteinheit 24 Stunden am Tag voll einsatzfähig ist. Daher muss sie nach einem Verlegungstransport umgehend wieder einsatzbereit gemacht werden. Es muss gewährleistet sein, dass die Akkus der Geräte stets genügend Energie gespeichert haben und alle Geräte tadellos funktionieren. Eine Auswahl der wichtigsten Medikamente in ausreichender Menge muss griffbereit sein.

Mittlerweile wurde eine weitere „Tübinger – Intensivtransport – Einheit“ angeschafft, um Engpässe im Ablauf des Klinikalltages zu verhindern.

Somit stehen jetzt zwei dieser Transporteinheiten rund um die Uhr zur Verfügung und es können bis zu zwei beatmete Patienten gleichzeitig verlegt werden, vorausgesetzt die personelle Situation lässt es zu.

2.9. Beschreibung der anaesthesiologischen Intensivstationen A 5 Nord und A 5 Ost der Universitätsklinik Tübingen

Auf den beiden anaesthesiologisch geführten Intensivstationen der Universitätsklinik Tübingen A 5 Nord und A 5 Ost stehen insgesamt 24 Beatmungsplätze zur Verfügung.

Die intensivpflichtigen Patienten werden in Zwei- und Vier-Bett-Zimmern betreut und versorgt.

Alle Patienten benötigen eine umfangreiche Überwachung lebenswichtiger Funktionen und darüber hinaus eine unterschiedlich aufwendige Intensivtherapie, bis die beeinträchtigten Organfunktionen wieder hergestellt sind.

Rund um die Uhr sind Intensivfachkräfte und Ärzte für Anaesthesiologie tätig und gewährleisten somit eine adäquate Versorgung und Betreuung der Patienten.

Auf den beiden Intensivstationen werden Patienten der Allgemeinchirurgie, der Herz-Thoraxchirurgie, der Neurochirurgie, sowie der Orthopädie, Urologie, Gynäkologie, Zahn-Mund-Kieferchirurgie und HNO versorgt.

Ebenso werden hier polytraumatisierte Patienten mit Kopf – und/oder Bauchbeteiligung aufgenommen und versorgt.



Abb. 14: Tübinger- Intensiv- Transport- Einheit des Universitätsklinikums Tübingen mit dem Beatmungsgerät Oxylog 3000

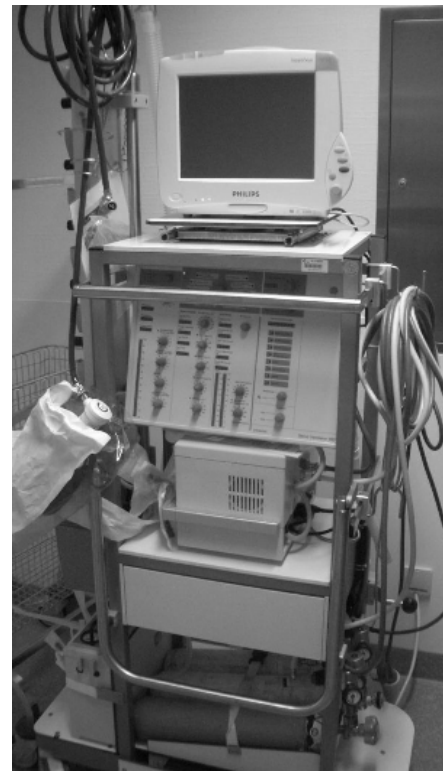


Abb. 15: Tübinger- Intensiv- Transport- Einheit des Universitätsklinikums Tübingen mit dem Beatmungsgerät Servo 300

2.10. Die Versuchsdurchführung

2.10.1. Beschreibung eines innerklinischen Transportes

Sobald sich ein Transport auf der Intensivstation abzeichnete, wurde die Transporteinheit mit Monitor und Beatmungsgerät überprüft und zum Patientenbett gebracht. Am Patientenbett wurden Perfusoren, Infusionen und Drainagen an der Transporteinheit befestigt, sowie eventuell während des Transportes benötigte Medikamente aufgezogen.

Die Blutgasanalyse (BGA) „vor dem Transport“ wurde immer 15 Minuten vor dem Anschließen des Beatmungsgerätes der Transporteinheit abgenommen und umgehend gemessen. Ebenfalls vor dem Wechsel auf das Beatmungsgerät der Transporteinheit wurden alle Parameter der Beatmung wie z.B.

„Beatmungsmodus vor dem Transport“ oder der eingestellte FiO_2 vom stationären Beatmungsgerät abgelesen und im Studienprotokoll festgehalten.

Nachdem der Patient an das Beatmungsgerät der Intensivtransport- Einheit angeschlossen war, wurden die Beatmungsparameter optimal eingestellt und der Patient richtig gelagert. Trotz Umlagerung wurde der Patient weiterhin vollständig über die Geräte der Transporteinheit versorgt und beatmet.

Die Parameter „während dem Transport“ wurden während des Transports protokolliert und die BGA „während dem Transport“, noch vor dem Anschluss an das stationäre Beatmungsgerät abgenommen und am selben Gerät wie die vor dem Transport abgenommene BGA gemessen.

Nach der BGA-Abnahme „während dem Transport“ wurde der Patient wieder an das zuvor verwendete stationäre Beatmungsgerät angeschlossen.

Nach einer Stunde wurde die BGA „nach dem Transport“ abgenommen und die Beatmungsparameter „nach dem Transport“ vom stationären Monitor bzw. vom Beatmungsgerät abgelesen und protokolliert.

Zur Durchführung der Blutgasanalysen, sowie die Protokollierung der Parameter wurden sämtliche Transporte von einer zusätzlichen Person begleitet.

Die Person, die für die Protokollierung der Parameter und die Durchführung der Blutgasanalyse zuständig war, wurde vor Studienbeginn mehrfach vom Personal der Intensivstation in die Durchführung der Blutgasanalyse eingewiesen und nahm an den Einweisungen der beiden Beatmungsgeräte nach Medizinproduktegesetz teil.

2.11. Die Blutgasanalyse in der Intensivmedizin

Von größter Bedeutung für die Lebensfähigkeit von Zellen ist eine möglichst konstante Wasserstoffionenkonzentration (H^+), da viele biochemische Regelkreise wie Zellpermeabilität, Enzymaktivität und die Erregbarkeit von Nerven- und Muskelzellmembranen vom pH-Wert abhängig sind. Der pH-Wert des arteriellen Plasmas wird vom menschlichen Körper konstant zwischen 7,38 und 7,40 gehalten.

Der pH-Wert ist neben dem Kohlendioxid-Partialdruck und dem Sauerstoff-Partialdruck einer der drei Basisparameter bei Blutgasanalysen. Störungen im Säure-Basen-Gleichgewicht können respiratorisch, metabolisch oder auch gemischter Art sein. Entsprechend setzen pulmonale bzw. renale Kompensationsmechanismen ein, deren Wirkungsweise vom aktuellen pH-Wert angezeigt wird. Der $p\text{CO}_2$ gilt als ein Maß für den respiratorischen Einfluss auf das Säure-Basen-Gleichgewicht und der $p\text{O}_2$, der wesentlich den Gasaustausch in der Lunge beschreibt, dient zur Beurteilung der Sauerstoffversorgung des Gewebes.

Blutgasanalytoren haben ihren festen Platz in der klinischen Diagnostik und in der Überwachung ateminsuffizienter Patienten, bei der Kontrolle der künstlichen Beatmung sowie in der Intensivbehandlung. Die Geräte arbeiten meist vollautomatisch und sind für eine ständige Einsatzbereitschaft ausgelegt. Sie dienen zur Beurteilung des Säure-Basen-Gleichgewichtes sowie zur Kontrolle der Sauerstoff-Aufnahme und der Kohlendioxid-Entsorgung.

Im Zuge der allgemeinen Dezentralisierung der Krankenhäuser wird der klassische Labor-Standort der Blutgasanalytoren heute zunehmend zu Gunsten so genannter dezentraler, patientennaher Standorte (POCT = Point-of-Care Testing) abgelöst.

Der Aufbau eines Blutgasanalytators besteht im Wesentlichen aus folgenden Komponenten: Einer, entsprechend der menschlichen Körpertemperatur, auf 37°C thermostatisierten Elektroden-Messeinheit, einer Einheit des „Liquid-Handlings“, die mit Hilfe kleiner Pumpen in definierten Intervallen Kalibrier- und Reinigungs-prozeduren durchführt und für die Spülung der Probenwege verantwortlich ist, sowie einem mikroprozessorbasierten Computer als Steuer- und Recheneinheit, der selbständig Funktionsprüfungen vornimmt und das Zusammenspiel aller Analytatorabläufe koordiniert. Dazu gehört die Darstellung der Messergebnisse, die Berechnung weiterer Parameter und eine umfangreiche Datenverwaltung.



Abb. 16: Blutgasanalysegerät der Radiometer Copenhagen AG

Die Entwicklung zeigt, dass die konventionellen Blutgasanalysatoren mit den Parametern pH, $p\text{CO}_2$ und $p\text{O}_2$ zusehends von kleinen „Minilabors“ abgelöst werden. Mit diesen Analysatoren können heute aus einer Blutprobe bis zu 17 Parameter gemessen werden, unter anderem Elektrolyte, Glucose, Lactat, Bilirubin und Hämoglobin und deren Derivate.

2.12. Anforderungen an ein Blutgasanalysegerät auf der Intensivstation

In der heutigen Intensivmedizin sollte ein Blutgasanalysegerät folgende Eigenschaften haben:

- Interferenzerkennung und -unterdrückung
- genau messende Glucose-Elektrode
- lange Haltbarkeit der Glucose und Lactat-Membranen
- Zuverlässigkeit des Oxymeters
- Wartungsfreies Oxymeter

Dadurch hat der Anwender folgenden Nutzen:

- korrekte Ergebnisse → schnelle Diagnose nach nur einer Messung möglich → verbesserte Patientenpflege → niedrigere Kosten
- geringerer Wartungsaufwand → weitere Kostenersparnis
- Zuverlässigkeit → höhere Messbereitschaft des Analysators
→ verbesserte Patientenpflege
- Wartungsfreiheit → mehr Zeit für Messungen

Die Blutgasanalyse gestattet es, Aussagen über den Säure-Base-Haushalt und den Gasaustausch zu treffen. Mit Hilfe der direkt gemessene Werte pH, Sauerstoffpartialdruck (pO_2), Kohlendioxidpartialdruck (pCO_2), O_2 -Sättigung und Hämoglobinkonzentration ist es möglich, so genannte abgeleitete Werte wie die Bikarbonationenkonzentration, die Basenabweichung und den Sauerstoffgehalt des Blutes zu berechnen.

Die modernen Blutgasanalysegeräte sind mikroprozessorgesteuert, die selbstständig Funktionsprüfungen der wichtigsten Module durchführen und nach definierten Intervallen Kalibrations- und Reinigungsprozeduren durchlaufen. Kernstücke sind die pH-Gaselektrode, die pO_2 -Elektrode nach Stow-Severinghaus und die pO_2 -Elektrode nach Clark. Die Messprinzipien dieser Elektroden beruhen auf elektrochemischen Reaktionen, die sich an der Grenzfläche zwischen Festkörpern (Elektrode) und Flüssigkeiten (z.B. Plasma) abspielen. Die Größe der dabei auftretenden Ströme (pO_2 -Messung) und Spannungen (pH und pCO_2 -Messung) sind der Wassestoffionenkonzentrationen bzw. den Partialdrücken von CO_2 und O_2 proportional. Bei den so genannten „Elektroden“ handelt es sich genau genommen um Einstabmessketten, in deren Stromkreis neben der eigentlichen Messelektrode immer auch eine Bezugselektrode integriert ist. Die zur Analyse benötigte Zeit beträgt etwa 60 Sekunden. Das Probenvolumen für die Blutgasanalyse liegt zwischen 30 und 240 μl . Durch die Mitbestimmung des Hb und dessen Untertypen sowie der Elektrolyte kann das benötigte Gesamtprobenvolumen auf ca. 400 μl steigen.

Der wichtigste Teil eines Blutgasanalysators ist das Mess-System. Die kontinuierliche Weiterentwicklung der Sensortechnik bietet heute dem Anwender unterschiedliche Messtechniken, wobei die klassischen Methoden der Potentiometrie und Amperimetrie zur Zeit am häufigsten Verwendung finden.

Das elektrochemische Messsystem besteht aus einer Kammer, die drei Messelektroden (pH-Glaselektrode, pCO_2 -Elektrode nach Severinghaus, pO_2 -Elektrode nach Clark) enthält und entsprechende Referenzelektroden.

2.12.1. Direkt gemessene Parameter der Blutgasanalyse

Für die Diagnose von Störungen im Säure-Basen-Haushalt misst das Blutgasanalysegerät direkt den pH und $p\text{CO}_2$ und berechnet so genannte abgeleitete Parameter, wie z.B. die Bikarbonationenkonzentration und die Basenabweichung.

2.12.1.1. Der pH-Wert

Der pH-Wert ist der negative dekadische Logarithmus der Wasserstoffionenkonzentration. Der Normbereich im Plasma beträgt arteriell: 7,35 - 7,45 und venös: 7,32 - 7,38. Der pH-Wert des Plasmas hängt nach der Henderson-Hasselbach-Gleichung vom Verhältnis der Bikarbonat- zur CO_2 -Konzentration ab.

2.12.1.2. Der $p\text{CO}_2$ -Wert

Ähnlich wie beim Sauerstoff setzt sich der Gesamt- CO_2 -Gehalt des Blutes ($\text{TCO}_2 = \text{CO}_2$) aus einem physikalisch gelösten Anteil und einem in chemischer Bindung befindlichen Anteil zusammen: 85% des CO_2 wird chemisch gebunden in Form von HCO_3^- transportiert (65% im Plasma, 20% in den Erythrozyten) Der Normbereich für den $p\text{CO}_2$ liegt bei arteriell: 34 - 45 mmHg und venös: 42 - 50 mmHg.

2.12.1.3. Der $p\text{O}_2$ -Wert

Der Begriff der O_2 -Sättigung des Hämoglobins nimmt unter den Oxygenierungsparametern eine zentrale Rolle ein. Das Gesamt-Hb setzt sich aus verschiedenen Fraktionen zusammen. Von diesen kommen nur das Oxyhämoglobin und das Desoxyhämoglobin für den Sauerstofftransport in Frage. Methämoglobin und Carboxihämoglobin sind für den reversiblen Sauerstofftransport unbrauchbar. Der Partialdruck eines Gases in einem

Gasgemisch richtet sich nach seinem fraktionellen Anteil am Gasgemisch und dem Gesamtdruck des Gasgemisches, in dem es sich befindet. Treibende Kraft für den alveolären Gasaustausch ist die Partialdruckdifferenz zwischen Alveole und gemischtvenösem Blut. Wenn Gas und Plasma im Gleichgewicht miteinander stehen, dann müsste der Partialdruck eines Gases im Plasma der endkapillären Lungenstrombahn dem Gaspartialdruck in der Alveole entsprechen. Idealerweise wäre damit der alveoläre pO_2 gleich dem arteriellen pO_2 . Zwischen dem alveolären und arteriellen pO_2 besteht jedoch schon bei jungen, lungengesunden, kreislaufstabilen Menschen bei Raumluftatmung eine geringe Differenz von etwa 5 - 10 mmHg, bei Älteren sogar bis zu 30 mmHg. Diese alveoloarterielle pO_2 -Differenz beruht unter anderem darauf, dass selbst in der gesunden Lunge einzelne Alveolarbezirke ungenügend ventiliert werden, ihre Perfusion aber andererseits erhalten geblieben ist. Der Normbereich des pO_2 liegt arteriell zwischen 71 – 104 mmHg und venös zwischen 35 - 40 mmHg.

2.12.1.4. Die Sauerstoffsättigung (SpO_2)

Die Sauerstoffsättigung kann heutzutage entweder über einen Lichtsensor peripher gemessen werden oder mittels der Blutgasanalyse bestimmt werden. Bei der Pulsoxymetrie muss man beachten, dass es hier zu falsch hohen Werten kommen kann, wenn erhöhte COHb und/oder MetHb-Fractionen vorliegen, wobei die modernen Multiwellenlängen-CO-Oxymeter in der Lage sind, zwischen Oxyhämoglobin, Desoxyhämoglobin, Methämoglobin, und zu Carboxihämoglobin zu unterscheiden und somit die tatsächliche Sauerstoffsättigung berechnen können. Normalwerte der Sauerstoffsättigung: arteriell 94 – 98%, venös: 54 – 69%

2.12.2. Abgeleitete Parameter der Blutgasanalyse

Mit Hilfe der direkt gemessenen Parameter ist es möglich weitere Werte für die Beurteilung des Säure-Basen-Haushalt zu berechnen.

Die Standardbikarbonatkonzentration und die Basenabweichung („Base Excess“) dienen der Identifikation einer metabolischen Störung des Säure-Basen-Haushaltes.

2.12.2.1. Die Standardbikarbonatkonzentration

Die Standardbikarbonatkonzentration ist definiert als die in-vitro-Bikarbonatkonzentration des vollständig oxygenierten Plasmas bei 37°C und einem pCO₂ von 40 mmHg. Durch die „Normalisierung“ des pCO₂ auf 40 mmHg ist eine nun noch verbleibende Abweichung der Bikarbonationenkonzentration vom Normalwert (22 – 26 mmol) Ausdruck einer nicht respiratorischen (metabolischen) Störung des Säure-Basen-Haushaltes.

2.12.2.2. Die Basenabweichung („Actual Base Excess“)

Die aktuelle Basenabweichung gibt an, wie viele mmol einer starken Säure oder Base nötig sind, um eine Blutprobe bis zum normalen pH von 7,4 bei einem pCO₂ von 40 mmHg und einer Temperatur von 37°C zu titrieren.

Sind pH, Hb und pCO₂ bekannt, kann die Basenabweichung dem Säure-Basen- Normogramm von Siggaard-Andersen entnommen oder vom Blutgasanalysegerät berechnet werden.

Die Basenabweichung („Base Excess“) liegt im Bereich zwischen - 3 bis + 3.

2.12.3. Die Messprinzipien des Säure-Basen-Haushaltes

Es gibt zwei verschiedene Messprinzipien, die bei den Elektroden der Blutgasanalysegeräte von Radiometer Copenhagen, mit denen die Blutgasanalysen durchgeführt wurden, verwendet werden.

- **Potentiometrie:** Die elektrische Spannung einer Elektrodenkette wird mittels eines Voltmeters registriert und auf die Konzentration der Probe bezogen (Nernst-Gleichung).

- **Amperometrie:** Der durch eine Elektrodenkette fließende elektrische Strom wird mittels eines Amperemeters registriert.

Dieser Strom ist seinerseits proportional der Konzentration der Substanz, die an einer Elektrode der Kette oxidiert oder reduziert wird.

Diese beiden Messprinzipien werden auf den nachfolgenden Seiten ausführlich beschrieben.

2.12.3.1. Das Potentiometrische Messprinzip

Dieser Abschnitt beschreibt das Prinzip der potentiometrischen Messungen, bei denen sich die Spannung einer Elektrodenkette, die von einem Voltmeter registriert wird, auf die Konzentration einer Substanz bezieht (Nernst-Gleichung).

Die Elektrodenkette

Eine Elektrodenkette wird beschrieben durch eine elektrische Schaltung, die aus einer Probe, Elektrode, Referenzelektrode, einem Voltmeter, Membranen und Elektrolytlösungen besteht.

Das nachfolgende Diagramm ist eine allgemeine Darstellung einer potentiometrischen Elektrodenkette:

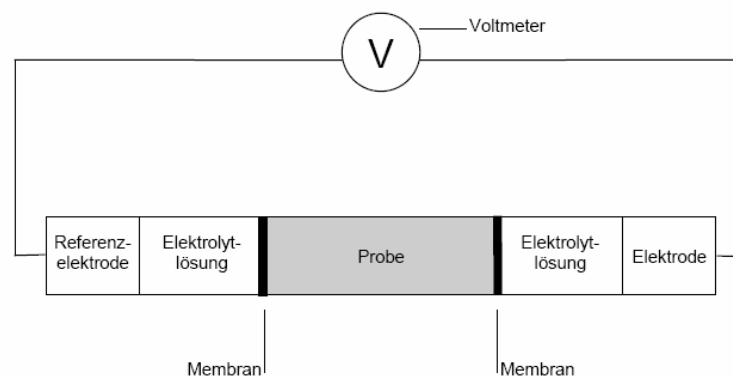


Abb. 17: Allgemeine Darstellung einer potentiometrischen Elektrodenkette

Die Spannung der Elektrodenkette

Jedes Element in der Elektrodenkette trägt mit einer Spannung zu der Gesamtspannung in der Kette bei. Wenn in der entsprechenden Elektrolytlösung angebracht, weisen beide Elektroden separate Spannungen auf.

Die Membranbrücken zwischen der Probe und den Elektrolytlösungen weisen auch separate Spannungen auf.

Die Spannung der ganzen Elektrodenkette ist somit die Summe dieser separaten Spannungen und die vom Voltmeter gemessene Größe.

Die Bestimmung der Spannungen

Indem man die Elektrodenkette so aufbaut, dass alle außer einer Spannung konstant und bekannt sind, kann die letzte unbekannte Spannung (E_{sample}) berechnet werden, da man die Spannung der ganzen Elektrodenkette (E_{total}) und die Standardspannung (E_0) kennt.

$$E_{\text{total}} = E_0 + E_{\text{sample}}$$

Nernst-Gleichung

Nach Messung der unbekanntenen Spannung (E_{sample}) wird die Nernst-Gleichung dann zur Bestimmung der Aktivität (a_x) der untersuchten Spezies benutzt:

$$E_{\text{sample}} = E_0 + \frac{2.3RT}{nF} \log a_x$$

wobei:

- E_0 = Die Standardspannung der Elektrodenkette, welche die Elektrode, die empfindlich für die Spezies x ist, umfasst.
- R = Gaskonstante ($8.3143 \text{ JK}^{-1}\text{mol}^{-1}$)
- T = Absolute Temperatur (K)
- n = Ladung der Spezies x
- F = Faradaysche Konstante (96487 Cmol^{-1})
- a_x = Aktivität der Spezies x

Die Anwendung

Das potentiometrische Messprinzip wird bei pH-, $p\text{CO}_2$ - und Elektrolyt-Elektroden verwendet. Für die $p\text{CO}_2$ -Elektrode ist es jedoch geringfügig anders, da hier die Nernst-Gleichung nicht direkt angewandt werden kann.

2.12.3.2. Das Amperometrische Messprinzip

Dieser Abschnitt beschreibt das Prinzip der amperometrischen Messungen, bei denen sich der durch eine Elektrodenkette fließende Strom auf die Konzentration einer Substanz bezieht, die an einer Elektrode der Kette oxidiert oder reduziert wird.

Die Elektrodenkette

Die Elektrodenkette wird durch eine elektrische Schaltung beschrieben, die aus der Probe, zwei Elektroden (Anode und Kathode), einem Amperemeter, einer Spannungsquelle, den Membranen und den Elektrolytlösungen besteht.

Das folgende Diagramm zeigt eine allgemeine Darstellung einer amperometrischen Elektrodenkette:

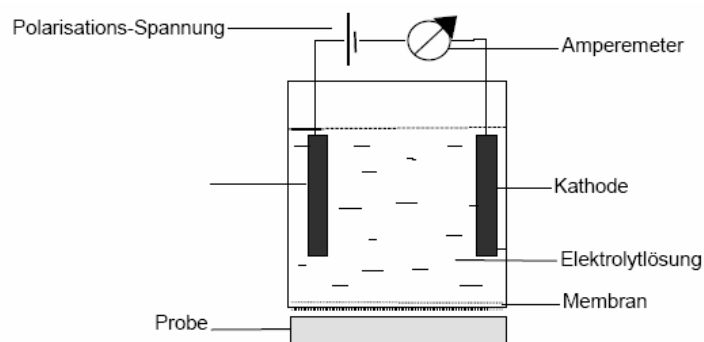


Abb. 18: Allgemeine Darstellung einer amperometrischen Elektrodenkette

Die folgende Tabelle beschreibt die Funktion der einzelnen Teile:

Teil	Funktion
Amperemeter	Misst den durch die Schaltung fließenden Strom.
Elektrolytlösung	Stellt den elektrischen Kontakt zwischen der Anode und der Kathode her.
Kathode	Negativ geladene Elektrode, bei der eine Reduktionsreaktion erfolgt und Elektronen verbraucht werden.
Membran	Erlaubt den diesbezüglichen Molekülen, von der Probe hindurchzudiffundieren.
Probe	In Kontakt mit der Membran.
Anode	Positiv geladene Elektrode, bei der eine Oxidationsreaktion erfolgt und Elektronen abgegeben werden.
Polarisations-Spannung	Liefert die für die untersuchte Reduktions- oder Oxidationsreaktion erforderliche Spannung.

Tabelle 5: Funktion der einzelnen Teile der amperometrischen Elektrodenkette

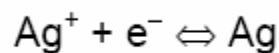
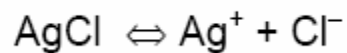
Anwendung

Das amperometrische Messprinzip wird bei den pO_2 -Elektroden angewandt.

2.12.3.3. Die Referenzelektrode

Der Zweck der Referenzelektrode ist, ein stabiles, festes Potential zu erzeugen, damit im Vergleich andere Potential-Differenzen gemessen werden können.

Das Potential an der Referenzelektrode wird nicht von der Probenzusammensetzung geändert, sondern es wird ein festes Potential an der Referenzelektrode gemäß den folgenden Gleichgewichtsreaktionen aufrechterhalten:



Diese Reaktionen sind möglich, da die Elektrode aus einem mit Silberchlorid beschichteten Silberstift konstruiert ist.

Die Referenzelektrode wird bei Messung der pH- und Elektrolyt-Parameter benutzt.

Folgendes ist ein schematisches Diagramm einer Referenzelektrode, wie sie in der ABL 700-Serie von Radiometer Copenhagen benutzt wird:

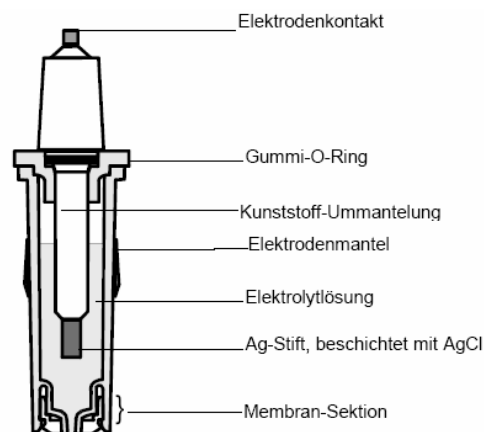


Abb. 19: Schematische Darstellung einer Referenzelektrode

Die nachstehende Tabelle beschreibt die Teile der Referenzelektrode:

Teil	Beschreibung
Elektrodenkontakt	Vergoldeter Kontakt.
Kunststoff-Ummantelung	Insolziert den nicht-arbeitenden Teil des Silberstifts und hält ihn in Position.
Gummi-O-Ring	Versiegelt die Elektrodeneinheit und den Elektrodenmantel, um eine Verdampfung oder Leckage der Elektrolytlösung zu verhindern.
Elektrodenmantel	Schützt den beschichteten Ag-Stift und enthält die Elektrolytlösung.
Elektrolytlösung	Stellt einen elektrischen Kontakt zwischen dem beschichteten Ag-Stift und der Probe her. <i>Ist weiter unten beschrieben.</i>
Membran-Teil	Unterscheidet zwischen den Partikeln, die in den und aus dem Elektrodenmantel diffundieren. <i>Ist umseitig beschrieben.</i>
Ag-Stift, beschichtet mit AgCl	Begründet das Ag/Ag ⁺ Gleichgewicht, welches das Referenzpotential bestimmt.

Tabelle 6: Funktion der einzelnen Teile der Referenzelektrode

2.12.3.4. Die Elektrolytlösung

Die Elektrolytlösung wirkt als eine Salzbrückenlösung, die einen elektrischen Kontakt zwischen dem beschichteten Ag-Stift und der Probe aufrechterhält.

Die Lösung ist eine 4 M-Natriumformiat-Lösung (HCOONa), die mit Hydrochloridsäure auf pH 5,5 justiert ist.

Die Chloridkonzentration in der Elektrolytlösung ist entsprechend der Chloridkonzentration in der Spüllösung justiert, um den Cl⁻ Austausch über die Membran zu reduzieren und somit ein stabileres Potential zu erhalten.

Der Membran-Teil besteht aus drei separaten Membranen, die nachstehend beschrieben sind.

Membranschicht	Zweck
Innere	Zur Begrenzung der Diffusion durch die Membran und zur Stabilisierung des ganzen Membransystems.
Mittlere	Zur Vermeidung von Proteininterferenz.
Äußere	Zur Reduzierung des Austauschs von Probe oder Spüllösung und Elektrolytlösung.

Tabelle 7: Aufbau der Membran an einer Messelektrode

2.12.4. Die Messung des pH-Wertes

Die pH- Messung erfolgt mittels einer pH-Elektrode. Die pH- und Referenzelektroden befinden sich in einer Natriumbikarbonatlösung. Diese Lösung ist durch eine CO_2 - permeable Membran von der Blutprobe getrennt. Der CO_2 der Messprobe diffundiert durch die Membran und ändert den pH-Wert der Bikarbonatlösung (HCO_3^-), wobei eine Proportionalität zwischen pH-Änderung und dem $p\text{CO}_2$ besteht. Die Messung des pH erfolgt mittels der Potentiometrie, wobei eine Potentialdifferenz zwischen einer Referenzelektrode und einer Messelektrode mit einem Voltmeter registriert wird und diese auf die Konzentration der H^+ -Ionen der Probe bezogen werden kann. Das Herz der Messanordnung ist die Glaselektrode.

An der pH- sensitiven Glasmembran der Elektrode bilden sich Potentialdifferenzen aus, die dem pH- Unterschied zwischen der zu untersuchenden Messlösung (Blut) und der in der Elektrode vorhandenen inneren Bezugslösung mit bekannten pH-Wert proportional ist. Als Referenzelektrode mit konstantem Potential dient meist eine Ag/AgCl-Elektrode. Sie steht über eine gesättigte KCl- Lösung (KCl- Brücke) mit dem Blut in Verbindung.

Die folgenden Graphik zeigt die schematischen Darstellung einer pH - Messkette:

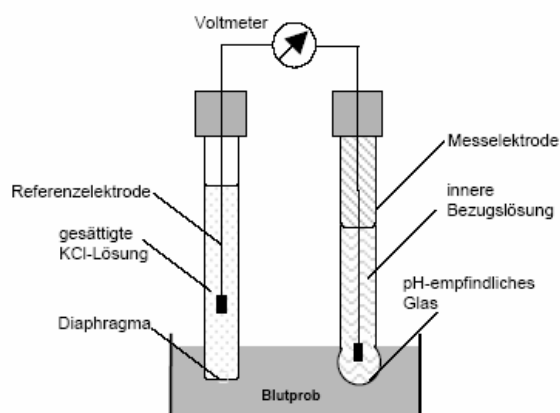


Abb. 20: Schematische Darstellung einer pH-Messkette

2.12.4.1. Die pH- Elektrode

Die pH-Elektrode besteht aus einem mit Silberchlorid beschichtetem Silberstift, der in Pufferlösung eintaucht, einer pH-empfindlichen Glasmembran an der Elektrodenspitze, welche die Lösung versiegelt, und einem Elektrodenmantel, der die Elektrode schützt.

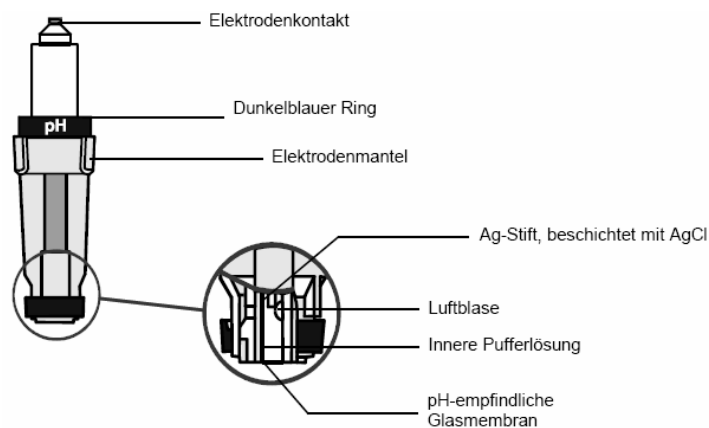


Abb. 21: Schematischer Aufbau einer pH-Elektrode

Die nachstehende Tabelle beschreibt die Teile der pH-Elektrode:

Teil	Beschreibung
Elektrodenkontakt	Vergoldeter Kontakt.
Dunkelblauer Ring	Farbkodierung der pH-Elektrode.
Elektrodenmantel	Kunststoff-Ummantelung zum Schutz der Elektrode.
Ag-Stift, beschichtet mit AgCl	Stift zur Herstellung des elektrischen Kontakts zwischen der Pufferlösung und dem Ag/Ag^+ Gleichgewicht zur Aufrechterhaltung eines stabilen Potentials.
Luftblase	Ermöglicht eine Ausdehnung der Innenpuffer-Lösung, wenn die Elektrode auf 37 °C thermostatisiert wird.
Innenpuffer-Lösung	Lösung mit konstantem und bekanntem pH.
pH-empfindliche Glasmembran	Ionenaustausch-Membran, die für H^+ Ionen empfindlich ist.

Tabelle 8: Funktion der einzelnen Teile einer pH-Elektrode

2.12.4.2. Das Messprinzip der pH-Elektrode

Die Elektrodenkette (oder der elektrische Stromkreis) zur Messung des pH-Wertes ist im folgenden Diagramm dargestellt:

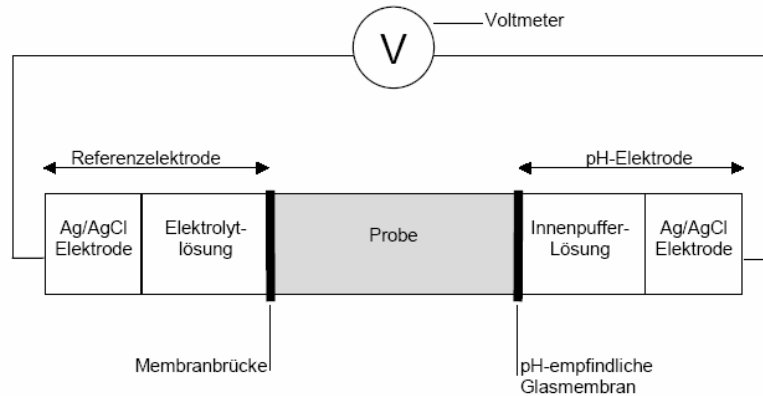


Abb. 22: Schematische Darstellung des Messprinzips einer pH-Elektrode

Die Gesamtspannung über der Elektrodenkette ist die Summe der Potentialdifferenzen an jedem Element in der Kette. Alle Werte außer einer Spannung sind bekannt und konstant.

Dies ist in der nachfolgenden Tabelle beschrieben:

Element	Spannung	Symbol
Ag/AgCl-Elektrode /Elektrolytlösung. (Referenzelektrode)	Bekannt und konstant, wenn der Ag/AgCl-Stift in Elektrolytlösung eintaucht.	E_{ref}
Membranbrücke zwischen der Elektrolytlösung in der Referenzelektrode und der Probe.	Bekannt und konstant. Unabhängig von der Probenzusammensetzung.	E_{MJ}
pH-empfindliche Glasmembran, welche die Probe von der pH-Elektrode trennt.	Unbekannt. Abhängig von der Probenzusammensetzung.	E_{Sample}
Ag/AgCl-Elektrode/ Innenpuffer-Lösung. (pH-Elektrode)	Bekannt und konstant, wenn der Ag/AgCl-Stift in Innenpuffer-Lösung eintaucht.	E_E
Gesamtspannung	Vom Voltmeter gemessen.	E_{tot}

Tabelle 9: Schematische Darstellung der Potentialdifferenzen der Gesamtspannung

Die unbekannte Potentialdifferenz über der pH- empfindlichen Glasmembran ist die Differenz zwischen der gemessenen Gesamtspannung und der Summe der der bekannten Spannungen:

$$E_{\text{sample}} = E_{\text{total}} - (E_{\text{ref}} + E_{\text{MJ}} + E_{\text{E}}) \quad \text{mV}$$

Die pH- empfindliche Glasmembran

Die Potentialdifferenz über der Glasmembran entsteht als eine Konsequenz der Änderung des Ladungsgleichgewichts an der Membran.

Die Glasmembran ist für H⁺-Ionen empfindlich, da sie die Fähigkeit hat, H⁺-Ionen auszutauschen.

Die Metallionen des Glases werden auf beiden Seiten der Membran mit Protonen von der Innenpuffer-Lösung auf der einen Seite und von der Probe auf der Außenseite ausgetauscht. Der Ionenaustausch auf den beiden Seiten der Membran ist unterschiedlich, wenn die H⁺-Konzentration (und somit der pH) auf beiden Seiten nicht gleich groß ist. Dadurch entsteht ein Ungleichgewicht in der Ladung. Die Zahl an positiv und negativ geladenen Ionen ist nicht länger die gleiche, weshalb sich die Potentialdifferenz über der Membran ändert.

Wenn die H⁺-Konzentrationen auf den beiden Seiten der Membran gleich groß sind, wird die Potentialdifferenz theoretisch 0 mV betragen.

Die Potentialdifferenz über der Glasmembran in der pH- Elektrode kann durch die Nernst-Gleichung ausgedrückt werden:

$$E_{\text{sample}} = E_0 + \frac{2.3RT}{nF} \times \log a_{\text{H}^+} \quad \text{mV}$$

wobei:

E_0 = Standardelektrodenpotential

R = Gaskonstante (8.3143 JK⁻¹mol⁻¹)

T = Absolute Temperatur (310 K (37 °C))

n = Ladung des Ions

F = Faradaysche Konstante (96487 C mol⁻¹)

a_{H^+} = H⁺ Aktivität

Abb.23: Nernst-Gleichung und ihre einzelnen Komponenten

Die theoretische Empfindlichkeit der pH-Elektrode bei 37°C ist –61,5 mV pro pH-Einheit unter Anwendung von $\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$ und bei Umwandlung der Konzentration in Aktivität, kann die Nernst-Gleichung wie folgt ausgedrückt werden:

$$E_{\text{sample}} = E_0 - 61.5 \times \text{pH} \quad \text{mV}$$

Wie in der obigen Gleichung für H^+ gezeigt, gibt die Messung der Spannung der jeweiligen Elektrodenketten einen Aktivitätswert für die jeweiligen Ionen in der Probe. Die Aktivität der jeweiligen Ionen wird automatisch vom Analysator in einen Konzentrationswert umgewandelt.

2.12.5. Die Messung des Kohlendioxidpartialdrucks pCO_2

Die Messung des pCO_2 erfolgt mittels H-Elektrode. pH- und Referenzelektrode befinden sich in einer Natriumbikarbonatlösung. Diese Lösung ist durch eine CO_2 -permeable Membran von der Blutprobe getrennt. Der CO_2 der Messprobe diffundiert durch die Membran und ändert den pH-Wert der Bikarbonatlösung (HCO_3^-), wobei eine Proportionalität zwischen pH-Änderung und dem pCO_2 besteht.

Die folgende Graphik zeigt die schematische Darstellung einer CO_2 - Messkette:

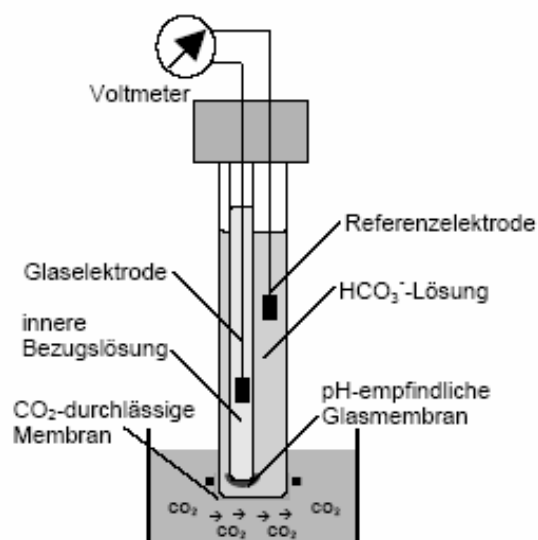


Abb. 24: Schematische Darstellung einer CO_2 -Messkette

2.12.5.1. Die $p\text{CO}_2$ -Elektrode

Die $p\text{CO}_2$ -Elektrode besteht aus einer pH- Elektrode und einer inneren Referenzelektrode, die in einer Einheit angebracht sind.

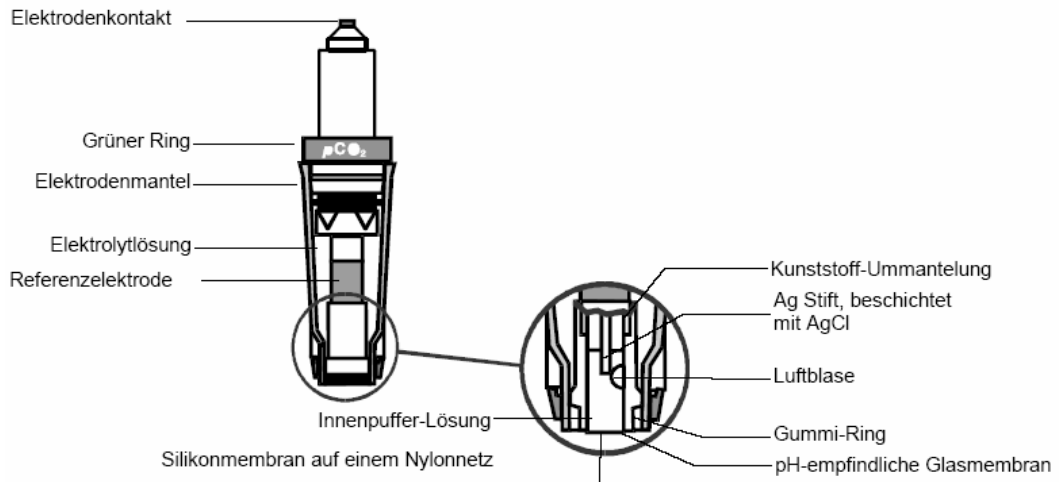


Abb. 25: Schematische Darstellung einer $p\text{CO}_2$ -Elektrode

Die nachstehende Tabelle beschreibt die Teile der $p\text{CO}_2$ -Elektrode:

Teil	Beschreibung
Elektrodenkontakt	Vergoldeter Kontakt.
Grüner Ring	Farbkodierung der $p\text{CO}_2$ -Elektrode.
Elektrodenmantel	Hält die Elektrolytlösung und die Silikonmembran und schützt die ganze Elektrode.
Elektrolytlösung	Bikarbonat-Lösung, die auch Glycerin enthält zur Verhinderung eines Ansammelns von Luftblasen, stellt den elektrischen Kontakt zwischen der Probe und dem Ag-Stift her.
Referenzelektrode	Silberstift, der teilweise mit Silberchlorid beschichtet ist.
Kunststoff-Ummantelung	Trennt die pH-Elektrode von der Referenzelektrode.
Ag-Stift, beschichtet mit AgCl	Stift zur Herstellung des elektrischen Kontakts zwischen der Puffer-Lösung und dem Ag/Ag^+ -Gleichgewicht zur Aufrechterhaltung eines stabilen Potentials.
Luftblase	Ermöglicht eine Ausdehnung der Innenpuffer-Lösung, wenn die Elektrode auf $37\text{ }^\circ\text{C}$ thermostatisiert wird.

Tab. 10: Funktion der einzelnen Teile einer $p\text{CO}_2$ -Elektrode

2.12.5.2. Das Messprinzip der $p\text{CO}_2$ -Elektrode

Die Elektrodenkette (oder der elektrische Stromkreis) zur Messung von $p\text{CO}_2$ ist im folgenden Diagramm illustriert:

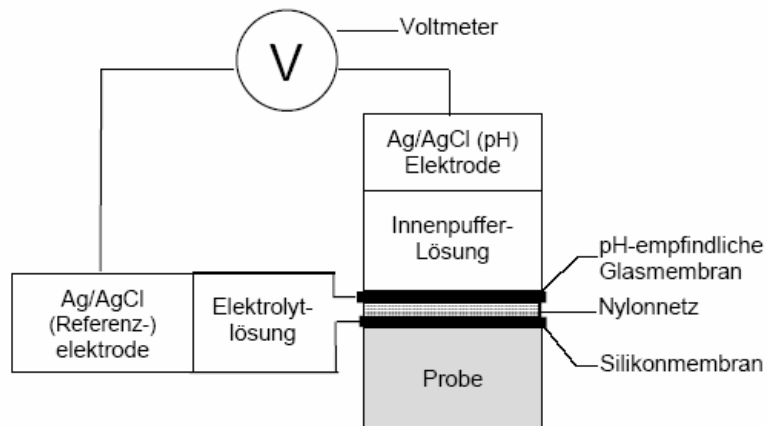


Abb. 26: Schematische Darstellung der Elektrodenkette zur Messung von $p\text{CO}_2$

Die Potentialdifferenzen an allen Grenzen in der Elektrodenkette sind, mit Ausnahme der Spannung an der pH-empfindlichen Glasmembran, bekannt und konstant.

Die Potentialdifferenz an der pH-empfindlichen Glasmembran hängt von dem pH-Wert der im Nylonnetz der Silikonmembran eingeschlossenen Elektrolytlösung ab, der wiederum von dem CO_2 -Gehalt der Probe abhängig ist.

Im Folgenden wird das Messverfahren einer $p\text{CO}_2$ -Elektrode dargestellt:

Transport von CO_2 :	CO_2 diffundiert durch die Silikonmembran
Auflösung von CO_2 :	CO_2 löst sich in der Elektrolytlösung, die im Nylonnetz der Silikonmembran eingeschlossen ist, auf.
	Dies produziert Kohlensäure: $\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{CO}_3$
Dissoziation der Kohlensäure:	Kohlensäure dissoziiert gemäß der folgenden Gleichgewichtsreaktion: $\text{H}_2\text{CO}_3 \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{H}_2\text{CO}_3^-$

pH-Änderung:	Die Freisetzung der H ⁺ -Ionen ändert die H ⁺ -Konzentration und somit den pH-Wert der Lösung auf der einen Seite der pH-empfindlichen Glasmembran
Messung der Spannung:	Der Konzentrationsgradient der H ⁺ -Ionen auf der anderen Seite der Membran beeinflusst die Potentialdifferenz über der Glasmembran. Die Änderung der Spannung über der Glasmembran wird vom Voltmeter gemessen.
Umwandlung der Spannung:	Die Nernst-Gleichung wird zur Umwandlung des Spannungswertes in einen pH-Wert angewandt: $E_{\text{glass}} = E_0 - 61.5 \text{pH mV}$ wobei: E_{glass} = Die Potentialdifferenz über der Glasmembran E_0 = Die Standard - Elektrodenpotentialspannung 61.5mV = Die theoretische Empfindlichkeit der pH-Elektrode bei 37 ° C
Verhältnis des pH zu pCO ₂ :	Der pH-Wert bezieht sich durch die folgende Formel auf den pCO ₂ -Partialdruck in der Probe: $\text{pH} = \text{pK}_a + \log \frac{c\text{HCO}_3^-}{p\text{CO}_2 \alpha_{\text{CO}_2}}$ <p style="margin-left: 40px;">$\text{pK}_a = -\log K_a$, die Gleichgewichtskonstante für die Dissoziation von Kohlensäure in Wasser¹. α_{CO_2} = Der Löslichkeitskoeffizient von CO₂ in Wasser.</p>

2.12.6. Die Messung des Sauerstoffpartialdrucks pO₂

Die Messung des Sauerstoffpartialdrucks beruht auf dem Prinzip der Polarographie und wird mit einer Clark-Elektrode gemessen.

Zwischen der Anode und Kathode wird eine Spannung (- 600 bis - 700 mV) angelegt, die ausreicht, den Sauerstoff, der durch eine gasdurchlässige Membran diffundiert, an einer Platinkathode zu reduzieren.

Zwischen Anode und Kathode entsteht ein Reduktionsstrom, der proportional dem Sauerstoff in der Blutprobe ist.

Die folgende Graphik zeigt die schematische Darstellung einer pO_2 - Messkette:

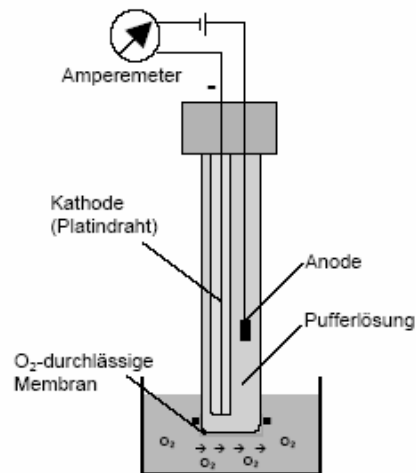


Abb.27: Schematische Darstellung einer pO_2 - Messkette

2.12.6.1. Die pO_2 - Elektrode

Die pO_2 -Elektrode besteht aus einer Silberanode und einer Platinkathode, die von einem mit Elektrolytlösung gefüllten Elektrodenmantel geschützt sind. An der Spitze des Elektrodenmantels gibt es eine sauerstoffdurchlässige Membran.

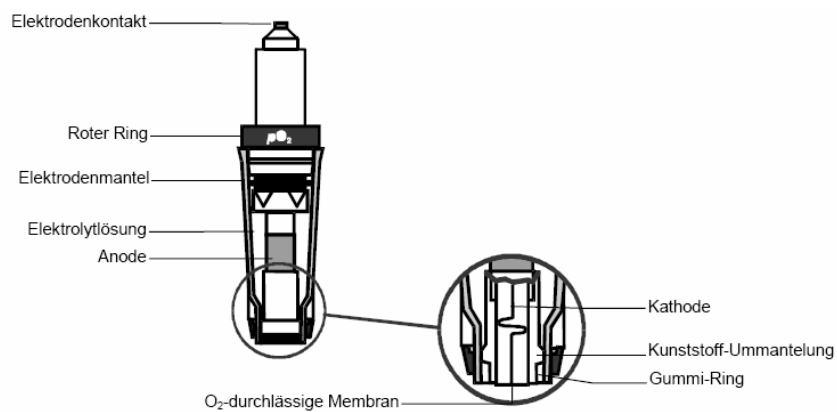


Abb. 28: Schematische Darstellung einer pO_2 - Elektrode

Die nachstehende Tabelle beschreibt die Teile der pO_2 -Elektrode:

Teil	Beschreibung
Elektrodenkontakt	Vergoldeter Kontakt.
Roter Ring	Farbkodierung der pO_2 -Elektrode.
Elektrodenmantel	Hält die Elektrolytlösung und die Membran und schützt die ganze Elektrode.
Elektrolytlösung	Phosphat-Pufferlösung, die den elektrischen Kontakt zwischen der Anode und der Kathode herstellt.
Anode	Silberstift, der teilweise mit Silberchlorid beschichtet ist.
Kathode	Platindraht in Glas, der von einer Kunststoff-Ummantelung geschützt ist.
Kunststoff-Ummantelung	Trennt die Platindraht-Kathode von der Anode.
Gummi-Ring	Bildet ein Siegel zwischen dem Elektrodenmantel und der Kunststoff-Ummantelung rund um die Kathode zur Verhinderung einer Leckage der Elektrolytlösung.
O_2 durchlässige Membran	Die am Elektrodenmantel angebrachte Polypropylen-Membran, durch die O_2 zu der Kathode diffundiert.

Tabelle 11: Funktion der einzelnen Teile einer pO_2 -Elektrode

Die O_2 durchlässige Membran bildet die Spitze des Elektrodenmantels.

2.12.6.2. Messprinzip der pO_2 -Elektrode

Die Elektrodenkette (oder der elektrische Stromkreis) zur Messung von pO_2 ist im folgenden Diagramm illustriert:

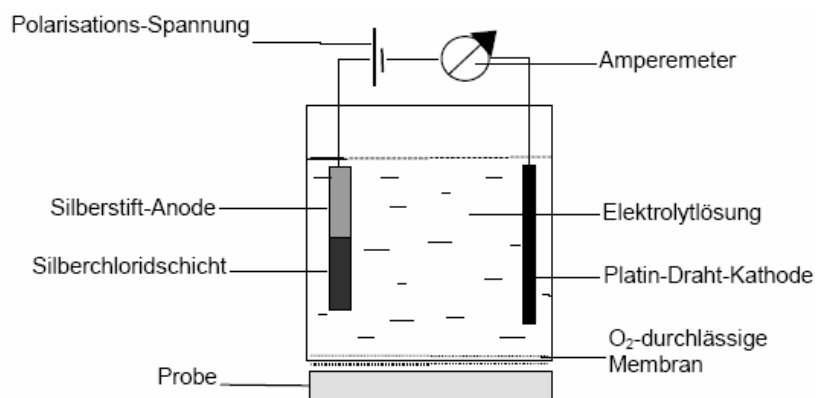


Abb. 29: Schematische Darstellung einer pO_2 - Messkette

Die nachstehende Tabelle beschreibt die Funktion der Teile in dem obigen Diagramm:

Teil	Funktion
Amperemeter	Misst den durch die Schaltung fließenden Strom in Ampere.
Elektrolytlösung	Stellt den elektrischen Kontakt zwischen der Anode und der Kathode her. Enthält einen Puffer zur Aufrechterhaltung eines konstanten pH. Enthält Cl^- -Ionen, um Ag^+ -Ionen von der Lösung zu entfernen.
Platin-Draht-Kathode	Reduziert O_2 .
O_2 -durchlässige Membran	Erlaubt, dass O_2 von der Probe zu der Kathode transportiert wird.
Probe	In Kontakt mit der Membran der Elektrode.
Platin-Schwarz-Katalysator	Wandelt Wasserstoffperoxid, das durch eine unvollständige O_2 -Reduktion erzeugt wird, in Wasser und Sauerstoff um.
Silberchlorid-Schicht	Eine Folge von dem Entfernen der Ag^+ Ionen von der Lösung durch eine Reaktion mit Cl^- .
Silberstift-Anode	Oxidiert Ag.
Polarisations-Spannung	Liefert die für die O_2 -Reduktion erforderliche Spannung.

Tabelle 12: Funktion der einzelnen Teile einer pO_2 - Messkette

2.13. Die Oxymetrie in den Geräten von Radiometer Copenhagen

In den Geräten von Radiometer Copenhagen wird die Oxymetrie mit einem 128-Wellenlängen-Spektrophotometer durchgeführt. Dadurch werden mögliche Interferenzen durch mögliche Substanzen, die die Richtigkeit der Oxymetrieparameter beeinträchtigen können, automatisch korrigiert.

Das 128-Wellenlängen-Spektrometer misst eine große Bandbreite von Oxymetrieparametern, einschließlich Bilirubin in Vollblut.

Da die Messung von Fetalhämoglobin ebenfalls möglich ist, sind die Geräte der ABL 700 Serie ebenfalls eine ideale Wahl für neonatologische Intensivstationen.

Die Spektren der üblichen Interferenzen sind in der Software der ABL700 Serie hinterlegt. Der Analysator vergleicht das Modellspektrum mit dem gemessenen Spektrum und jegliche Abweichungen, verursacht durch Interferenzen wie z. B. durch Lipide, Farbstoffe, HbF etc., werden erkannt und unterdrückt.

So wird eine hohe Richtigkeit der Messwerte gewährleistet.

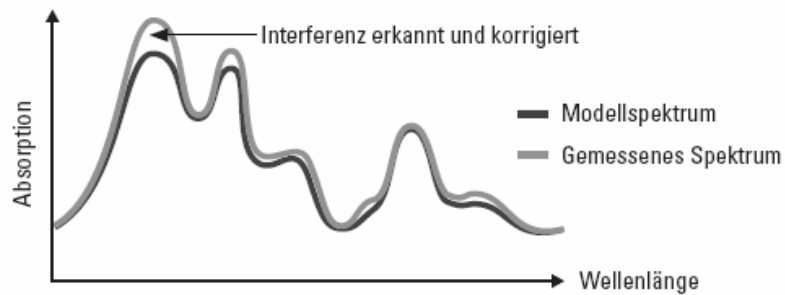


Abb. 30: Vergleich des Modellspektrums mit dem gemessenen Spektrum

Die 128 Wellenlängen liefern ein präzises Spektralbild. Durch den Vergleich des Modellspektrums mit dem gemessenen Spektrum werden Interferenzen erkannt und in der Folge unterdrückt.

Das Oxymeter der Radiometergeräte hämolysiert Blutproben mittels Ultraschallwellen in der Messküvette selbst. Dadurch muss das Blut nach der Hämolysierung nicht mehr weitertransportiert werden. So wird verhindert, dass sich der zu messende Probenanteil mit nicht hämolysiertem Blut vermischt.

Dadurch wird die maximale Richtigkeit gewährleistet.

Bei vielen Analysatoren stellen Blutgerinnsel im Oxymeter ein häufig auftretendes

und ernsthaftes Problem dar. Die Oxymeter von Radiometer Copenhagen hingegen verhindern die Bildung von Gerinnseln auf Grund der Hämolysierung innerhalb der Küvette.

Die Messküvette zerstört potentielle Gerinnsel während der Hämolysierung durch Ultraschall. Der Aufbau des Oxymeters der ABL700 Serie verhindert vollständig die Bildung von Luftblasen, da die Ultraschall-Hämolysierung in der Küvette unter Überdruck stattfindet. Der Überdruck von 1 bar wird nicht nur während des Hämolysierungsvorgangs aufrechterhalten, sondern bis zum vollständigen Abschluss der Messung. Dadurch wird die Genauigkeit der Messung verbessert.

Nach jeder Messung erfolgt eine Reinigung der Glaswände der Küvette durch Ultraschall. Dabei werden Ablagerungen verhindert, bevor sie entstehen. Das Glas der Küvette muss dadurch nicht ersetzt werden. Dadurch bleibt das Oxymeter vollständig wartungsfrei.

Zur Messung von Gesamthämoglobin, Sauerstoff-Sättigung, Hämoglobin-Derivaten, Fetalhämoglobin-Fraktion und Gesamtbilirubin-Gehalt in Humanblut ist das optische System des Analysators der ABL700-Serie bestimmt.

Folgenden Oxymetrieparameter sind verfügbar:

Parameter	Beschreibung
ctHb	Gesamthämoglobin-Konzentration
sO ₂	Sauerstoff-Sättigung
FO ₂ Hb	Oxyhämoglobin-Fraktion
FCOHb	Carboxyhämoglobin-Fraktion
FHHb	Desoxyhämoglobin-Fraktion
FMetHb	Methämoglobin-Fraktion
FHbF	Fetalhämoglobin-Fraktion
ctBil	Gesamtbilirubin-Konzentration in Plasma

Tabelle 13: Verfügbare Oxymetrieparameter der ABL700-Serie von Radiometer Copenhagen

2.14. Das optische System

Das optische System misst die Konzentrationen der Hämoglobin-Derivate. Es ist aber deren relative Konzentration in der Probe, d.h. die Fraktion von dem gesamten Hämoglobingehalt, die sie einnehmen, die tatsächlich berichtet wird.

Das optische System besteht aus einer Lampeneinheit, einem Hämolysator mit eingeschlossener Küvette und einem Spektrometer.

Das optische System basiert auf einem 128-Wellenlängen-Spektrometer (Spektrophotometer) mit einem Messbereich von 478 - 672 nm. Das Spektrometer ist mit Hilfe einer Fiberoptik mit einer kombinierten Hämolysator- und Messkammer verbunden.

Es folgt eine schematische Darstellung und Beschreibung des optischen Systems:

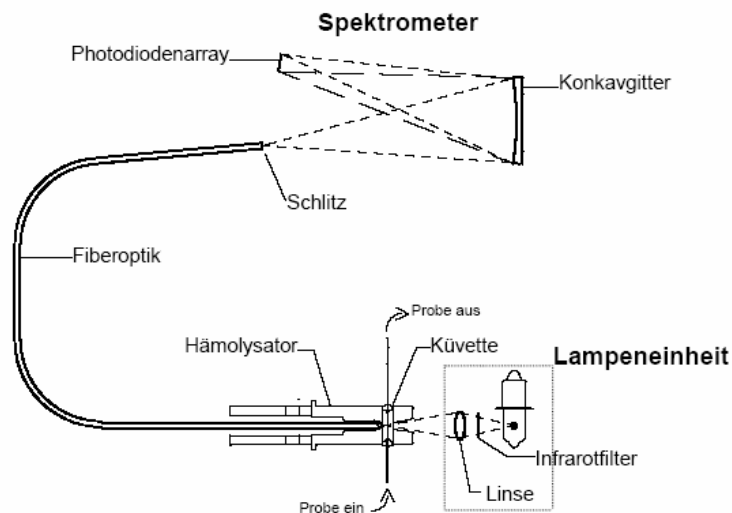


Abb. 31: Schematische Darstellung des optischen Systems

Die Methode, die zur Messung der Oxymetrieparameter in dem optischen System angewandt wird, ist die Absorptionsspektroskopie im sichtbaren Spektralbereich.

2.15. Die Absorptionsspektroskopie

Bei der Absorptionsspektroskopie wird Licht durch eine Küvette, welche die Blutprobe enthält, transmittiert. Die von der Probe absorbierte Lichtmenge, verglichen mit der Absorption von Wasser, wird von einem Spektrometer gemessen. Durch einen Vergleich des so erhaltenen Spektrums mit mathematisch berechneten Spektren können die Oxymetrieparameter und das Bilirubin abgeleitet werden.

Die Absorptionsspektroskopie basiert auf dem Lambert-Beerschen-Gesetz, laut dem die gemessene Absorption für eine einzelne Substanz der Konzentration der Substanz und der Länge des Lichtweges durch die Probe direkt proportional ist:

$$A_y^\lambda = \epsilon_y^\lambda \times c_y \times l$$

wobei:

A_y^λ = Die Absorption der Substanz y bei Wellenlänge $\tilde{\lambda}$

ε_y^λ = Der Extinktionskoeffizient der Substanz y bei Wellenlänge λ (eine Konstante, die der Substanz eigentümlich ist).

c_y = Die Konzentration der Substanz y in der Probe.

l = Die Länge des Lichtweges

Die Absorption (A) einer Substanz ist als der Logarithmus des Verhältnisses zwischen der Lichtintensität vor und nach der Transmission des Lichts durch die Substanz definiert.

In der Praxis ist sie der Logarithmus des Verhältnisses zwischen der Intensität des Lichts, das durch Wasser transmittiert wird, und der Intensität des Lichts, das durch die Substanz transmittiert wird:

$$A = \log \frac{I_0}{I}$$

wobei:

I_0 = Die Intensität des Lichts, das durch Wasser transmittiert wird.

I = Die Intensität des Lichts, das durch die Substanz transmittiert wird.

Bei Proben mit mehr als einer optisch aktiven Substanz ist die Gesamt-Absorption (A_{total}) die Summe der Absorptionen der einzelnen Substanzen, da die Absorption eine additive Größe ist. Wenn eine Probe z.B. 6 Substanzen enthält y_1, y_2, \dots, y_6 , ist die für diese Probe bei Wellenlänge λ_1 gemessene Gesamt-Absorption:

$$A_{\text{total}}^{\lambda_1} = A_{y_1}^{\lambda_1} + A_{y_2}^{\lambda_1} + A_{y_3}^{\lambda_1} + A_{y_4}^{\lambda_1} + A_{y_5}^{\lambda_1} + A_{y_6}^{\lambda_1} = l(\varepsilon_{y_1}^{\lambda_1} c_{y_1} + \varepsilon_{y_2}^{\lambda_1} c_{y_2} + \varepsilon_{y_3}^{\lambda_1} c_{y_3} + \varepsilon_{y_4}^{\lambda_1} c_{y_4} + \varepsilon_{y_5}^{\lambda_1} c_{y_5} + \varepsilon_{y_6}^{\lambda_1} c_{y_6})$$

Wenn es Y Substanzen gibt und Messungen bei n Wellenlängen durchgeführt werden, kann ein allgemeiner Ausdruck für A_{total} bei der Wellenlänge λ_n gebraucht werden:

$$A_{\text{total}}^{\lambda_n} = \sum_{y=1}^Y \varepsilon_y^{\lambda_n} \times c_y \times l$$

wobei: λ_n = die individuellen Wellenlängen

Ein kontinuierliches Spektrum kann graphisch als eine Funktion der Wellenlänge dargestellt werden und wenn die Abstände zwischen den Wellenlängen klein genug sind, wird ein kontinuierliches Spektrum gebildet.

Die Abbildung unten zeigt 3 Spektren: Reines O₂Hb, reines HHb in einer niedrigen Konzentration und ein Spektrum von 92 % oxygeniertem Hämoglobin, das durch das Addieren der Spektren O₂Hb und HHb erhalten ist.

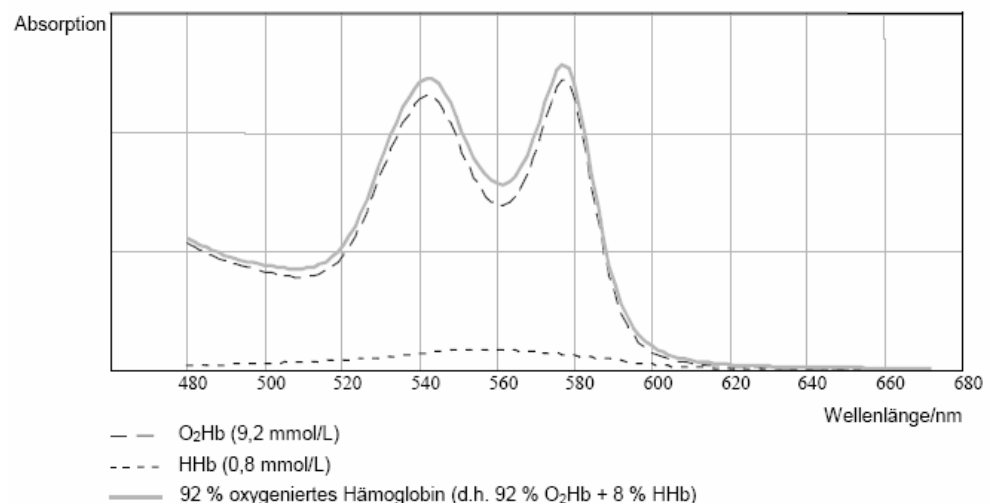


Abb. 32: Graphische Darstellung der verschiedenen Hb-Spektren

2.16. Korrektur von Störsubstanzen bei der Messung von Oxymetrie- parametern

Fetalhämoglobin und Nicht-Hämoglobinsubstanzen im Blut, die innerhalb desselben Wellenlängenbereiches, der zur Messung von Oxymetrieparametern und Bilirubin benutzt wird, Licht absorbieren, würden die wahren Spektren der Blutproben störend beeinflussen. Durch eine Unterdrückung der Spektren kompensiert das optische System in Blutgasanalysegeräten die häufigsten infrage kommenden Störsubstanzen.

Folgende andere Substanzen können die Oxymetrie negativ beeinflussen. Dadurch wird deren Interferenz bei Messung der Oxymetrie-Parameter kompensiert:

Intralipid (Trübung)

Sufhämoglobin (SHb)

Die Unterdrückung der Spektren der häufigsten Störsubstanzen erfolgt, je nach Substanz, nach zwei Methoden:

Entweder wird die Substanz in der Berechnung der Matrix der Konstanten K berücksichtigt. Dies gilt für Intralipide und Sufhämoglobin.

Oder die Substanz wird detektiert und das gemessene Spektrum dementsprechend korrigiert wird.

Dies gilt für das fetale Hämoglobin Hb [105-108].

2.17. Die Blutgasanalyse auf den Intensivstationen der Universitätsklinik Tübingen

Auf den Intensivstationen A 5 Nord und A 5 Ost der Universitätsklinik Tübingen kommen Blutgasanalysegeräte von Radiometer Copenhagen zum Einsatz.

Die Blutgasanalysen der Studie wurden mit den beiden Gerätetypen ABL 725 und ABL 625 durchgeführt.

Die Blutgasanalysen wurden am bereits vorhandenen arteriellen Zugang des Patienten abgenommen und hatten ein Volumen von ca. 2ml/Probe. Die Gesamtmenge des entnommenen Blutes betrug 3x2ml.

Vor Abnahme der BGA – Probe aus dem bereits liegenden arteriellen Zugang wurden 5 ml Blut entnommen, um eine Vermischung mit der Spüllösung zu vermeiden. Die Messung an der Radiometer Copenhagen Geräten wurde immer innerhalb von Minuten nach Abnahme durchgeführt.

2.18. Software

Zur Datenerfassung sowie die Ergebnisdarstellung am Personal Computer wurden die Programme MS Excel und MS Word verwendet. Für die Auswertung wurden Teile der deskriptiven Statistik angewendet.

3 Ergebnisteil

Eine statistisch signifikante Auswertung der Ergebnisse der vorliegenden Studie ist aufgrund der geringen Fallzahl nicht möglich. Um in einer vergleichenden Studie statistisch signifikante Ergebnisse zu bekommen, wäre eine weitaus höhere Fallzahl nötig gewesen. Die Fallzahl wurde dadurch limitiert, dass auf Wunsch der intensivmedizinischen Leitung sich das Beatmungsgerät Oxylog 3000 nicht den geplanten Zeitraum auf der Intensivtransporteinheit befand. Nach Durchführung von 34 Transporten mit dem Oxylog 3000 wurde die Transporteinheit für den Untersucher etwas überraschend wieder mit dem Servo 300 ausgerüstet, sodass keine weiteren Transporte mit dem Oxylog 3000 durchgeführt werden konnten.

Daher sei darauf hingewiesen, dass es sich bei den im Ergebnisteil angegebenen Prozentzahlen um nicht statistisch, signifikante Werte handelt.

3.1. Stichprobenanalyse

Insgesamt wurden $n = 67$ Patiententransporte innerhalb des Untersuchungszeitraumes begleitet und protokolliert. Die Daten von 6 Transporten mit dem Servo 300 konnten aufgrund unvollständiger Datenerhebung nicht in die Auswertung einbezogen werden. Keiner der Patienten verstarb während des Transports bzw. während der gesamten Untersuchungsphase vor, während und nach dem Transport.

Somit konnten 34 Transporte mit dem Oxylog 3000, sowie 27 Transporte mit dem Servo 300 in die Auswertung einfließen.

In den beiden Gruppen gab es folgende Geschlechterverteilung:



Abb. 33: Geschlechterverteilung des Patientenkollektives (n=61 Patienten)

Die Verteilung des Patientenalters ist in 10-Jahres-Schritten klassiert in Abbildung 34 dargestellt:

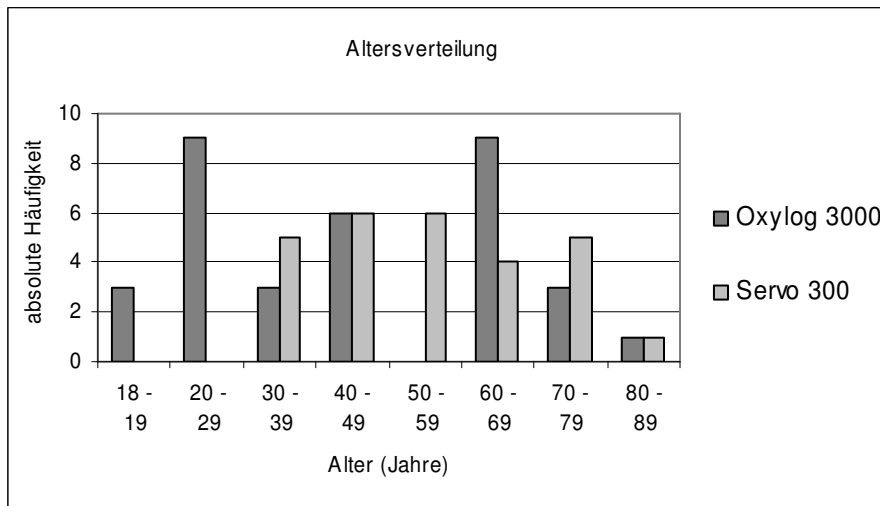


Abb. 34 : Altersverteilung des Patientenkollektives in Klassen (n = 61 Patienten)

Die Hauptdiagnosen der beiden Gruppen teilen sich wie folgt auf:

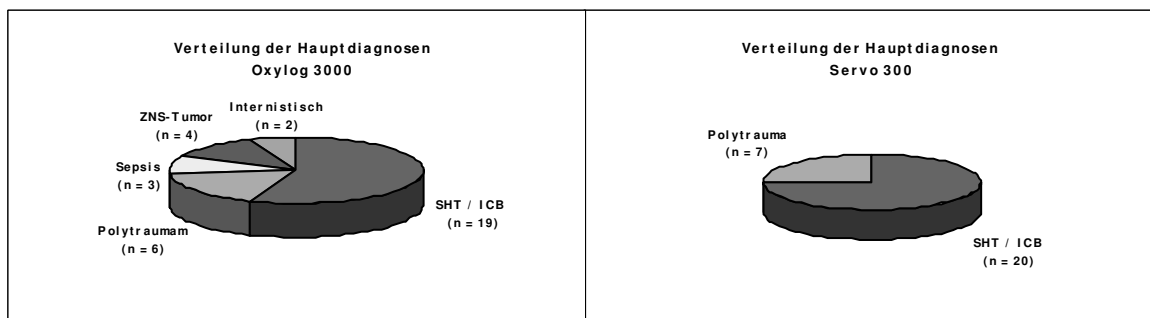


Abb. 35 : Verteilung der Hauptdiagnosen beider Beatmungsgeräte

Bei der Betrachtung der Hauptdiagnosen fällt auf, dass in beiden Patientengruppen verhältnismäßig viele Patienten mit einem Schädel-Hirn-Trauma waren. In dem Zeitraum, in dem sämtlich Verlegungstransporte mit dem Oxylog 3000 gemacht wurden, waren außer neurochirurgischen Patienten (n=19) auch Patienten mit Polytrauma (n=6), Sepsis (n=3), ZNS-Tumoren (n=4), sowie internistischen Krankheitsbildern (n=2).

Im Zeitraum, in dem alle Patienten während den Verlegungstransporten mit dem Servo 300 beatmet wurden, waren es sowohl Patienten mit der

Hauptdiagnose eines Schädel-Hirn-Traumas (n=20), wie auch Patienten mit einem Polytrauma (n=7).

Patienten mit einem Schädel-Hirn-Trauma benötigen sehr häufig Spezialverfahren, wie z.B. Computertomographie oder interventionelle Radiologie, die nur außerhalb der Intensivstation durchgeführt werden können. Dies erklärt den sehr hohen Anteil der Schädel-Hirn-Traumata bei den Hauptdiagnosen der transportierten Patienten.

In beiden Gruppen waren die beiden führenden Hauptdiagnosen Schädel-Hirn-Trauma und Polytrauma.

Die verschiedenen Transportziele der Verlegungstransporte teilen sich wie folgt auf:

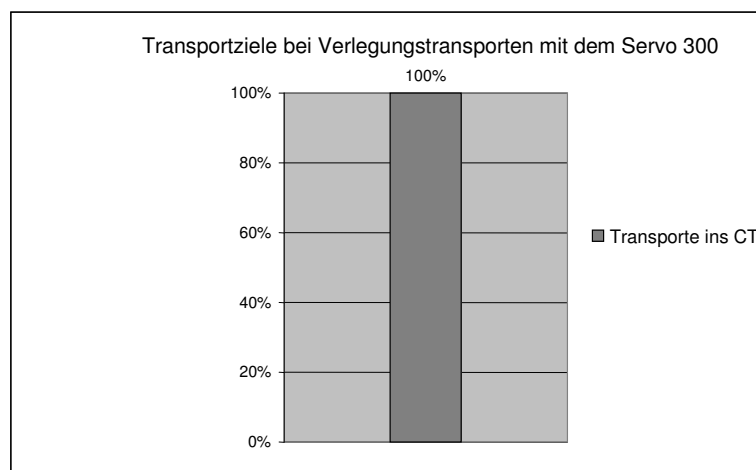


Abb. 36: Transportziele bei Verlegungstransporten mit dem Servo 300

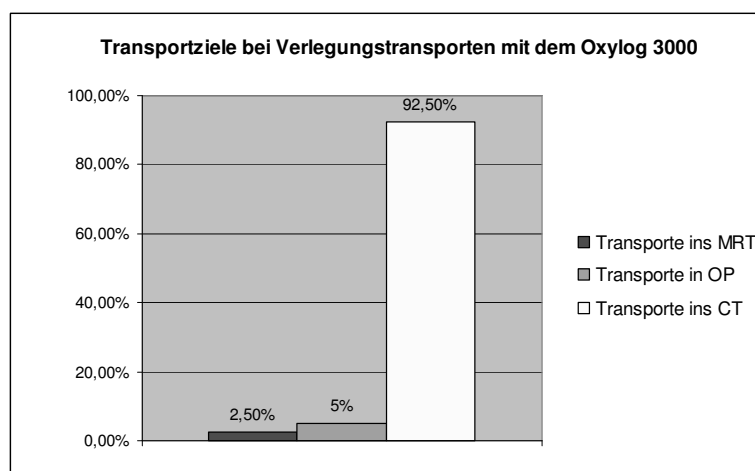


Abb. 37: Transportziele bei Verlegungstransporten mit dem Oxylog 300

3.2. Ergebnisse unter der Betrachtung des Oxygenierungsindex nach Horowitz ($PFI = p_aO_2/FiO_2$)?

3.2.1. Veränderungen des PFI in den einzelnen Transportphasen – Auswertung anhand der DIVI-Leitlinien

Wenn man die beiden Patientengruppen anhand des p_aO_2/FiO_2 vergleicht, fällt auf, dass in der Gruppe des Oxylog 3000 vor dem Transport bei 55,88% der Patienten der PFI zwischen 200 und 300 mmHg lag. Nach den Definitionen der DIVI ist dies einer Acute Lung Injury (ALI) gleich zu setzen. In der Gruppe des Servo 300 wiesen 48,1% vor dem Transport ein ALI auf.

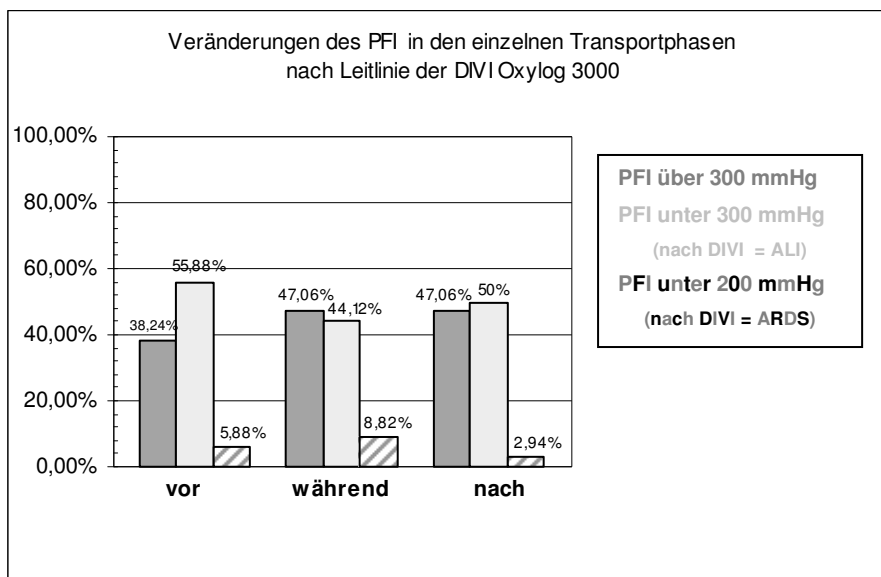


Abb. 38: Veränderungen des PFI in den einzelnen Transportphasen nach Leitlinie der DIVI Oxylog 3000

In der Gruppe, die mit dem Oxylog 3000 beatmet wurden, hatten 5,88% vor dem Transport einen PFI von unter 200 mmHg, während in der Gruppe der Patienten, die mit dem Servo 300 beatmet wurden, 33,33% vor dem Transport einen Oxygenierungsindex nach Horowitz von unter 200 mmHg hatten. Nach den Definitionen der DIVI liegt bei einem Oxygenierungsindex nach Horowitz von unter 200 mmHg eine Acute Respiratory Distress Syndrome (ARDS) vor.

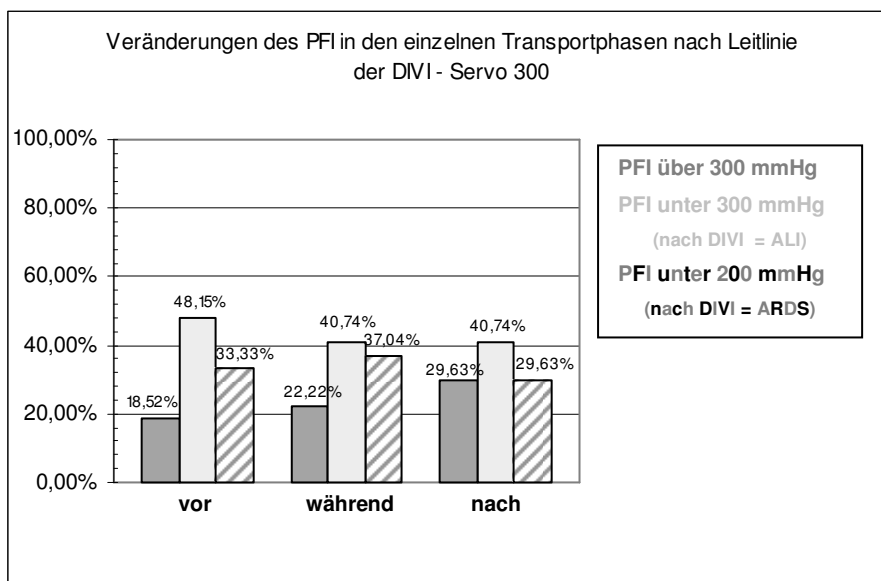


Abb. 39: Veränderungen des PFI in den einzelnen Transportphasen nach Leitlinie der DIVI Servo 300

In der Gruppe, die mit dem Oxylog 3000 beatmet wurden, war der Anteil der Patienten, die vor dem Verlegungstransport bereits ein ALI aufwiesen um 7,78% höher als in der Gruppe des Servo 300.

In der Gruppe, die mit dem Servo 300 beatmet wurden, war der Anteil derer, die vor dem Verlegungstransport ein ARDS aufwiesen um 27,45% höher, als in der Gruppe, die mit dem Oxylog 3000 beatmet wurden.

In der Gruppe, die mit dem Oxylog 3000 beatmet wurden, kam es bei 29,4 % der Transporte zum einem Abfall des Oxygenierungsindex während des Transports im Vergleich zum Ausgangswert vor dem Transport.

Dagegen kam es in 59,26 % der Fälle bei den Patienten, die mit dem Servo 300 beatmet wurden, zu einem Abfall des Oxygenierungsindex während des Transports.

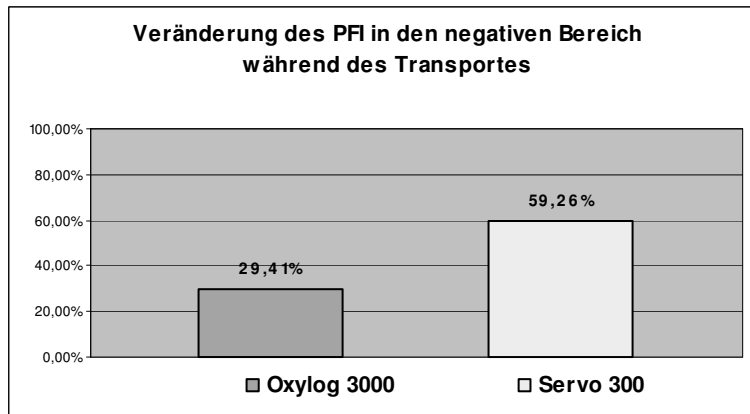


Abb. 40: Veränderung des PFI in den negativen Bereich während des Transports

38,24 % der Patienten, die mit dem Oxylog 3000 beatmet wurden, hatten eine Stunde nach Transport und dem einstündigen Anschluss an das stationäre Beatmungsgerät einen weiteren Abfall des Oxygenierungsindex. Bei den Transporten mit dem Servo 300 wiesen eine Stunde nach Transport 22,22 % der Patienten einen weiteren Abfall vor.

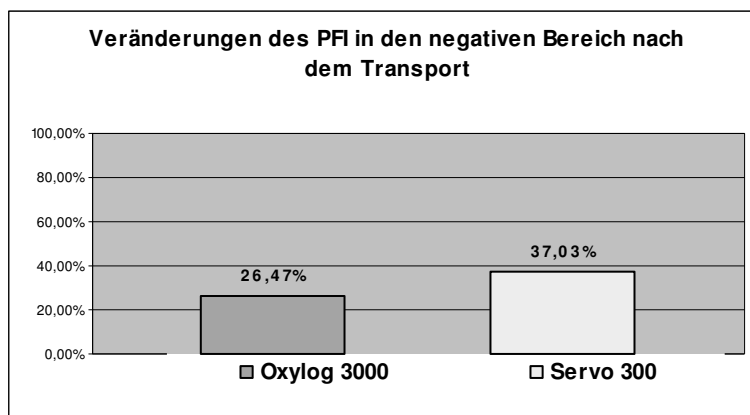


Abb. 41: Veränderungen des PFI in den negativen Bereich nach dem Transport

Eine Stunde nach Transport wiesen in der Oxylog 3000 - Gruppe 26,47 % der beatmeten Patienten einen schlechteren Oxygenierungsindex auf, als vor dem Transport. 37,03 % der Patienten, die mit dem Servo 300 beatmet wurden, hatten eine Stunde nach dem Transport einen schlechteren Oxygenierungsindex als vor dem Verlegungstransport.

3.3. Ergebnisse unter der Betrachtung FiO₂-Einstellung in den einzelnen Transportphasen

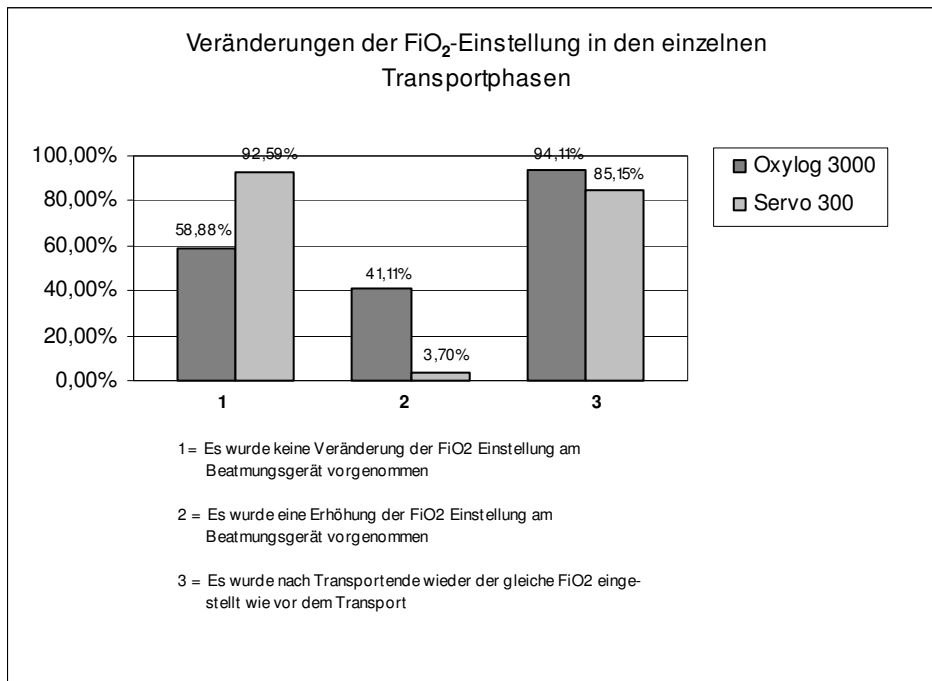


Abb. 42: Veränderungen der FiO₂-Einstellung ein den einzelnen Transportphasen

Ein weiteres Merkmal für die Qualität der Beatmung während des Transportes, ist die Einstellungsrate der FiO₂ am Beatmungsgerät, um eine ausreichende Oxygenierung (SpO₂) des Patienten zu erreichen. Kann dieselbe FiO₂ nach dem Transport wieder am stationären Beatmungsgerät eingestellt werden, so ist dies ein Indiz dafür, dass die Beatmung während des Transportes zu keiner Verschlechterung des respiratorischen Zustandes des Patienten geführt hat.

In der Oxylog 3000 - Gruppe wurde bei 58,88% der Patienten keine Veränderung der FiO₂ vorgenommen. Bei 41,11% wurde die FiO₂ zum Transport erhöht. In 94,11% wurde nach dem Transport am stationären Beatmungsgerät wieder dieselbe FiO₂ eingestellt, wie vor dem Transport.

Bei den Patienten, die mit dem Servo 300 beatmet wurden, wurde in 92,59% der Transporte keine Veränderung der FiO₂ vorgenommen.

In 85,15% der Fälle konnte nach dem Transport dieselbe FiO₂ am stationären Beatmungsgerät eingestellt werden, wie vor dem Transport.

Bei 7,41% der Servo 300 - Gruppe konnte nach dem Transport die FiO₂ um 20% reduziert werden. In 7,41% der Fälle wurde die FiO₂ während des Transports erhöht und auch nach dem Transport erhöht belassen.

In der Oxylog 3000 – Gruppe wurde bei 58,88% der Transporte keine Veränderung der FiO₂ vorgenommen. Bei 94,11% der Patienten veränderte sich die FiO₂ nach dem Transport im Vergleich vor dem Transport nicht.

In 5,88% der Fälle war die FiO₂ nach dem Transport im Vergleich zu vor dem Transport erhöht.

3.4. Ergebnisse unter Betrachtung der Beatmungsmodusdaten

Ein weiteres wichtiges Ziel bei Intensivverlegungstransporten ist die Möglichkeit der Aufrechterhaltung eines differenzierten Beatmungsregimes. Es sollte vermieden werden, aufgrund des Verlegungstransportes den Beatmungsmodus zu ändern, da durch einen Beatmungsmoduswechsel der Patient zusätzlichen Belastungen ausgesetzt ist und die Beatmungsdauer des Patienten dadurch verlängert werden kann.

3.4.1. Auswertung der Beatmungsmodusdaten der Transporte mit dem Oxylog 3000

Die Beatmungsmodi teilten sich in den einzelnen Transportphasen wie folgt auf:

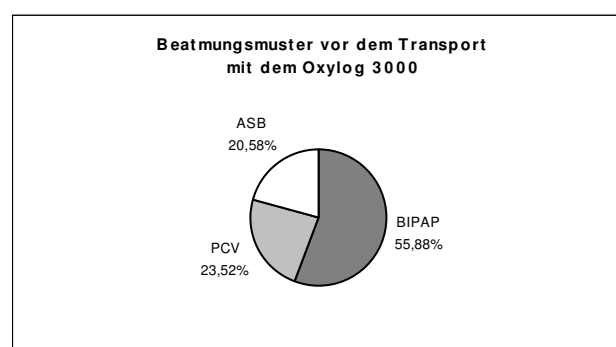


Abb. 43: Beatmungsmuster vor dem Transport mit dem Oxylog 3000

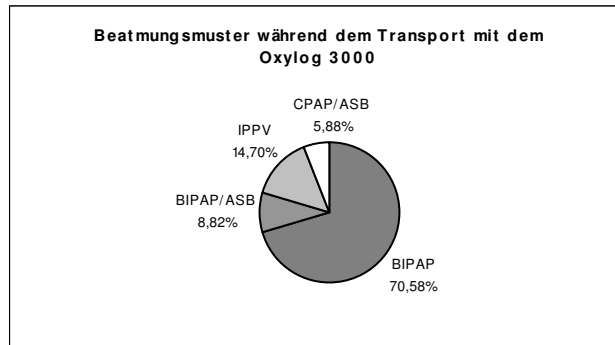


Abb. 44: Beatmungsmuster während dem Transport mit dem Oxylog 3000

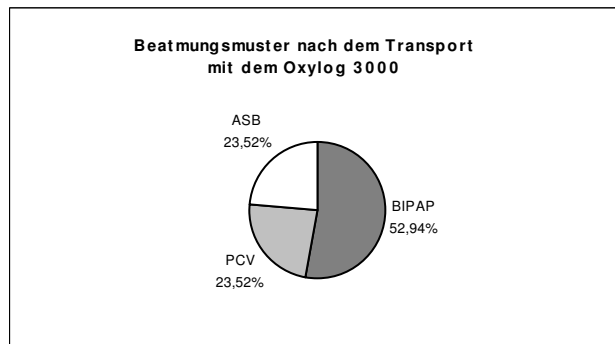


Abb. 45: Beatmungsmuster nach dem Transport mit dem Oxylog 3000

3.4.2. Auswertung der Beatmungsmodusdaten der Transporte mit dem Servo 300

In der Gruppe, die mit dem Servo 300 beatmet wurden, zeigte sich folgende Aufteilung der Beatmungsmodi:

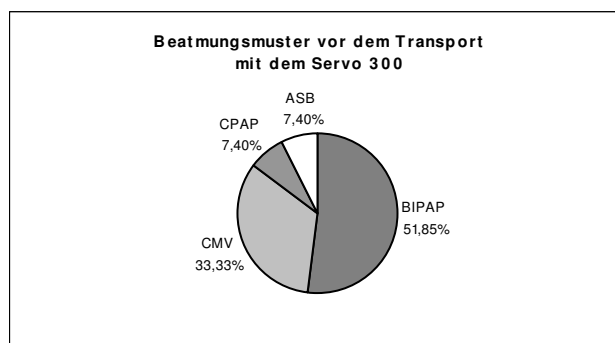


Abb. 46: Beatmungsmuster vor dem Transport mit dem Servo 300

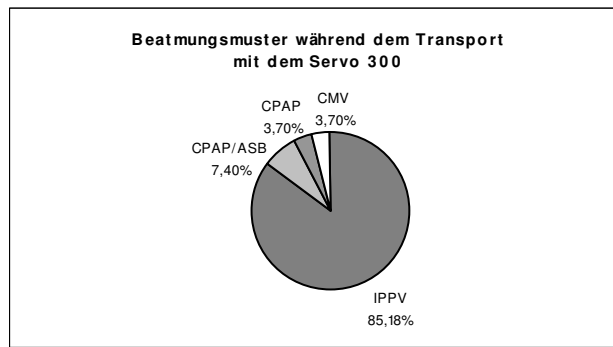


Abb. 47: Beatmungsmuster während dem Transport mit dem Servo 300

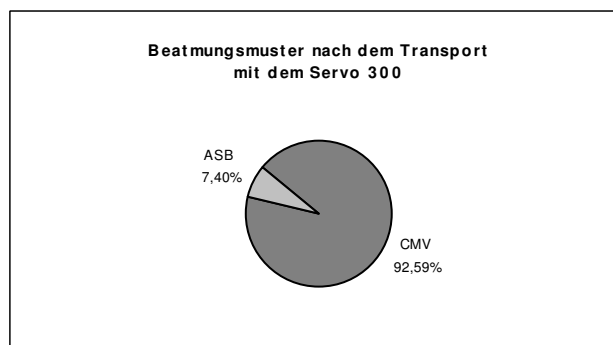


Abb. 48: Beatmungsmuster nach dem Transport mit dem Servo 300

3.4.3. Auswertung des Beatmungsmodus BIPAP in den einzelnen Transportphasen

Sowohl in der Patientengruppe, die mit dem Oxylog 3000 beatmet wurden, wie auch in der Patientengruppe, die mit dem Servo 300 beatmet wurden, war vor den Verlegungstransporten der Beatmungsmodus BIPAP der am meisten eingesetzte Beatmungsmodus auf den Intensivstationen der Universitätsklinik Tübingen (55,88% Oxylog; 51,85% Servo 300).

Bei 55,88% der Patienten, die mit dem Oxylog 3000 beatmet worden sind, wurde vor dem Transport der assistierte Beatmungsmodus BIPAP verwendet. In 100% der Fälle konnte dieser Beatmungsmodus während des Transports fortgeführt werden und in 95% der Fälle nach dem Transport mit diesem Beatmungsmodus weiter beatmet werden.

In der Gruppe des Servo 300 wurden 51,85% der Patienten vor dem Verlegungstransport mit dem Beatmungsmodus BIPAP beatmet. Da der Servo 300 diesen Beatmungsmodus nicht bereithält, musste bei allen Transporten der Beatmungsmodus gewechselt werden. Die Patienten mussten aufgrund des Beatmungsmoduswechsels häufig zusätzlich sediert werden und nach dem Transport erneut druckkontrolliert beatmet werden.

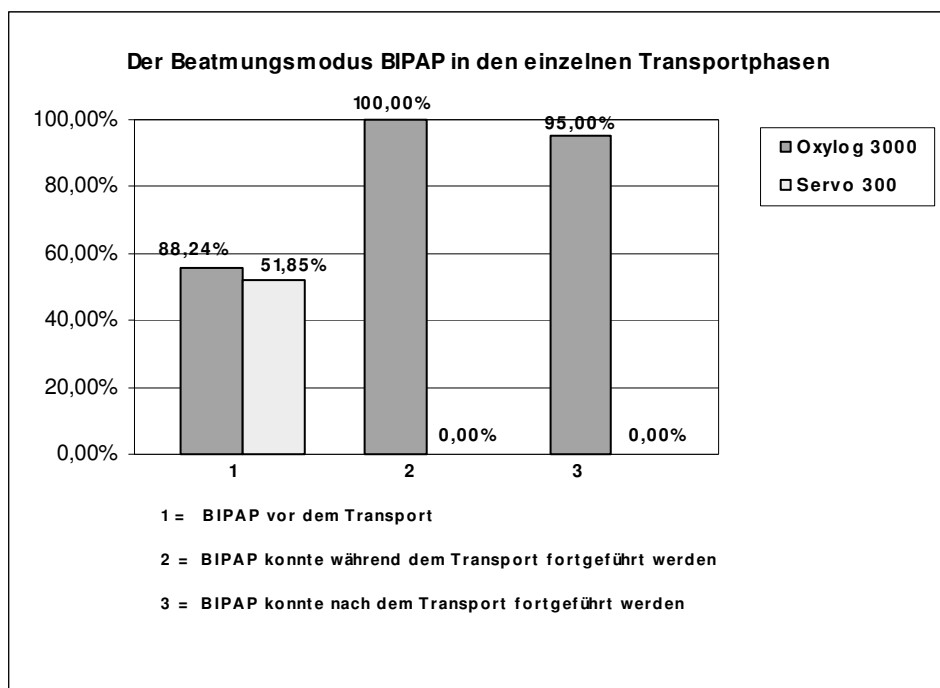


Abb. 49: Der Beatmungsmodus BIPAP in den einzelnen Transportphasen

3.5. Ergebnisse unter Betrachtung der Möglichkeit einer Weiterführung der ursprünglichen Beatmungsform im Anschluss an den Transport

3.5.1. Weiterführung der ursprünglichen Beatmungsform nach dem Transport mit dem Oxylog 3000

Bei den Transporten mit dem Oxylog 3000 konnte in 88,23% der Fälle der ursprüngliche Beatmungsmodus nach dem Transport fortgeführt werden.

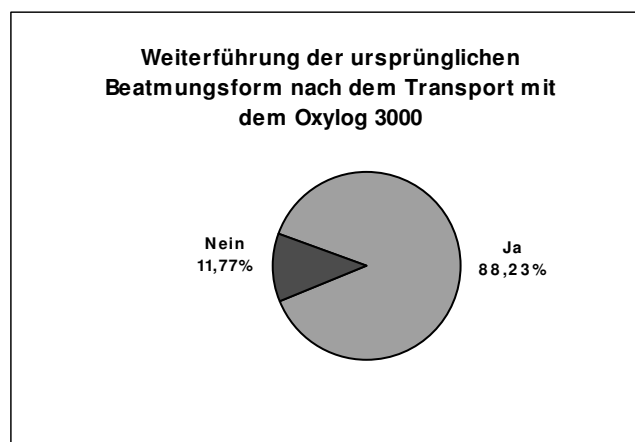


Abb. 50: Weiterführung der ursprünglichen Beatmungsform nach dem Transport mit dem Oxylog 3000

3.5.2. Weiterführung der ursprünglichen Beatmungsform nach dem Transport mit dem Servo 300

Bei den Patienten, die mit dem Servo 300 beatmet wurden, war es in 40,74% der Fälle möglich, den ursprünglichen Beatmungsmodus nach dem Transport fortzuführen.

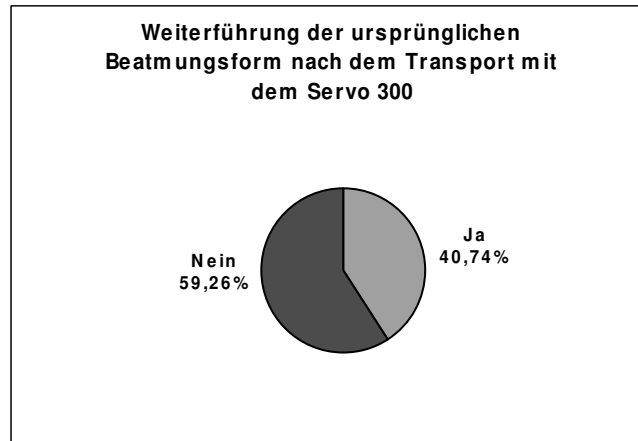


Abb. 51: Weiterführung der ursprünglichen Beatmungsform nach dem Transport mit dem Servo 300

3.6 Vergleich der erforderlichen Sedierung des Patienten zum Transport

Nach wie vor müssen Patienten sowohl bei innerklinischen, wie auch interklinischen Verlegungstransporten zusätzlich sediert werden. Ziel sollte sein, zum Transport das Beatmungsmuster ohne zusätzliche Sedierung und Relaxierung zu übernehmen und im Anschluss an den Transport weiter zu führen.

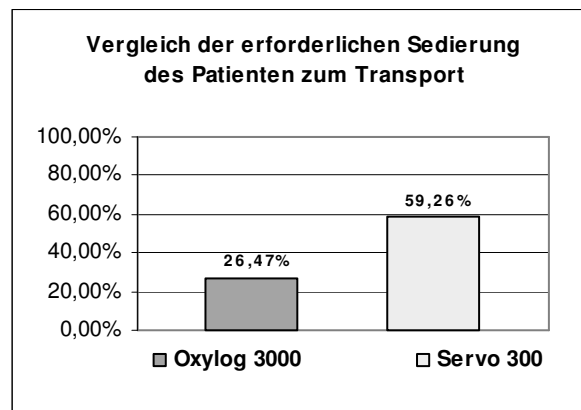


Abb. 52: Vergleich der erforderlichen Sedierung des Patienten zum Transport

In der Patientengruppe, die mit dem Oxylog 3000 beatmet wurde, wurden 26,47% vor dem Transport sediert. In der Patientengruppe, die mit dem Servo 300 beatmet wurde, waren es 59,26%, die zusätzlich sediert werden mussten.

3.7. Die PEEP Einstellungen am Beatmungsgerät in den einzelnen Transportphasen

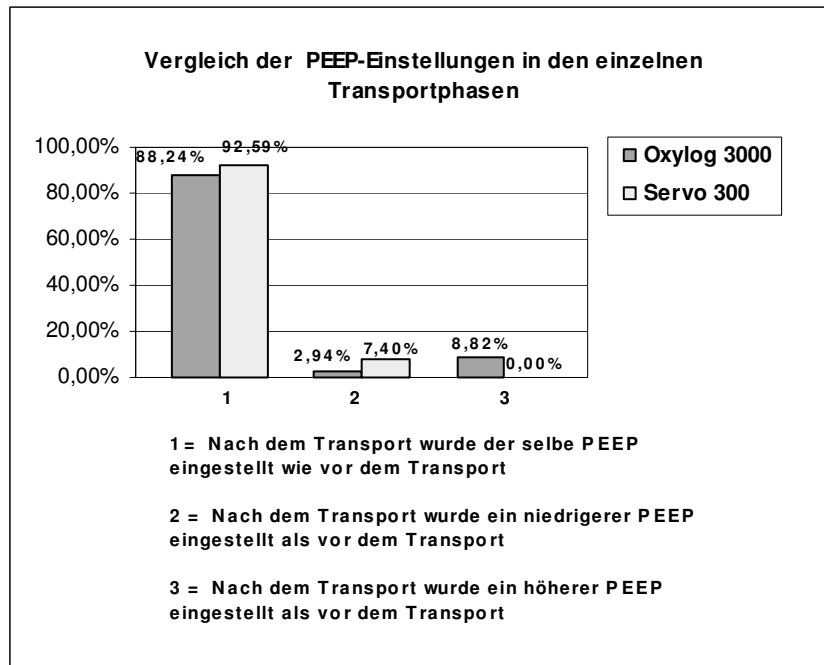


Abb. 53: Vergleich der PEEP- Einstellungen in den einzelnen Transportphasen

3.8. Komplikationen während der Verlegungstransporte

Während den Verlegungstransporten mit beiden Beatmungsgeräten kam es in keinem der Fälle zu bemerkenswerten Komplikationen, wie z.B. Sättigungsabfall, Kreislaufinstabilität oder technischen Probleme wie z.B. leere Akkus oder irgendein Defekt eines Gerätes der Transporteinheit.

Sämtliche Transporte konnten dank der sorgfältigen Planung vor Durchführung, sowie durch den stets gleichartig, fast schon genormten Ablauf des Verlegungstransportes, ohne große Zwischenfälle, sowohl medizinisch, als auch technisch durchgeführt und bewältigt werden.

3.9. Anforderungen an ein Transportrespirator im inner- und interklinischen Transport

Die akute respiratorische Insuffizienz in der Intensivmedizin kann Ausdruck verschiedener pathologischer Veränderungen der Lunge sein: Atemstillstand, Polytrauma, Intoxikationen, Lungenödem, akutes Lungenversagen (ARDS), akutes Linksherzversagen, Lungentrauma, postoperative Ateminsuffizienz, Pneumonie, Aspiration und Lungenembolie.

Diese und weitere Atemwegsstörungen, sowie chronische Lungenerkrankungen können eine maschinelle Beatmung des Betroffenen erforderlich machen.

Ziel für die Fortführung von bestehenden suffizienten Beatmungsmustern (insbesondere bei einer Langzeitbeatmung und/oder pulmonalen Schädigung, die eine Fortsetzung einer PEEP- oder IR (Inverse-Ratio-) Beatmung erfordern) ist, dass eine Diskonnektion unter allen Umständen vermieden werden kann.

Durch die Diskonnektion kommt es zu einem Druckabfall in der Lunge. Dies kann dazu führen, dass nicht mehr die gesamte Lunge mit Sauerstoff ventiliert wird und es zur Ausbildung von Atelektasen kommt. Durch Atelektasen kommt es zu einer Verschlechterung der Oxygenierung des Patienten.

Ebenso wichtig ist es, dass das zum Transport benutzte Beatmungsgerät den zuvor eingestellten Beatmungsmodus, sowie die detaillierten Einstellungen der Beatmungsparameter übernehmen kann.

Der Verbrauch des Antriebsgases für den Respirator sollte so gering wie möglich sein bzw. es sollte ein Antrieb ohne zusätzliches Gas erfolgen.

Dr. med. H.-R. Mrugalla beschreibt aufgrund einer Umfrage unter den Ärztlichen Leitern aller 81 Luftrettungszentren ein Anforderungsprofil an ein zum Transport von beatmeten Patienten geeignetes Beatmungsgerät [77]. Dieses Anforderungsprofil wurde in Gesprächen mit dem ärztlichen Personal der Intensivstation der Universitätsklinik Tübingen, sowie in Gesprächen mit Notärzten der Deutschen Rettungsflugwacht e.V. bestätigt und soll im Folgenden zusammengefasst werden:

- finanzierbare Anschaffungskosten
- geringe laufende Kosten
- möglichst geringe Baugröße, einfacher und schneller Ein- u. Ausbau
- möglichst geringes Gewicht
- verständliche und einfache Bedienung
- hohe Akkukapazität, wechselbarer Akku auch während des Betriebes (ohne dass das Gerät dabei ausgeschaltet werden muss)
- Das Gerät sollte nach dem Akkuwechsel in dem zuvor eingestellten Beatmungsmodus ohne erneute Einstellung weiter beatmen
- Es sollten nach Möglichkeit alle gängigen Beatmungsmuster eingestellt werden können, wie: PCV (Pressure-Contolled-Ventilation), ASB (Assisted-Spontaneous-Breathing), CPAP (Continuous-Positive-Airway-Pressure), BIPAP- (Biphasic-Positive-Airway-Pressure-) Beatmung.
- einfache Bedienung, gutes Handling, gut lesbares Display
- guter und kostengünstiger Service bzw. Wartung des Herstellers
- optische und akustische Signale bei Fehlermeldungen
- optische und akustische Signalisierung von Alarmen, wie z.B. bei Diskonnektion oder niedriger Akkuladestand
- stoßfest, spritzwassergeschützt (v.a. im außerklinischen Einsatz von Interesse)
- viele glatte Flächen zur Erleichterung der Reinigung
- Betriebszulassung für spezielle medizinische Einsatzbereiche, wie z.B. Magentresonanztomographen oder Computertomographen
- geringer Serviceaufwand

3.10. Anforderungen an ein Intensivtransportmodul für innerklinische Verlegungstransporte

Für die Ausstattung eines Intensivtransportmoduls zum Verlegungstransport beatmeter Patienten konnte folgendes Anforderungsprofil erarbeitet werden [3;5;10;16;32;33;50;59;64;68;77;98;110;112;114] :

- ständige, wenn möglich doppelte Vorhaltung am immer gleichen Stellplatz auf der Intensivstation einer Klinik
- einfache und schnelle Ankopplungsmöglichkeit an ein standardisiertes Patientenbett
- Betriebszulassung für spezielle medizinische Einsatzbereiche, wie z.B. Magentresonanztomographen oder Computertomographen
- Beim Aufbau des Moduls Beachtung der baulichen Gegebenheiten (wie z.B. Aufzugsgröße oder Türendurchmesser)
- Anschlussmöglichkeit der Gasschläuche am Transportziel
- Basismonitoring (EKG, RR (invasiv oder non – invasiv), Sauerstoffsättigung mittels Pulsoxymetrie, Kapnometrie)
- Defibrillator und Absaugpumpe
- Mobiles, transportables Blutgasanalysegerät mit Akkubetrieb
- ein zum Verlegungstransport geeignetes Beatmungsgerät (Eigenschaften siehe unter 3.9.)
- Halterungen für Perfusoren (mit Alarmfunktion des Ladezustandes) und Infusionen
- Festeingebaute ausreichend große Sauerstoffflasche
- Sortiment an notfallmedizinischen Medikamenten
- Aufgeladene Akkus der batteriebetriebenen Geräte (sowie Ersatzakkus)
- regelmäßige Kontrolle der Transporteinheit auf Ladezustand der Akkus, Vollständigkeit der Ausstattung (z.B. Haltbarkeit der Medikamente)
- Möglichkeit einer kontinuierlichen Messung des intrakraniellen Druckes bei Patienten mit Schädel-Hirn-Trauma auch während eines Verlegungstransportes

3.11. Anforderungen an das Personal eines Intensivverlegungstransportes

Um einen möglichst sicheren Transport beatmeter Patienten zu gewährleisten, sind an das den Transport durchführende Personal Forderungen zu stellen, die nachfolgend kurz aufgelistet werden sollen [3;5;10;16;32;33;50;59;64;68;77;98;110;112;114]:

- Transportteam aus mindestens zwei Personen
- Qualifizierte Intensivpflegekraft
- intensivmedizinisch erfahrener Arzt (in der Regel Fachrichtung Anaesthesiologie) mit differenzierten Kenntnissen und Erfahrung in der Beatmung schwerstkranker Patienten
- sicherer Umgang mit allen evtl. benötigten Geräten und evtl. benötigten Maßnahmen, wie z.B. Reanimation oder Intubation
- ständiges Protokollieren sämtlicher relevanter Parameter und Ereignisse während des Verlegungstransports auf einem Transportprotokoll (Dokumentation)
- keine Unterbrechung von Monitoring – und Therapiemaßnahmen
- regelmäßige Schulungen für das Transportpersonal und Einweisungen in das zum Transport verwendete Beatmungsgerät

4 Diskussion

Das Ziel dieser Arbeit ist es, ein neues, speziell für den Verlegungstransport beatmeter Patienten entwickeltes Transportbeatmungsgerät mit einem momentan bei Verlegungstransporten häufig eingesetzten Beatmungsgerät zu vergleichen. Des Weiteren wurden Anforderungen an Transportbeatmungsgerät, die Ausstattung der Transporteinheit und das begleitende Personal anhand der Erfahrungen durch die Studie, sowie einer Literaturrecherche im MedLine erarbeitet.

Folgende Stichworte wurden hierfür zur Literaturrecherche im MedLine eingegeben: Transport of critically ill patients, Transport Respirator, Guidelines for Transport, Sedation, BIPAP, Mechanical Ventilation, Transfer of critically ill, Intrahospital Transport, FiO₂, Bloodgas Analysis, Standards for Transport, Critical Care, Analgesia, Ventilator Comparison, Respiratory Gas Exchange, ICU Transport, Servo 300, Oxylog.

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sollen im Folgenden diskutiert werden.

Klinische Studien an Patienten müssen unter anderem die ethischen Standards der Deklaration von Helsinki [115] erfüllen. Bei Untersuchungen mit bewusstlosen, beatmeten Patienten stellt sich die Erfüllung der Forderung nach Aufklärung und Einwilligung des Patienten als problematisch dar. Bewusstlose Patienten sind nicht geschäftsfähig. Daher ist weder eine Aufklärung, noch eine Einwilligung des Betroffenen vorab realisierbar [25].

Diese Problematik wurde im Studienprotokoll ausführlich erörtert und vor Beginn der Datenerhebung der Ethikkommission der Universität Tübingen vorgelegt.

Da außer der Abnahme der Blutproben zur Durchführung der Blutgasanalyse zu Studienzwecken keine weiteren invasiven Maßnahmen erforderlich waren und die Blutgasanalysen nicht nur wissenschaftlichen Zwecken dienten, sondern auch von medizinischem Interesse waren, wurde der Durchführung dieser

Studie von der Ethikkommission der Medizinischen Fakultät der Universität Tübingen zugestimmt.

Alle weiteren zu erfassenden Parameter konnten von den verwendeten Geräten am Patientenbett abgelesen und protokolliert werden.

4.1. Diskussion der Methodik

Um statistisch signifikante Ergebnisse beim Vergleich zweier Beatmungsgeräte zu erhalten, ist nach Auskunft des Instituts für medizinische Biometrie und medizinische Datenverarbeitung der Universität Tübingen eine weitaus höhere Fallzahl erforderlich.

Die Fallzahl dieser Studie wurde dadurch begrenzt, dass das Beatmungsgerät Oxylog 3000 nur einen begrenzten Zeitraum zur Verfügung stand. In dem zur Verfügung stehenden Zeitraum war es nicht möglich, mehr als 34 Transporte beatmeter Patienten zu begleiten und zu protokollieren.

Aufgrund der nicht ausreichenden Fallzahl konnten keine statistischen Verfahren und Tests angewandt werden.

4.1.1. Die Durchführung der Blutgasanalyse

Bei der Abnahme der Blutproben für die Blutgasanalysen (vor, während und nach dem Verlegungstransport) wurde darauf geachtet, dass die Blutentnahmen nach einem standardisierten Verfahren abgenommen wurden, um möglichst gleiche Messbedingungen zu erreichen. Es wurde in allen Fällen das gleiche Abnahmeset verwendet. Es erfolgte keine Lagerung auf Eis oder in Eiswasser.

Besonders wichtig ist, dass die Messung der Blutgasanalyse so schnell wie möglich nach der Entnahme durchgeführt wird, um eine mögliche Verfälschung der Messwerte durch eine zeitliche Verzögerung weitgehend zu verhindern.

Trotzdem kam es immer wieder zu zeitlichen Verzögerungen der Blutgasanalysemessung aufgrund der unterschiedlichen Transportdauer, sowie

Kalibrierungsdurchführungen der Blutgasanalysegeräte, die eine umgehend nach der Abnahme erfolgte Messung in wenigen Fällen nicht zuließen.

Wie HAUG und AL. [42] in ihrer Untersuchung gezeigt haben, muss in den ersten zwanzig Minuten nach der Abnahme einer arteriellen Blutgasanalyse nur mit minimalen Schwankungen der Messwerte gerechnet werden. Bei keiner der im Rahmen dieser Studie durchgeführten Blutgasanalysemessung betrug der zeitliche Abstand zwischen Blutabnahme und Blutgasanalysemessung mehr als 20 Minuten.

Daher kann davon ausgegangen werden, dass es sich bei den Messergebnissen um valide Messwerte handelt.

4.2. Diskussion der Ergebnisse

4.2.1. Ergebnisse unter der Betrachtung des Oxygenierungsindex nach Horowitz p_aO_2 / FiO_2

Die Hauptprobleme während Verlegungstransporten von beatmeten Patienten begründen zum einen auf Veränderungen des Gasaustauschs [36], zum anderen auf kardiovaskuläre Veränderungen [48].

Die Verschlechterung von Blutgasparametern, insbesondere die Verschlechterung des Oxygenierungsindex nach Horowitz während Verlegungstransporten von Patienten wurde bereits in mehreren Studien untersucht [9;11;36;45;55;72;83;114].

KILL et al. zeigten in ihrer Arbeit [55], dass mit Hilfe von Blutgasanalyseparametern, wie zum Beispiel des p_aO_2 / FiO_2 und des p_aCO_2 trotz fehlender signifikanter Unterschiede ein stabilerer Verlauf der maschinellen Ventilation möglich ist. In zahlreichen Fällen zeigten sie, dass dank der Blutgasanalyse auch während Verlegungstransporte Probleme der Beatmung schneller erkannt - und somit auch schneller therapiert werden könnten.

Auch in anderen veröffentlichten Studien kam es zu signifikanten Abfällen des Oxygenierungsindex nach Horowitz:

WAYDHAS et al. [114] zeigten in einer Studie, dass es während des Transportes in 83% der Fälle zu einem Abfall des p_aO_2 / FiO_2 kam.

Bei diesen Patienten dauerte es bis zu 24 Stunden, bis der Oxygenierungsindex wieder den Ausgangswert vor dem Transport erreicht hatte.

Nur bei 16% der transportierten Patienten veränderte sich in dieser Studie der Oxygenierungsindex nicht.

Auch MARX et al. [72] untersuchten die Veränderung des Oxygenierungsindex bei Verlegungstransporten. Auch hier zeigte sich ein Abfall bei 55% der beteiligten Patienten. Bei 24% der Fälle kam es zu einem Abfall von mehr als 20% im Vergleich zum Ausgangswert vor dem Transport.

Des Weiteren zeigten sie, dass je schlechter der Oxygenierungsindex vor dem Transport ist, desto häufiger es zu einem Abfall des p_aO_2 / FiO_2 während des Transports kommt.

Wie die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung zeigen, kam es bei zahlreichen Transporten beider Untersuchungsgruppen zu einer Verschlechterung der Oxygenierungsindices.

So kam es in der Patientengruppe, die mit dem Oxylog 3000 beatmet wurden in annähernd 30% der Fälle zu einer Verschlechterung des Oxygenierungsindex während des Transports. Bei den Transporten mit dem Servo 300 wurde dies in 60% der Fälle festgestellt.

Dies lässt darauf schließen, dass eine Messung der Blutgasparameter auch während der Durchführung von Verlegungstransporten (sowohl innerklinisch, wie auch prae- u. interklinisch) eine sinnvolle Ergänzung der Therapiemaßnahmen während Intensivverlegungstranporten ist.

Denn durch eine engmaschige Überwachung der Blutgasparameter könnte der häufig beobachteten Verschlechterung der Oxygenierung entgegen gewirkt werden, indem der begleitende Arzt die Einstellung der Beatmung aufgrund der Blutgasanalyse modifiziert bzw. anpasst.

Jedoch zeigt es sich in der vorliegenden Untersuchung, dass Blutgasparameter, die während des Transportes gemessen wurden, keinerlei Einfluß auf die Beatmungseinstellung, sowie keinerlei Konsequenz hatten. Bei keinem der begleiteten Transporte war das Ergebnis der durchgeführten Blutgasanalysen von Interesse. In der Realität war es so, dass die Beatmungseinstellung vor dem Transport so weit wie möglich übernommen wurde und erst nach dem Transport wieder eine Kontrolle der Beatmungseinstellung durchgeführt wurde.

Jedoch ist der Oxygenierungsindex nach Horowitz nur ein möglicher Parameter, um den respiratorischen Zustand des Patienten zu beschreiben.

Des Weiteren beschreibt ein Beatmungsparameter nicht den gesamten Zustand des Patienten, geschweige das gesamte Krankheitsbild, noch die einzelne Organfunktion.

Breitere Interpretationsmöglichkeiten der Beatmungsparameter wären möglich, wenn man nicht anhand eines einzelnen Beatmungsparameter auswertet, sondern anhand eines Scoring-Systems, wie z.B. den Apache II-Score.

Durch eine solche Einteilung, in die bis zu 15 verschiedene Parameter einfließen, wären beide Gruppen auch besser zu vergleichen, da unterschiedlich schwerkranke Patienten in den beiden Gruppen waren.

Dies wurde bei der Planung der Untersuchung nicht berücksichtigt und daher nicht durchgeführt.

Zusammenfassend ist aus der Messung der Blutgasparameter zu schließen, dass eine Blutgasanalyse während Verlegungstransporten eine sinnvolle Maßnahme ist, jedoch bis heute keinerlei Beachtung und Anwendung erfährt.

4.2.2. Ergebnisse unter der Betrachtung FiO_2 -Einstellung in den einzelnen Transportphasen / Vorteile der maschinellen Beatmung

MEIKLEJOHN et al. [76] zeigten bereits 1987 in einer Studie, dass die Verabreichung von Sauerstoff (beim beatmeten und nicht beatmeten Patienten) während des Transports von großem Vorteil ist.

In zahlreichen Studien wurde gezeigt, dass die maschinelle Beatmung im Vergleich zur manuellen Beatmung während des Transports dem beatmeten Patienten große Vorteile bringt [11;30;36;45;70;73;103].

Einer der naheliegendsten, häufig sogar routinemäßig durchgeführten Schritte bei gestörtem Gasaustausch des mechanisch beatmeten Patienten ist neben der Optimierung der maschinellen Unterstützung eine Erhöhung der FiO_2 .

Selbst beim lungengesunden Patienten wird während einer Narkose häufig die FiO_2 auf über 0,21 erhöht bzw. selten unter 0,5 eingestellt.

Das Ziel einer modernen Beatmung ist es, die FiO_2 so niedrig wie möglich zu halten.

Die inspiratorische Sauerstoffkonzentration FiO_2 ist unter anderem auch ein möglicher Faktor um beurteilen zu können, wann mit der Entwöhnung des Patienten vom Beatmungsgerät begonnen werden kann [60].

Jedoch allein mit der Gabe von Sauerstoff bzw. Erhöhung der FiO_2 ist nicht gewährleistet, dass die einzelne Zelle genügend Sauerstoff bekommt.

Dies ist unter anderem auch noch von der Gasaustausch-Funktion der Lunge, der Anzahl der Sauerstoffträger, einer adäquaten Pumpleistung des Herzens und einer bedarfsgerechten Organperfusion abhängig und nicht nur von der inspiratorischen Sauerstoffkonzentration.

Bis heute wird die FiO_2 - Einstellung bei der Beatmung kontrovers diskutiert und in verschiedensten Studien werden Unterschiede, sowie Vor- und Nachteile verschiedenster inspiratorischer Sauerstoffkonzentrationen untersucht und diskutiert.

In verschiedenen Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass eine perioperative Erhöhung des FiO_2 auf verschiedenste Faktoren einen günstigen Einfluss haben kann:

So zeigten GREIF et al. [40] in einer im Jahre 2000 veröffentlichten Studie bei Patienten mit kolo-rektaler Chirurgie eine Reduktion der Infektionsrate um 6,0% im Bereich der Operationswunde. In derselben Studie konnte kein Unterschied im Bezug auf die Aufenthaltsdauer im Krankenhaus nachgewiesen werden.

GOLL et al. [37] fanden im Jahre 2000 heraus, dass durch eine Erhöhung der FiO_2 während Narkosen die Häufigkeit von postoperativer Übelkeit und postoperativem Erbrechen (postoperative nausea and vomiting = PONV) vermindert werden kann.

Allerdings konnte dies in zwei anderen Studien wiederum nicht bestätigt werden [51;87].

PURHONEN et al. [86] untersuchten darauf hin im Jahre 2003, ob es Unterschiede der Häufigkeit eines PONV gibt bei Verabreichung unterschiedlicher Sauerstoffkonzentrationen. Sie konnten zwischen einer Verabreichung von 80% FiO_2 und 30% O_2 keine signifikanten Unterschiede feststellen.

MEIER et al. [75] zeigten im Jahr 2000, dass bei akuter normovolämischer Hämodilution bis zu einem kritischen Hämoglobinwert die Gabe von Sauerstoff mit einer FiO_2 von 100% die Mortalität senken kann. Die gleiche Forschungsgruppe beschrieb in einer weiteren Arbeit, dass durch eine hyperoxische Ventilation beim schwersten hämorrhagischen Schock die Gewebeoxygenierung und zumindest die kurzfristige Überlebensrate verbessert werden kann [74].

KOTANI et al.[58] beschrieben im Jahr 2000 eine erhöhte antimikrobielle und pro-inflammatorische Reaktion von Alveolar-Makrophagen, wenn während der Operation Sauerstoff verabreicht wird, was eine verbesserte Immunabwehr zur Folge hat.

Aber eine hohe FiO_2 bringt nicht nur Vorteile mit sich:

So fanden BENOIT et al. [6] in einer 2002 veröffentlichten Untersuchung heraus, dass die Verabreichung von Sauerstoff mit einer FiO_2 von 100% vor der Extubation die Bildung von Atelektasen begünstigt.

LOECKINGER et al. [66] beschreiben in einer Studie eine Verschlechterung des Gasaustausches nach Extubation bei zu hoher FiO_2 , wobei durch die Anwendung einer niedrigeren das Risiko einer Hypoxämie nach Extubation, z.B. bei einer akuten Obstruktion der oberen Atemwege, erhöht ist.

Es darf auch nicht vergessen werden, dass durch Sauerstoff per se eine Schädigung der Lunge erzeugt werden kann. Das Sauerstoff nicht nur positive, sondern auch toxische Wirkungen auf den menschlichen Körper hat, wurde bereits 1971 von CLARK et al. [19] beschrieben.

SACKNER et al. [94] stellten fest dass bei einer FiO_2 von 0,9 es bereits nach 6 Stunden zu einer akuten Tracheobronchitis kommen kann.

PAGANO et al. [82] zeigten in einer Studie, dass es durch die Verabreichung von hohen Sauerstoffkonzentrationen zu einer erhöhten Produktion von reaktiven Sauerstoff-Radikalen und dadurch zum so genannten oxidativen Stress kommen kann. Reaktive Sauerstoffradikale spielen eine Rolle als Signalmoleküle bei der Regulation grundlegender Zellfunktionen. So werden Zellwachstum und Zelladaption durch niedrige Konzentrationen von dieser Sauerstoffradikale gesteuert, während höhere Konzentrationen zu Zellschäden und Zelltod führen können [92].

Jedoch beschreibt Greif in einem Artikel über die Anwendung einer hohen FiO_2 , dass perioperativ entstehende Atelektasen als normale Erscheinung angesehen werden können und wahrscheinlich klinisch bedeutungslos sind [39].

MARX et al. zeigten in einer Studie mit 98 Patienten, dass anhand des FiO_2 von über 0,5 und einem gleichzeitigem Alter von über 43 Jahren, eine Verschlechterung der respiratorischen Funktion nach dem Transport vorhersehbar ist.

Sie fordern aufgrund möglicher Diskonnektionen und weiteren Faktoren, die zu Veränderungen des Ventilations-Perfusions-Verhältnisses führen können, eine um 20% erhöhte FiO_2 über dem Basisbedarf vor und während des Transports [71].

Bis heute wird die „optimale“ Einstellung der FiO_2 in zahlreichen Studien kontrovers diskutiert. In welchem Bereich das Optimum zwischen dem Risiko einer Gasaustauschstörung durch (zu) hohe FiO_2 und dem Risiko einer Hypoxämie durch (zu) tiefe FiO_2 liegt, muss noch weiter untersucht werden [20;28;92].

Aus diesem Grund wurde bei der vorliegenden Studie nur untersucht, ob während des Transports die FiO_2 erhöht wurde und ob es im Anschluss an den Transport möglich war, dieselbe FiO_2 wie vor dem Transport wieder einzustellen.

In der vorliegenden Studie bestand ein Problem bei dem Vergleich der FiO_2 - Werte, die an den stationären Beatmungsgeräten eingestellt waren und dem eingestellten Wert bei dem Transportrespirator Oxylog 3000. In der Studie gab es einige Patienten, die vor dem Transport mit einer FiO_2 von unter 40 Vol% beatmet wurden. Mit dem Oxylog 3000 ist aber eine Beatmung mit einer FiO_2 von unter 40 Vol% nicht möglich.

Dies führte dazu, dass diese Patienten während des Transportes mehr Sauerstoff bekamen, als vor dem Transport bzw. die FiO_2 höher als eigentlich erforderlich eingestellt werden musste. Einen Einfluss dieser FiO_2 - Erhöhung auf die Blutgasanalysen durch Wechsel des Beatmungsgerätes kann nicht ausgeschlossen werden.

Mögliche Gründe für die stetige Erhöhung der inspiratorischen Sauerstoffkonzentration zum Transport sind unter anderem die Gewohnheit des Personals und die Angst vor möglichen Komplikationen wie z.B.

Sauerstoffmangel des Patienten. Ein weiterer Punkt ist das weit verbreitete Denken, dass mehr Sauerstoff den Transport sicherer macht und eine erhöhte Sauerstoffkonzentration dem Patienten „sicherlich“ nicht schadet.

Daher sollte die Einstellung der inspiratorische Sauerstoffkonzentration bei der Beatmung von Patienten weiterhin untersucht werden, um den Bereich zwischen 0,21 Vol% und 1,0 Vol% FiO₂ enger eingrenzen zu können.

4.2.3. Ergebnisse unter Betrachtung der Beatmungsmodusdaten

In der vorliegenden Studie konnte gezeigt werden, dass es bei den Transporten mit dem Oxylog 3000 nicht erforderlich war einen Patienten, der bereits assistiert beatmet wurde, wieder kontrolliert zu beatmen. Bei den Transporten mit dem Servo 300 wurde bei über der Hälfte der Gesamttransporte vom assistieren Beatmungsmodus BIPAP zurück in kontrollierte Beatmungsmodi, wie z.B. IPPV oder CPPV gewechselt.

In mehreren Studien konnten Vorteile von BIPAP festgestellt werden. Daher wäre es wünschenswert einen Patienten, der bereits assistiert beatmet wird, nicht wegen eines Verlegungstransportes in einen kontrollierten Beatmungsmodus “zurück“ zu nehmen.

Im Folgenden sollen einige Studien genannt werden, in denen verschiedene Vorteile des Beatmungsmodus BIPAP festgestellt werden konnten:

So konnten HEDENSTIERNA et al. [43] in einer Studie zeigen, dass durch Stimulation des Nervus phrenicus und einer daraus resultierenden Kontraktion des Diaphragmas während Narkosen sich der Anteil atelektatischer Bereiche (gemessen mit Computertomographie) verringert.

In einer weiteren Untersuchung der Zwerchfellbewegungen unter spontaner und maschineller Beatmung konnten JOUSELA et al. [52] feststellen, dass unter maschineller Beatmung ein größeres Tidalvolumen erforderlich war, als unter Spontanatmung, um die gleiche Amplitude der Zwerchfellbewegungen zu erreichen.

Zu gleichen Ergebnissen wie HEDENSTIERNA et al. [43] kamen TOKICS et al. [104] in einer weiteren Studie. Auch sie konnten nachweisen, dass es unter BIPAP zu einer geringeren Ausbildung von Atelektasen kommt.

FROESE et al. [31] zeigten anhand radiologischer Untersuchungen unterschiedliche Verteilungen der Ventilation unter Spontanatmung und maschineller Beatmung. Während Spontanatmung bewegen sich die posterioren muskulären Abschnitte des Zwerchfells stärker, als die anterior gelegene Sehnenplatte. Daher erfolgt in Rückenlage die Distribution der spontanen Ventilation bevorzugt in den abhängigen Lungenregionen, die gleichzeitig auch mehr Perfusion aufweisen. Ist das Zwerchfell jedoch relaxiert, wird es, bedingt durch das Gewicht des abdominellen Kompartments, nach kranial gedrückt und das maschinelle Tidalvolumen in die anterioren Lungenregionen, die eine geringere Perfusion aufweisen, verteilt.

Dies führt selbst bei Gesunden und Patienten unter maschineller Beatmung im Vergleich zur Spontanatmung zu minderbelüfteten oder atelektatischen Veränderungen in den dorsalen, zwerchfellnahen Lungenregionen.

Dadurch kommt es auch zu einer Zunahme der venösen Beimischung, des Ventilations - Perfusions – Missverhältnisses und einer schlechteren arteriellen Oxygenierung. Zudem führt eine verbesserte Verteilung der pulmonalen Perfusion unter Spontanatmung mit BIPAP zur Verbesserung des intrapulmonalen Shunts und der arteriellen Oxygenierung [117].

PUTENSEN et al. [88] fanden heraus, dass es in Folge erhaltener Spontanatmung während einer maschinellen Beatmung zu einer periodischen Reduktion des intrathorakalen Drucks kommt und diese Reduktion den venösen Rückstrom zum Herzen und somit die rechts- und linksventrikuläre Füllung fördert. Dadurch kann das Herzzeitvolumen und die Sauerstoff-Transportkapazität gesteigert werden. Im Gegensatz dazu führt die maschinelle Beatmung mit PSV zu keiner oder einer nur geringen Zunahme des Herzzeitvolumens.

BURCHARDI et al. [13] konnten folgende Vorteile des assistierten Beatmungsmodus BIPAP erarbeiten:

- geringere Invasivität der Beatmung
- geringere Beeinflussung der pulmonalen Zirkulation
- effektiveres Recruitment bei konstanter Anwendung
- verbessertes Weaning

RATHGEBER et al. [90] verglichen den druckkontrollierten Beatmungsmodus CMV mit dem assistierten Beatmungsmodus BIPAP.

Sie konnten eine signifikante Verkürzung der Intubationsdauer unter Verwendung von BIPAP aufzeigen. Des Weiteren zeigten sie, dass unter Anwendung von BIPAP der Bedarf an Analgetika und Sedativa signifikant geringer war, als unter Beatmung mit den Beatmungsmodi CMV und SIMV.

Die möglichen Gründe der signifikanten Verkürzung der Intubationsdauer unter BIPAP sind zum einen die geringere Sedierung, zum anderen das einfachere und schnellere Weaning.

KIEHL et al. [54] zeigten in einer Studie, in der sie die volumenkontrollierte Beatmung mit einer Beatmung unter BIPAP verglichen, signifikante Unterschiede. Patienten, die mit BIPAP beatmet wurden, hatten 12 und 24 Stunden nach Intubation signifikant niedrigere FiO_2 – Parameter. Des Weiteren waren unter BIPAP 12, 24 und 48 Stunden nach Intubation signifikant niedrigere PEEP – Parameter erforderlich.

Allerdings waren die PEEP-Parameter in einer Studie von RATHGEBER et al.[90] unter BIPAP signifikant höher, als unter CMV.

Ebenso konnten BURCHARDI et al. [15] nachweisen, dass es unter BIPAP zu einer signifikanten Verkürzung der Intubationsdauer und somit der Beatmungsdauer kommt.

Intubationszeit in Abhängigkeit des Beatmungsverfahrens nach BURC96			
	S-CMV Gruppe	S-IMV/PSV Gruppe	BIPAP Gruppe
Anzahl der Patienten	123 (100/23)	431 (352/79)	42 (37/5)
Alter, Jahre	60,0 ± 9,0	60,0 ± 10,0	59,0 ± 10,0
Gewicht, kg	64,0 ± 16,0	71,0 ± 13,0	69,0 ± 14,0
Intubationszeit, h	13,2 ± 4,2	14,7 ± 4,0	10,1 ± 3,3
PaO ₂ vor Extubation, mm Hg	89,0 ± 16,0	97,0 ± 24,0	100,0 ± 17,0
PaCO ₂ vor Extubation, mm Hg	41,0 ± 4,0	40,0 ± 5,0	37,0 ± 4,0
PaO ₂ nach Extubation, mm Hg	89,0 ± 20,0	91,0 ± 23,0	89,0 ± 18,0
PaCO ₂ nach Extubation, mm Hg	43,0 ± 5,0	41,0 ± 4,0	40,0 ± 3,8
Anz. Patienten mit PaCO ₂ > 50 mm Hg nach Extubation/Gesamtanteil in %	8,0 / 6,5 %	12,0 / 2,8 %	1,0 / 2,4 %

Abb. 54 Intubationszeit in Abhängigkeit des Beatmungsverfahrens nach BURC96

Aus den oben genannten Gründen ist es von Vorteil, wenn man bei Patienten, die einen Transport benötigen und deshalb das „gesicherte“ Umfeld der Intensivstation verlassen müssen, eine bereits mögliche Beatmung unter BIPAP fortführt.

Dies ist selbstverständlich nur möglich, wenn das zur Verfügung stehende Beatmungsgerät (das während des Transportes verwendet wird) assistierte Beatmungsmodi zur Verfügung stellt. Andernfalls muss der Patient wegen des Transports „zurück“ in die kontrollierte Beatmung, was eine Verlängerung der Beatmung und somit der gesamten Aufenthaltsdauer des Patienten auf der Intensivstation nach sich ziehen kann.

Bei der Durchführung der Verlegungstransporte mit dem Servo 300 fiel auf, dass viele Patienten routinemäßig vor dem Verlegungstransport sediert wurden, um den Patienten während des Transportes kontrolliert beatmen zu können. Es mag mehrere Gründe für diese Maßnahme geben. So sind viele Ärzte, die Verlegungstransporte begleiten nicht in der Lage differenzierte Beatmungsregime fort- bzw. durchzuführen. Es lässt sich vermuten, dass dies häufig an mangelnder Kenntnis, sowie fehlender Routine des den Transport begleitenden Personals liegt. Ein weiterer möglicher Grund der zahlreichen Sedierungen ist die Gewohnheit des Personals.

Auch mit dem Servo 300 ist eine patientengetriggerte Beatmung, jedoch kein BIPAP, möglich. Die Umstellung der Beatmung von dem Modus BIPAP (z.B. einer EVITA) auf einen getriggerten Beatmungsmodus des Servo 300 erfordert spezielle technische und theoretische Kenntnisse der Beatmung. Jedoch haben viele Ärzte und Intensivpflegekräfte, die Verlegungstransporte begleiten diese erforderlichen Kenntnisse nicht und gehen daher aus Gründen der eigenen Sicherheit und der eigenen Gewohnheit zurück in einen kontrollierten Beatmungsmodus. Viele Ärzte haben ihren gewohnten und stets favorisierten Beatmungsmodus, den sie so oft wie möglich versuchen zu benutzen, da sie in diesen favorisierten Modi am besten auf Veränderungen reagieren können und die größtmögliche Sicherheit haben.

Dies ist ein weiterer Grund, weshalb Verlegungstransporte von Personal durchgeführt werden sollte, das in der Lage ist, anspruchsvolle, differenzierte Beatmungsregime während Verlegungstransporte aufrecht zu halten.

Ein weiteres Problem ist die Tatsache, dass häufig nicht derselbe Typ von Beatmungsgerät, welches auf Intensivstation verwendet wird, zum Transport benutzt wird, sondern der Patient mit einem anderen Beatmungsgerät während des Transportes beatmet wird.

Dies macht nur Sinn, wenn es schlagkräftige Argumente gibt, die gegen die Verwendung desselben Beatmungsgerätes auf der Intensivstation und der Intensivtransporteinheit sprechen, wie z.B. Baugröße des Gerätes und der Transporteinheit.

Häufig werden jedoch aus Kostengründen „ausgemusterte“ Beatmungsgeräte oder Beatmungsgeräte, die nur kontrollierte Beatmung bieten, zum Transport beatmeter Patienten verwendet.

Wird auf der Intensivtransporteinheit ein anderes Beatmungsgerät wie auf der Transporteinheit verwendet, ist es von großer Wichtigkeit, dass das Personal eine detaillierte Einweisung in beide Beatmungsgeräte bekommt und diese in regelmäßigen Abständen wiederholt wird.

Die fachliche Kompetenz des Personals und eine gewissenhafte Einweisung und Ausbildung im Umgang mit dem Transportbeatmungsgerät, sind weitere Schritte, um die Zahl der Transporte zu reduzieren, bei denen der beatmete

Patient kontrolliert beatmet wird, obwohl dieser bereits spontanisiert war, weil das begleitende Personal aus Gründen mangelnder Erfahrung und Risikominimierung den Patienten „zurück“ in die kontrollierte Beatmung nimmt. Nur so können differenzierte Beatmungsmodi, die ein Transportbeatmungsgerät wie der Oxylog 3000 bietet, sinnvoll eingesetzt werden. Die Anschaffung eines speziellen Transportbeatmungsgerätes macht nur Sinn, wenn das benutzende Personal dies auch adäquat bedienen kann und so auch einsetzt. Wenn in 9 von 10 Transporten der Patient kontrolliert beatmet wird, obwohl er bereits assistiert beatmet werden konnte, ist die Anschaffung eines speziellen Transportbeatmungsgerätes mit einer Vielzahl von beatmungsspezifischen Einstellungsmöglichkeiten sinnlos.

Dann reicht tatsächlich ein Medumat, wie er bis heute noch in vielen Rettungsdienstbereichen Verwendung findet.

Nur wenn die technischen Möglichkeiten einer differenzierten Beatmung ausgenutzt werden, hat der betroffene Patient entscheidende Vorteile, wie z.B. Verhinderung einer Beatmungsverlängerung durch zusätzliche Sedierung oder längerer kontrollierter Beatmung.

4.2.4. Ergebnisse unter Betrachtung der Möglichkeit einer Weiterführung der ursprünglichen Beatmungsform im Anschluss an den Transport

Ein wichtiges Ziel sollte es sein, dass beatmete Patienten mit demselben Beatmungsmodus, der vor dem Transport auf der Intensivstation eingestellt ist, auch nach dem Transport weiter beatmet werden können.

Bei der vorliegenden Untersuchung konnte bei den Transporten mit dem Oxylog 3000 in 88 % der Fälle der gleiche Beatmungsmodus wie vor dem Transport auf der Intensivstation während und nach dem Transport eingestellt werden.

Bei den Transporten mit dem Servo 300 war dies nur in 40% der Fälle möglich. Durch eine Änderung des Beatmungsmodus kann es zu einer Verlängerung der erforderlichen Beatmung kommen, wenn man z.B. Patienten, die bereits assistiert beatmet werden, erneut kontrolliert beatmen muss, da das zum Transport benutzte Beatmungsgerät keinen assistierten Beatmungsmodus zur

Verfügung stellt. Dies kann die Dauer der Beatmung und somit die Aufenthaltsdauer auf der Intensivstation verlängern. Dadurch kann es zu einer weiteren Steigerung der Behandlungskosten kommen.

4.2.5. Die Sedierung des Patienten wegen des Transportes

Nach wie vor werden in vielen Kliniken Patienten, die einen Verlegungstransport benötigen, vor dem Transport zusätzlich sediert.

Die erforderliche Sedierung von Patienten unter verschiedenen Beatmungsmodi wurde in verschiedenen Studien untersucht:

RATHGEBER et al. [90] konnten in einer Studie mit 596 kardio-chirurgischen Patienten zeigen, dass unter BIPAP, im Vergleich zu CMV und IMV, bei weitem weniger Sedierung erforderlich ist. Bei den Patienten, die mit CMV beatmet wurden, benötigten 30% der Patienten mehrfach einfache oder mehrfache Gaben von Midazolam, während unter BIPAP nur 10% eine Sedierung mit Midazolam benötigten.

Auch die Gesamtdosis von Analgetika (Pethidine) und Sedativa (Midazolam) war bei den Patienten, die mit CMV beatmet wurden, doppelt so hoch, wie in der Gruppe, die mit BIPAP beatmet wurden.

Des Weiteren konnten sie eine signifikante Verkürzung (ca. 4,5 h) der erforderlichen Beatmung unter BIPAP feststellen.

Allerdings waren bei dieser Studie die Fallzahlen sehr unterschiedlich. So kamen im Beatmungsmodus SIMV 431 Patienten in die Auswertung, während in der Gruppe mit dem Beatmungsmodus BIPAP 42 Patienten protokolliert wurden.

Auch BURCHARDI et al. [13;15] belegten in einer weiteren, 1995 veröffentlichten, Studie, dass unter BIPAP ein weitaus geringere Sedierung erforderlich ist.

	Anteil der Patienten in % mit einer Abhängigkeit von			mittlere Abhängigkeit in mg von		
	Midazolam	Piritramid	Pethidin	Midazolam	Piritramid	Pethidin
S-CMV	39,9	62,6	99,2	8,8 ± 4,6	8,8 ± 5,3	94,4 ± 49,0
S-IMV/PSV	13,7	44,1	85,0	6,6 ± 3,3	7,9 ± 5,3	100,3 ± 53,0
BIPAP	9,5	40,4	76,1	4,3 ± 0,8	4,5 ± 3,3	72,0 ± 34,1

Abb. 52: Notwendige Sedativa in Abhängigkeit vom Beatmungsverfahren nach BURC95

Sie stellten fest, dass bei der Beatmung mit CMV eine Ramsay Score von 4 – 5, während unter BIPAP ein Ramsay Score von 2 – 3 erreicht wird. Ein Ramsay Score von unter 4 hat zum Vorteil, dass trotz der Beatmung eine Kommunikation mit dem beatmeten Patienten noch möglich ist. Dadurch ist eine bessere Analgo-Sedierung möglich und kann individuell modifiziert bzw. angepasst werden. Die Wahrscheinlichkeit von Überdosierung, bewusste Schmerzwahrnehmung und Wachheitszuständen ist bei weitem geringer.

In der oben genannten Studie beschrieben sie weitere Vorteile, die sich durch eine geringere Sedierung des Patienten ergeben, wie folgt:

Unter geringeren Dosen von Sedativa kommt es zu weniger Interaktionen der Organfunktionen, wie z.B. Haemodynamik oder gastrointestinale Beweglichkeit. Ein weiterer Punkt ist, die Vermeidung einer möglichen Akkumulation der Sedativa.

Die Analgetika können besser an den aktuellen Bedarf des Betroffenen angepasst bzw. dosiert werden. Akute Komplikationen, wie z. B. zerebrale Funktionsstörungen, können schneller und einfacher festgestellt werden.

Ein weiterer Punkt ist die einfachere Mobilisierung des Patienten, sowie die Möglichkeit des aktiven Abhustens. Dadurch kommt es zu einer Verbesserung der bronchialen Clearance [15].

Anhand der Erfahrungen bei der Begleitung der Verlegungstransporte und der daraus resultierende Aufenthaltszeit auf der Intensivstation stellt man fest, dass in der Praxis auf einer Intensivstation ein Ramsay Score bei der Sedierung von schwerkranken Patienten in keiner Weise eine Rolle spielt. In der Praxis spielen auch hier Gewohnheit und Erfahrung des behandelten Intensivmediziners,

sowie Routinedosierungen eine weitaus größere Rolle bei der Versorgung beatmeter Patienten, als Scores zur Beurteilung der Sedierungstiefe.

BURCHARDI [13] fasst 1996 in einem weiteren Artikel über die künstliche Beatmung folgendes zusammen:

Heutzutage sollte das Ziel der Analgo-Sedierung zur künstlichen Beatmung nicht die Anpassung des Patienten an das Beatmungsgerät sein, sondern die Anpassung des Beatmungsgerätes an den jeweiligen Patienten [13].

In einer 1995 veröffentlichten Untersuchung von Verlegungstransporten von WALLEN et al. [111] wurden alle (n=224) Patienten vor dem Transport zusätzlich sediert.

KIEHL et al. [54] konnten in ihrer Studie, in der sie volumen-kontrollierte Beatmung mit BIPAP verglichen, jedoch keine signifikanten Unterschiede der Sedierung feststellen.

Andere Autoren befassen sich ebenfalls mit der Problematik einer Sedierung unter künstlicher Beatmung und stellen daraus folgend verschiedene Forderungen:

SHELDON [96] fordert einen professionellen Umgang mit Sedativa, vor allem hinsichtlich der Dosierung, um den optimalen Mittelweg, zwischen zu starker Sedierung und damit verbundenen unnötigen Aufenthaltsverlängerung und einer zu schwachen Sedierung und damit verbundenen unnötigen bewussten Erlebnissen der Betroffenen, vor allem Schmerzen, zu finden.

BURCHARDI [14] fordert 2004 in einem Artikel über die Sedierung von Patienten in der Intensivmedizin, Dosierungen, die es ermöglichen mit dem Patienten zu kommunizieren.

Die genannten Studien zeigen, dass eine adäquate Analgosedierung effektiver ist, wenn Patienten so sediert werden, dass trotz der Sedierung eine Kommunikation zwischen Patient und Betreuenden möglich ist.

In der vorliegenden Studie wurden bei den Transporten mit dem Oxylog 3000 26,5% der Patienten zusätzlich (vor dem Transport) sediert. Bei den Transporten mit dem Servo 300 war eine zusätzliche Sedierung (vor dem Transport) in 59% der Fälle erforderlich.

Ein wichtiger Grund für diesen Unterschied ist sicherlich die Möglichkeit der Weiterführung des Beatmungsmodus BIPAP.

Bei den Transporten mit dem Oxylog 3000 war es relativ einfach, den Patienten weiterhin assistiert zu beatmen, da die Beatmungsparameter des stationären Beatmungsgerätes problemlos übernommen werden konnten.

Die assistierte Beatmung mit dem Servo 300 ist nur möglich, wenn der zuständige Arzt spezielle Kenntnisse der Beatmungstherapie, sowie technische Details des Gerätes beherrscht und anwenden kann. Dies bedeutet für die Beteiligten Mehraufwand durch die Notwendigkeit der Aneignung von Spezialwissen.

Die Praxis zeigte, dass hier aufgrund von Gewohnheit und Sicherheitsdenken bzw. Angst vor Zwischenfällen während des Transports eine Sedierung mit kontrollierter Beatmung der einfachere, sichere und beliebtere Weg ist, beatmete Patienten zu transportieren. Das Interesse einen assistierten Beatmungsmodus aufrechtzuerhalten ist bei der Durchführung von Transporten zweitrangig. In der Realität gilt hier das Motto: „Mit größtmöglicher Sicherheit und Gewohnheit aus der Intensivstation raus und wieder rein!“

Dank assistierter Beatmungsmodi und der Möglichkeit, diese auch während Verlegungstransporten weiterzuführen, sollte es mittlerweile möglich sein, eine zusätzliche Sedierung wegen des Transports bzw. ausschließlich wegen eines Wechsels des Beatmungsmodus in weitaus mehr Fällen zu vermeiden.

Eine zusätzliche Sedierung zum Transport wird häufig auch mit dem Argument der Stressabschirmung des Betroffenen gerechtfertigt. Mittels einer zusätzlichen Sedierung will man dem betroffenen Patienten weiteren Stress z.B. durch Umlagern oder Diskonnektion ersparen.

In zahlreichen Studien [7;24;79;84;85] konnte festgestellt werden, dass Patienten trotz „ausreichender“ Sedierung, sich an das Geschehen auf der

Intensivstation, an Maßnahmen wie Beatmen, Absaugen und Lagern, sowie an starke Schmerzzustände erinnern konnten.

Hier stellt sich die Frage, welche Dosierungen von Sedativa zu einem Transport sinnvoll sind, um einen guten Mittelweg zwischen einem „Rückschritt“ bei der Entwöhnung vom Beatmungsgerät durch zu tiefe Sedierung und einem unnötigen Stress für den Patienten durch den Transport aufgrund zu flacher Sedierung zu finden.

Die Sedierung bei der Versorgung beatmeter Patienten muss weiter untersucht werden, um unnötiges bzw. zu tiefes Sedieren, aber auch inadäquates bzw. zu flaches Sedieren zu verhindern.

4.2.6. Die PEEP Einstellungen am Beatmungsgerät in den einzelnen Transportphasen

Ein wichtiger Gesichtspunkt der maschinellen Beatmung ist das Recruitment kollabierter Alveolarbereiche in der Lunge.

Bereits 1992 beschreibt LACHMANN [61] die Wichtigkeit des Offenhaltens der Lunge. Er beschrieb dies folgendermaßen: “Open up the lung and keep the lung open“.

Eine weit verbreitete Methode für ein Recruitment kollabierter Alveolen ist die Erhöhung des Lungenvolumens durch Verabreichung eines externen PEEP.

Durch unterschiedliche Bereiche mit verschiedenen Druckverhältnissen in der Lunge ist es fast unmöglich, den optimalen PEEP für den gesamten Bereich der Lunge zu finden.

Auf der einen Seite verkleinert die Anwendung von PEEP den intrapulmonalen Shunt, auf der anderen Seite, kann es aber, wie DANTZKER et al. [22] in einer Untersuchung feststellten, dazu führen, dass bereits gut belüftete Areale nicht mehr so adäquat belüftet bzw. überbläht werden.

Deshalb sollte stets ein Kompromiss gefunden werden, um kollabierte Lungenbereiche zu öffnen, aber bereits gut belüftete Areale nicht zu überdehnen.

Bis heute wird die Anwendung von PEEP in verschiedenen Studien untersucht. Im Folgenden sollen verschiedenen Untersuchungen aufgelistet werden:

BURCHARDI [13] fordert in einem Artikel über die Strategie der künstlichen Beatmung ein Maximum des PEEP von 15 cmH₂O. Er äußert massive Bedenken, dass höhere PEEP-Einstellungen Vorteile bringen, im Gegenteil, er nimmt an, dass bei einem PEEP-Wert über 15 cmH₂O die schädigenden Wirkungen, wie z.B. Barotraumen oder eine negative Beeinflussung der Hämodynamik, bei weitem überwiegen.

TOKICS et al. [104] zeigten in einer Studie von 1987, dass ein positiver, endexpiratorischer Druck atelektatische Lungenareale verkleinerte, aber den entstehenden Shunt nicht beeinflusst.

In der Vergangenheit wurden mehrfach aufgrund verschiedener retrospektiver Studien [26;56] hohe PEEP-Parameter bis 27 cmH₂O empfohlen. Jedoch kam es in diesen Studien in nahezu 20% der Fälle zu einem Barotrauma durch eine sehr hohe PEEP-Einstellung, was das ganze wieder in Frage stellt. Dies bestätigt die von Burchardi geäußerten Bedenken bei der Anwendung extrem hoher PEEP-Werte.

Wie bei der Sedierung zu einem Transport steht man bei der Einstellung des PEEP vor einem ähnlichen Problem. Auch die PEEP-Einstellung verlangt die Finden eines Mittelweges zwischen der Bildung von Atelektasen durch zu niedrigen PEEP und der Herbeiführung eines Barotraumas durch zu hohen PEEP.

Bei der Durchführung von Verlegungstransporten beatmeter Patienten ist ein weiteres Problem die Diskonnektion des Tubus bei der Übernahme vom stationären Beatmungsgerät auf das beim Transport verwendete Beatmungsgerät. Durch eine kurzzeitige Diskonnektion beim Wechsel des Beatmungsgerätes kommt es zu einem intrapulmonalen Druckabfall. Dieser Druckabfall begünstigt das Auftreten von Atelektasen. Ein solcher Druckabfall könnte durch ein Abklemmen des Tubus vor der Diskonnektion verhindert

werden. Jedoch ist ein Abklemmen des Tubus ethisch nur durchführbar, wenn der Patient dies nicht wahrnimmt.

Daher steht man, wenn man einen intrapulmonalen Druckabfall und das Entstehen von Atelektasen durch ein Abklemmen des Tubus verhindern möchte vor dem Problem einer zusätzlichen (extra für den Transport benötigten) Sedierung und damit wieder bei dem oben diskutierten Problem der Konsensfindung zwischen Sedierung und daraus folgender kontrollierten Beatmung und einer Aufrechterhaltung einer assistierten Beatmung.

Im Vorfeld der Studie äußerten einige Mediziner der Universitätsklinik Tübingen Bedenken, dass ein maximales PEEP- Niveau von 20 mbar, wie es der Oxylog 3000 zur Verfügung stellt, nicht ausreichen würde, um allen Patienten einen adäquaten Transport zu gewährleisten.

Der Servo 300 stellt im Vergleich einen maximalen PEEP von 50 mbar zur Verfügung.

In der Zeit, in der die Tübinger- Intensivtransport- Einheit konstant mit dem Oxylog 3000 ausgestattet war, konnten alle anfallenden Verlegungstransporte von beatmeten Patienten damit durchgeführt werden. Keiner der Patienten hatte vor dem Verlegungstransport einen PEEP von über 20 mbar oder hätte während des Transports einen höheren PEEP benötigt.

Daher ist davon auszugehen, dass für ein Transportbeatmungsgerät ein maximaler PEEP von 20 mbar ausreicht.

In der Gruppe, die mit dem Oxylog 3000 beatmet wurden, wurde bei 88,24% der Patienten nach dem Transport derselbe PEEP eingestellt, wie vor dem Transport. In der Gruppe des Servo 300 waren es 92,59%, die nach dem Transport denselben PEEP hatten, wie vor dem Transport.

Bis heute wird über die „optimale“ PEEP-Einstellung kontrovers diskutiert. Daher wurde in der vorliegenden Untersuchung nur untersucht, ob die vor dem Transport eingestellten PEEP-Werte nach dem Transport auf der Intensivstation übernommen werden konnten oder nicht.

4.2.7. Die Komplikationen bzw. Probleme während des Verlegungstransportes eines beatmeten Patienten

Sowohl der innerklinische, wie auch der interklinische Transport von intensivpflichtigen (häufig beatmeten) Patienten ist mit einer erhöhten Komplikationsrate vergesellschaftet [3;8;18;21;29;32;33;49].

Bei der durchgeführten Untersuchung kam es in keinem der Fälle zu Komplikationen und Problemen während des Transportes.

Ein Grund für das Nichtauftreten Komplikationen und Problemen bei den durchgeführten Transporten ist die geringe Fallzahl der vorliegenden Studie. Denn je größer die Fallzahl, desto größer die Wahrscheinlichkeit das Probleme während eines Transportes auftreten.

Ein weiterer Grund für dafür ist, dass die Tübinger Intensivtransporteinheit täglich hinsichtlich Vollständigkeit des Materials und Ladezustand und Funktion der Geräte überprüft wird.

In verschiedenen Studien wurden Komplikationen während Verlegungstransporte untersucht:

So dokumentierten RIDLEY et al. [91] bereits 1989 signifikante Verschlechterungen von Herzfrequenz, Blutdruck und Oxygenierung während des Transports beatmeter Patienten.

Bei einer Studie von DORING et al. [27] über Komplikationen während innerklinischen Verlegungstransporten kam es bei 30% der Transporte zu technischen Problemen wie, z.B. Diskonnektion, mangelhafte Stromversorgung der Ausrüstung, Unterbrechung von Medikamentenverabreichung mittels Perfusoren oder diskonnektierte Drainagen.

SMITH et al. [99] veröffentlichten im Jahre 1990 in einer Untersuchung über Komplikationen während innerklinischen Transporten folgendes:

Bei einem Drittel der untersuchten Transporte (n=125) kam es zu mindestens einem Problem während des Transports. Des Weiteren kam es bei elektiven Transporten zu mehr Komplikationen (60%), als bei notfallmäßigen Transporten

(40%). Unter anderem traten viele Probleme während einer unnötigen Wartezeit im CT auf. In 14% der Fälle kam es zu technischen Schwierigkeiten mit dem benutzen Monitor zur EKG-, O₂-Sättigung und Blutdrucküberwachung.

In einer ähnlichen Untersuchung von DAMM et al. [21] kam es ebenfalls in 30% der Fälle zu Problemen während des Transports. Bei 21 % der Transporte gab es Schwierigkeiten mit dem Beatmungsgerät.

Auch LIGHTENBERG et al. [65] berichten in einer Untersuchung von Verlegungstransporten in einem Drittel der Transporte von Problemen. Auch bei dieser Untersuchung hatten die Probleme mit der Beatmung den größten prozentualen Anteil (32%).

Des Weiteren ergab diese Studie, dass bis zu 70% der Probleme, die während der Transporte auftraten, verhindert hätten werden können.

SMITH et al. [99] konnten belegen, dass das Risiko einer Komplikation mit der Dauer des Transportes steigt.

In einer Studie von ANDREWS et al. [2] mit Transporten von Patienten mit einem SHT kam es in 50% der Fälle zu Komplikationen während des Transports, allerdings betrug hier die Fallzahl nur 50 Patienten.

In einer Studie von WALLEN et al. [111] kam es bei 10% der Transporte zu einem Problem der Ausrüstung (wie z.B. Stromversorgung der Geräte oder Sauerstoffversorgung). Bei 71% der Patienten kam es zu signifikanten Änderungen von physiologischen Parametern durch den Transport. Ebenfalls konnte bei 11,2% der Patienten eine Hypothermie im Anschluss an den Transport festgestellt werden.

In einer 2004 veröffentlichten, retrospektiven Studie von BECKMANN et al. [5] konnte gezeigt werden, dass es bei einem Drittel der Verlegungstransporte zu Probleme mit der Ausrüstung (15%) während des Transports (39%), Verletzungen (3%) bis hin zum Tod (2%) kommt.

Sie beschreiben des Weiteren, dass es sehr häufig zu Schwierigkeiten während des Transports durch Mängel am Equipment, wie z.B. leere Akkus am Monitor oder der Perfusorpumpe kommt. Ebenfalls zeigten sie, dass es häufig zu Kommunikationsproblemen zwischen der Intensivstation und der Abteilung des Transportziels (z.B. Radiologie) kommt.

Dadurch wird sehr häufig die Transportzeit unnötig verlängert, wenn z.B. ein Patient nicht umgehend im CT gelagert werden kann, da dies noch vom vorhergehend untersuchten Patienten belegt ist.

In nahezu allen der in diesem Abschnitt zitierten Untersuchungen werden, als Konsequenz aus den aufgetretenen Komplikationen, Mindestanforderungen an das Personal, die Ausrüstung und die Durchführung von Verlegungstransporten aufgelistet. Auf die aus den Ergebnissen resultierenden Forderungen der Autoren soll in einem späteren Abschnitt eingegangen werden.

4.2.8. Die Indikationsstellung eines Transports

In verschiedenen Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass es sehr häufig zu keinen therapeutischen Konsequenzen aufgrund einer diagnostischen Untersuchung im Anschluss an einen Verlegungstransport kommt.

Gründe dafür sind zum einen der stetige Ausschluss von Differentialdiagnosen und häufige Verlaufskontrollen, die keine Änderung der Therapie zur Folge haben.

CARUANA et al. [17] untersuchten 1998, ob es durch einen Verlegungstransport zu diagnostischen Zwecken im Anschluss zu einer Therapiekonsequenz kam. In lediglich 48% der untersuchten Fälle, kam es aufgrund eines CTs oder Angiographie zu Änderungen bzw. Konsequenzen innerhalb von 48 h nach dem Transport.

In einer prospektiven Studie zeigten INDECK et al. [47], dass nur bei 24% der Patienten innerhalb von 48 h aufgrund des Untersuchungsergebnisses

Konsequenzen im Sinne einer Therapieänderung gezogen wurden. Bei 5% führten die Untersuchungsergebnisse zu einer Bestätigung der bisherigen Therapie. Gleichzeitig stellten die Autoren fest, dass es bei 68% der Patienten zu potenziell gefährlichen und länger andauernden Veränderungen von Vitalparametern kam.

HURST et al. [46] kamen in einer 1992 veröffentlichten Untersuchung zu ähnlichen Ergebnissen. Sie beschrieben eine relevante Änderung der Therapie im Anschluss an den Transport zu diagnostischen Zwecken in 39% der Fälle der transportierten Patienten.

Aufgrund ihrer Ergebnisse forderten BECKMANN et al.[5] eine äußerst strenge Indikationsstellung, um die Anzahl unnötiger Transporte zu verringern.

Deshalb müssen vor einem Verlegungstransport das Transportrisiko, der mögliche diagnostische Erkenntnisgewinn und hieraus eventuell resultierende therapeutische Konsequenzen unter Beteiligung aller verantwortlichen Ärzte und Pfleger abgewogen werden [70].

Nur so kann die Anzahl unnötiger, aber äußerst risikoreicher Verlegungstransporte reduziert werden.

Dies wird auch in verschiedenen Artikeln und Richtlinien für Verlegungstransporte intensivpflichtiger Patienten gefordert [3;18;49;64;65;68;70;72;95;97;98;101;102;110-112].

4.2.9. Patienten mit einem Schädel-Hirn-Trauma

In der vorliegenden Studie hatte ein Großteil (ca. 45 % der transportierten Patienten) in beiden Untersuchungsgruppen die Hauptdiagnose eines Schädel-Hirn-Traumas.

Gerade Patienten mit einem Schädel-Hirn-Trauma benötigen häufig, oft auch in regelmäßigen Abständen zur Verlaufskontrolle, diagnostische Untersuchungen,

wie z.B. CT oder MRT. Diese Tatsache erklärt den hohen Anteil der transportierten Patienten in der vorliegenden Untersuchung.

In der vorliegenden Studie wurde der intrakranielle Druck nicht in das Studienprotokoll mit aufgenommen.

Dennoch sollen einige wenige Untersuchungen hier zitiert werden:

ANDREWS et al. [2] zeigten in einer Untersuchung, dass es bei Patienten mit einem Schädel-Hirn-Trauma während des Transports zu einem Anstieg des intrakraniellen Druckes (ICP) kommen kann. Bei 17% der Patienten wurde im Rahmen des Transportes ein erhöhter Druck festgestellt.

Auch GENTLEMAN [34] untersuchte die Folge des Therapiemanagements auf das Outcome von Patienten mit einem SHT während Verlegungstransporten in ein neurochirurgisches Zentrum. Sie ermittelten Hypoxie und Hypotonie als vermeidbare Gründe einer sekundären Hirnschädigung in 11% aller Patienten.

Ein Patient mit erhöhtem ICP bedarf unumgänglich der kontinuierlichen Fortführung der gesamten intensivmedizinischen Behandlung.

Da ein Transport die Destabilisierung der Homöostase bewirken kann, sollten hier die intensivmedizinischen Standards auf keinen Fall unterboten werden [70].

Gerade deshalb wird gerade bei Transporten solcher Patienten während des Transports dasselbe, vollständige Monitoring incl. Blutgasanalyse wie auf der Intensivstation gefordert [70], um Veränderungen der Blutgasparameter umgehend zu erkennen.

Laut MARX [70] ist die Aufrechterhaltung eines adäquaten zerebralen Perfusionsdruckes, die wichtigste Voraussetzung um eine zerebrale Ischämie zu vermeiden. Unterschreitet der zerebrale Perfusionsdruck die untere Grenze der Autoregulation, kommt es zu einer Reduktion der Hirndurchblutung.

Es wurden bereits amerikanische [12] und europäische Richtlinien [67] zur Behandlung von Patienten mit einem Schädel-Hirn-Trauma veröffentlicht. Diese

Richtlinien gelten in vollem Umfang auch für den Verlegungstransport dieser Patienten [70].

Unter anderem wird hier auch die kontinuierliche Messung des intrakraniellen Druckes (auch während des Transportes) gefordert.

4.2.10. Anforderungen an ein zum Transport geeignetes Beatmungsgerät

Wenn man einen Patienten transportiert und dabei das „sichere“ Umfeld einer Intensivstation verlässt, sollte während des Transports stets das gleiche Management mit gleicher Qualität und gleichem Umfang wie auf der Intensivstation angestrebt werden.

Dr. med. Christoph Metz (ärztlicher Leiter des Rettungshubschrauberstandortes Regensburg) beschreibt in dem Buch „Intensivmedizin“ von R. Huf / P.Sefrin das Anforderungsprofil an einen Respirator für den Intensivtransport wie folgt: „Beatmungsgeräte für den Intensivtransport müssen ganz besonderen Anforderungen genügen. Der ideale Respirator ist klein, kompakt, leicht, dabei robust, benötigt möglichst kein Atemgas für den Antrieb und ist seitens der Pneumatik, der Elektronik und der Überwachungsfunktionen ein vollwertiger Intensivrespirator“.

Auch die bundesweit durchgeführte Befragung an allen 81 Luftrettungszentren in Deutschland, von Dr. med. Hans-Rolf Murgulla [77] mit dem Thema „Übergabemanagement für Beatmungspatienten im Luftrettungsdienst“, ergab folgendes Anforderungsprofil für Transportrespiratoren im Luftrettungsdienst: „Neben kontrollierten Beatmungsmustern, insbesondere PCV (Pressure-Contolled-Ventilation), müssen Spontanatmungsmuster wie ASB (Assisted-Spontaneous-Breathing) und CPAP (Continuous-Positive-Airway-Pressure) anwendbar sein. BIPAP- (Biphasic-Positive-Airway-Pressure-) Beatmung, d.h. simultane Kombination von Spontanatmung mit zeitgesteuerter, druckkontrollierter Beatmung, gilt inzwischen für viele als Atemhilfe der Wahl bei restriktiven Ventilationsstörungen und für das Weaning der Patienten“.

Zu dem verweist er auf das Anforderungsprofil für Transportrespiratoren: „Hoher Bedienkomfort, incl. für Ein- und Ausbau, geringes Gewicht, ausreichende und sichere Akku-Stromversorgung, intelligente Alarmfunktion, hohe Betriebssicherheit, auch unter Flugbedingungen, einfache Wartung und suffizienter Support“.

4.2.11. Richtlinien für den Transport intensivpflichtiger, beatmeter Patienten

Um Qualitätsunterschiede in der Patientenversorgung auf einem Transport zu vermeiden, sollten Struktur und Prozessabläufe basierend auf einer Auswertung wissenschaftlicher Daten standardisiert sein [70].

So wurden bis heute immer wieder Richtlinien für den Verlegungstransport beatmeter Patienten ausgearbeitet. Trotzdem gibt es in der Durchführung von Verlegungstransporten intensivpflichtiger, beatmeter Patienten große Unterschiede, sowohl beim Personal, welches den Transport durchführt, wie auch bei der Beatmung und der Überwachung während des Transportes.

In Australien wurden bereits 1992 Richtlinien für den Verlegungstransport intensivpflichtiger Patienten formuliert [3]. In diesen Richtlinien wird die Bedeutung der klinischen Ausbildung des begleitenden Personals und des Standards der Überwachung während des Transports besonders betont.

Die in den USA 1993 veröffentlichten „Guidelines for the transfer of critically ill patients“ [41] wird gefordert, dass jedes Krankenhaus Algorithmen für den intra – und interklinischen Transport bereithält.

In diesen Richtlinien wird besonders auf Koordination und Kommunikation vor dem Transport, die technische Ausstattung, Monitoring und klinische Ausbildung des Begleitpersonals hingewiesen.

WARREN et al. [112] fordern in 2004 veröffentlichten Richtlinien für den inter- und intrahospitalen Transport intensivpflichtiger Patienten genau die selben Punkte wie in den oben zitierten amerikanischen Richtlinien.

Sie fordern mindestens 2 Personen, welche den Transport begleiten. Einer von beiden sollte ein Arzt sein, der bereits große Erfahrung in der Intensivmedizin, vor allem in Beatmung, vorweisen kann.

Sie fordern sie dasselbe Monitoring während des Transports wie auf der Intensivstation. Des Weiteren veröffentlichten Sie Auflistungen der minimalen Ausrüstung für einen Verlegungstransport, der erforderlichen Medikamentenauswahl, sowie Algorithmen zur Durchführung eines Transports und Checklisten für das beteiligte Personal.

Auch in Asien wurden bereits 1994 Richtlinien für den Transport intensivpflichtiger Patienten [102] veröffentlicht und 2002 überarbeitet. Auch hier werden die gleichen Forderungen im Bereich des Equipments, dem Monitoring, der Beatmung und dem durchführenden Personal gestellt.

Auch in England wurden 1997 Richtlinien für den Intensivtransport [49] erarbeitet und veröffentlicht. Hier werden ebenfalls Forderungen im Bezug auf Ausrüstung, Monitoring, Medikamente, die zur Verfügung stehen müssen und Checklisten beschrieben.

4.2.12. Schlussfolgerung

Die vorliegende Untersuchung zeigt, dass das seit kurzem zur Verfügung stehende Beatmungsgerät Oxylog 3000 das bisher am meisten zu Verlegungstransporten beatmeter Patienten genutzte Beatmungsgerät Servo 300 ersetzen kann.

Bei der Untersuchung verschiedener Blutgasparameter in den einzelnen Phasen des Verlegungstransports konnten keine wesentlichen Unterschiede festgestellt werden.

Ein wesentlicher Unterschied dieser beiden Geräte ist die Baugröße und das daraus resultierende Gewicht. So wiegt der Servo 300 24 kg und der Oxylog 3000 4,9 kg.

Diese Tatsache alleine hat auch bei interklinischen Verlegungsfahrten bzw. -flügen den Vorteil, dass ein zusätzliches Diskonnektieren bei Ein- und Ausladen verhindert werden kann, da das Beatmungsgerät mitgenommen werden kann. Ein weiterer Unterschied ist die Betriebszeit mit Akkus. Hier bietet der Servo 300 maximal 30 Minuten Sicherheit, während der Oxylog 3000 bis zu 4 Stunden mit dem zur Verfügung stehenden Akku betrieben werden kann. Zuletzt unterscheiden sich die beiden Geräte bei der Einstellung des PEEP. So bietet der Servo 300 PEEP-Einstellungen bis 50 mbar, während der Oxylog 3000 einen PEEP von bis zu 20 mbar zur Verfügung stellt.

Zusammenfassend können die folgenden Forderungen an die Durchführung eines Verlegungstransportes eines intensivpflichtigen, beatmeten Patienten aufgelistet werden. Diese Forderungen konnten anhand der Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung, einer ausführlichen Recherche im Index Medicus, verschiedener internationaler Richtlinien, sowie anhand von Interviews mit ärztlichem und pflegerischem Personal mehrerer Intensivstationen erarbeitet werden [3;12;17;18;29;32;33;35;41;49;53;57;63;65;67-70;77;78;91;93;95;97;98;100;102;109-113].

Folgende Punkte sollten bei der Durchführung eines Verlegungstransportes von intensivpflichtigen, beatmeten Patienten beachtet und erfüllt werden:

- strenge Indikationsstellung (Nutzen - Risiko - Abwägung)
- Planung des Transportweges um mögliche Hindernisse vorab zu umgehen (z.B. Aufzüge oder Treppen) und unnötige Wartezeiten z.B. an Aufzügen zu verhindern
- Die verwendeten Geräte müssen auch in besonderen Räumlichkeiten zuverlässig funktionieren und die medizinische Zulassung dafür aufweisen (z.B. Computertomographie oder Magnetresonanztomographie)

- Ausreichende Reserven für Strom (Reserveakkus) und Gas müssen gewährleistet sein
- qualifiziertes Personal, das den Transport begleitet (mind. 2 Personen, davon ein Arzt mit intensivmedizinischer Erfahrung)
- Vertrautheit des Personals mit den Geräten der Intensivtransporteinheit und detaillierte Kenntnis der Ausstattung
- gute Kommunikation zwischen dem Transportteam, dem Personal der Intensivstation und dem Personal des Transportziels, um z.B. unnötige Wartezeiten am Transportziel zu vermeiden
- kein Abstellen von Geräten oder Ausrüstung auf dem Patienten
- Absaugung und Defibrillator müssen verfügbar sein
- Perfusoren - Therapie während des Transportes fortführen
- detaillierte Patientenübergabe des betreuenden Arztes an das den Transport durchführende Personal
- ausführliche Dokumentation aller Daten und Parameter auf einem extra für den Verlegungstransport geeigneten Protokoll
- Aufrechterhaltung des Beatmungsmodus und Beatmungsparameter vor Transport auch während des Transports (ev. Anschaffung eines neuen, für den Transport geeignetes Beatmungsgerät)
- keine manuelle Beatmung
- wenn möglich keine Sedierung ausschließlich wegen des Transports
- vollständiges Monitoring wie auf der Intensivstation
- gegebenenfalls die Durchführung einer längeren Probebeatmung auf der Intensivstation mit dem zum Transport benutzen Beatmungsgerät unter Kontrolle der Blutgasparameter [70]
- bei Patienten mit einem SHT kontinuierliche Überwachung des intrakraniellen Druckes
- bei längeren Transporten Durchführung einer Blutgasanalyse (wenn möglich auch in der Luftrettung)

5 Zusammenfassung

Durch die steigende Anzahl der inter- und innerklinischen Verlegungstransporte beatmeter Patienten werden diese zu einem wichtigen Bestandteil der ärztlichen Tätigkeit und erfordern ein adäquates Equipment, sowie die strukturierte Durchführung dieser Transporte.

In der vorliegenden Studie wurden zwei verschiedene Beatmungsgeräte bei der Durchführung innerklinischer Verlegungstransporte anhand verschiedener Gesichtspunkte miteinander verglichen.

Durch die Entwicklung des Transportrespirators Oxylog 3000 der Fa. Dräger Medical AG steht seit kurzem ein neu entwickeltes Beatmungsgerät zur Verfügung, dass vor allem für den inner- und interklinischen Transport und den präklinischen Einsatz entwickelt wurde.

Dieses neu entwickelte Beatmungsgerät wurde dem im Verlegungstransport beatmeter Patienten weit verbreiteten Intensivbeatmungsgerät, dem Servo 300 der Fa. Maquet, gegenüber gestellt.

Zur Beantwortung der Fragestellung, ob es während Intensivverlegungstransporten beatmeter Patienten zu zusätzlichen Belastungen für den Patienten, zu einer Verschlechterung des Patientenzustandes, vor allem hinsichtlich des Gasaustausches, und zu weiteren Komplikationen kommt, wurden Verlegungstransporte beatmeter Patienten mit den beiden oben genannten Beatmungsgeräten (z.B. von der Intensivstation ins CT) begleitet. Die Hauptdiagnose, verschiedene Kreislauf- und Beatmungsparameter, sowie eine Blutgasanalyse wurden direkt vor, während und eine Stunde nach dem Transport gemessen und auf einem eigens für diese Untersuchung entworfenen Studienprotokoll dokumentiert.

Des Weiteren sollten anhand der Erfahrungen bei der Durchführung der Verlegungstransporte und einer Literaturrecherche Anforderungen und Richtlinien für die Durchführung von Verlegungstransporten, ein zum Verlegungstransport beatmeter Patienten geeignetes Beatmungsgerät, einer

Intensivtransporteinheit und dem den Transport durchführenden Personal erarbeitet werden.

Die Untersuchung wurde im Zeitraum von Januar 2003 bis Juli 2003 auf den Intensivstationen der Universitätsklinik Tübingen A 5 Nord und A 5 Ost durchgeführt. Hierfür wurde die Intensivtransporteinheit der Universitätsklinik Tübingen, die bis dahin dauerhaft mit dem Servo 300 bestückt war, vorübergehend mit dem Oxylog 3000 ausgestattet. Das den Transport durchführende Personal wurde nach MedGV in beide Beatmungsgeräte eingewiesen. So konnten Verlegungstransporte mit beiden Beatmungsgeräten durchgeführt werden.

Insgesamt wurden im oben genannten Zeitraum 67 Patienten bei Verlegungstransporte begleitet, wovon 27 Patienten mit dem Servo 300 und 34 Patienten mit dem Oxylog 3000 während des Transports beatmet wurden.

Bei denen in dieser Arbeit verwendeten Prozentangaben besteht keine statistische Signifikanz. Eine statistische Signifikanz wäre mit einer weitaus höheren Fallzahl möglich gewesen. Die Fallzahl wurde jedoch dadurch begrenzt, dass das Beatmungsgerät Oxylog 3000 vorzeitig von der Intensivtransporteinheit entfernt wurde.

Die Auswertung anhand des Oxygenierungsindex nach Horowitz zeigte, dass es während der Transporte mit dem Oxylog 3000 in 30% der Fälle zu einem Abfall des Parameters kam, während es bei den Transporten mit dem Servo 300 in annähernd 60% der Fälle zu einem Abfall des Oxygenierungsindex kam. Allerdings hatten 27% der Patienten in der Servo 300 Gruppe einen weitaus schlechteren Ausgangswert vor dem Transport, als die Gruppe, die mit dem Oxylog 300 beatmet wurde.

Beim Vergleich der FiO_2 in den einzelnen Transportphasen (vor, während, nach) konnten keine großen Unterschiede zwischen beiden Geräten festgestellt werden. In über 90% der Fälle war die inspiratorische Sauerstoffkonzentration

bei beiden Beatmungsgeräten eine Stunde nach dem Transport gleich der Einstellung vor dem Transport.

Bei der Auswertung der angewandten Beatmungsmodi (vor, während, nach Transport) fiel auf, dass Patienten der Servo 300 Gruppe, die vor dem Transport im assistierten Beatmungsmodus BIPAP beatmet wurden (51%), während und nach dem Transport kontrolliert beatmet werden mussten, da das verwendete Beatmungsgerät diesen assistierten Beatmungsmodus nicht bereithielt. Bei den Patienten, die mit dem Oxylog 3000 beatmet wurden, konnten alle Patienten (100%) während des Transports mit demselben Beatmungsmodus beatmet werden wie vor dem Transport.

Bei den Patienten, die mit dem Oxylog 3000 beatmet wurden konnte in 88% der Fälle, der ursprüngliche Beatmungsmodus nach dem Transport fortgeführt werden.

Dies war bei den Patienten, die mit dem Servo 300 beatmet wurden, in 42% der Fälle möglich.

Bei 26% der Patienten, der Oxylog 3000 Gruppe, war eine zusätzliche Sedierung zum Transport erforderlich. Bei den Transporten mit dem Servo 300 mussten 60% der Patienten zusätzlich zur Durchführung des Transportes sediert werden.

Bei annähernd allen Patienten (90%) beider Untersuchungsgruppen, konnte die PEEP-Einstellung, die vor dem Transport eingestellt war, während und nach Transport beibehalten werden

Des Weiteren wurden in dieser Arbeit anhand verschiedener Recherchen Anforderungen und Richtlinien für die Durchführung von Verlegungstransporten, ein zum Verlegungstransport beatmeter Patienten geeignetes Beatmungsgerät, an eine Intensivtransporteinheit, sowie an das den Transport durchführende Personal erarbeitet.

Die vorliegende Untersuchung zeigt, dass das seit kurzem zur Verfügung stehende Beatmungsgerät Oxylog 3000 das bisher am meisten zu

Verlegungstransporten beatmeter Patienten genutzte Beatmungsgerät Servo 300 ersetzen kann.

Beide Beatmungsgeräte gewährleisten eine adäquate Aufrechterhaltung einer Intensivbeatmung auch während innerklinischer Verlegungstransporte von beatmeten Patienten.

Literaturverzeichnis

1. Ahnefeld FW.(1981)
Notfallmedizinische Sofortmaßnahmen
Springer, Berlin, Heidelberg, New York
2. Andrews, P. J., Piper, I. R., Dearden, N. M., and Miller, J. D.(10-2-1990)
Secondary insults during intrahospital transport of head-injured patients
Lancet; 335: 327-330
3. Australian and New Zealand College of Anaesthetists.(1992)
Minimum Standards for intrahospital Transport of critically ill patients
www.acem.org.au
4. Avramov, M. N. and White, P. F.(1995)
Methods for monitoring the level of sedation
Crit Care Clin.; 11: 803-826
5. Beckmann, U., Gillies, D. M., Berenholtz, S. M., Wu, A. W., and Pronovost, P.(2004)
Incidents relating to the intra-hospital transfer of critically ill patients. An analysis of the reports submitted to the Australian Incident Monitoring Study in Intensive Care
Intensive Care Med.; 30: 1579-1585
6. Benoit, Z., Wicky, S., Fischer, J. F., Frascarolo, P., Chapuis, C., Spahn, D. R., and Magnusson, L.(2002)
The effect of increased FIO₂ before tracheal extubation on postoperative atelectasis
Anesth.Analg.; 95: 1777-81, table
7. Bergbom-Engberg, I. and Haljamae, H.(1989)
Patient experiences during respirator treatment--reason for intermittent positive-pressure ventilation treatment and patient awareness in the intensive care unit
Crit Care Med.; 17: 22-25
8. Bion, J. F., Edlin, S. A., Ramsay, G., McCabe, S., and Ledingham, I. M.(17-8-1985)
Validation of a prognostic score in critically ill patients undergoing transport
Br.Med.J.(lin.Res.Ed); 291: 432-434

9. Blair, I., Holland, R., Lau, W., McCarthy, N., Chiah, T. S., and Ledwidge, D.(1987)
Oxygen saturation during transfer from operating room to recovery after anaesthesia
Anaesth.Intensive Care; 15: 147-150
10. Bosch SH.(1994)
Analyse und Evaluierung der Pirmäreinsätze des Rettungshubschraubers Christoph 41 bei chirurgischen, internistischen und neurologischen Notfällen.
11. Braman, S. S., Dunn, S. M., Amico, C. A., and Millman, R. P.(1987)
Complications of intrahospital transport in critically ill patients
Ann.Intern.Med.; 107: 469-473
12. Bullock R, Chesnut RM, Clifton Y, Ghajar J, Marion D, Narayan R, Newell D Pitts LH, Rosner M, and Wilberger J.(1996)
Guidelines for the management of severe Head injury
J Neurotrauma; 13: 639-734
13. Burchardi, H.(1996)
New strategies in mechanical ventilation for acute lung injury
Eur.Respir.J.; 9: 1063-1072
14. Burchardi, H.(2004)
Aims of sedation/analgesia
Minerva Anesthesiol.; 70: 137-143
15. Burchardi, H., Rathgeber, J., and Sydow, M.(1995)
The concept of analgo-sedation depends on the concept of mechanical ventilation
Vincent JL, Yearbook of Intensive Care and Emergency Medicine; Berlin, Heidelberg, New York: 155-164
16. Burth A.(1981)
Klinische Studie zu primären Versorgung Polytraumatisierter unter besonderer Berücksichtigung der respiratorischen Insuffizienz und deren Beeinflussung durch frühzeitige Intubation und Beatmung am Unfallort
17. Caruana M and Culp K.(1998)
Intrahospital transport of the critically ill adult: a research review and implications
Dimens Crit Care Nurs; 17: 146-156
18. Chang, D. W.(2002)
AARC Clinical Practice Guideline: in-hospital transport of the mechanically ventilated patient--2002 revision & update
Respir.Care; 47: 721-723

19. Clark, J. M. and Lambertsen, C. J.(1971)
Pulmonary oxygen toxicity: a review
Pharmacol.Rev.; 23: 37-133
20. Coussa, M., Proietti, S., Schnyder, P., Frascarolo, P., Suter, M., Spahn, D. R., and Magnusson, L.(2004)
Prevention of atelectasis formation during the induction of general anesthesia in morbidly obese patients
Anesth.Analg.; 98: 1491-5, table
21. Damm, C., Vandelet, P., Petit, J., Richard, J. C., Veber, B., Bonmarchand, G., and Dureuil, B.(2005)
[Complications during the intrahospital transport in critically ill patients]
Ann.Fr.Anesth.Reanim.; 24: 24-30
22. Dantzker DR, Brook CJ, Dehart P Lynch JP, and Weg JG.(1979)
Ventilation-perfusion distributions in the adult respiratory distress syndrome
Am Rev Respir Dis; 120: 1039-1052
23. De Jonghe, B., Cook, D., Appere-De-Vecchi, C., Guyatt, G., Meade, M., and Outin, H.(2000)
Using and understanding sedation scoring systems: a systematic review
Intensive Care Med.; 26: 275-285
24. Desbiens, N. A., Wu, A. W., Broste, S. K., Wenger, N. S., Connors, A. F., Jr., Lynn, J., Yasui, Y., Phillips, R. S., and Fulkerson, W.(1996)
Pain and satisfaction with pain control in seriously ill hospitalized adults: findings from the SUPPORT research investigations. For the SUPPORT investigators. Study to Understand Prognoses and Preferences for Outcomes and Risks of Treatmentm
Crit Care Med.; 24: 1953-1961
25. Dick W., Ahnefeld FW. Encke A. Schuster HP.(1996)
Forschung und Ethik in der Notfallmedizin
Anaesthesist 45: 413-419
26. DiRusso SM, Nelson LD, Safcsak K, and Miller RS.(1995)
Survival in patients with severe adult respiratory distress syndrome treated with high-level positive end-expiratory pressure
Crit Care Med.; 23: 1485-1496
27. Doring, B. L., Kerr, M. E., Lovasik, D. A., and Thayer, T.(1999)
Factors that contribute to complications during intrahospital transport of the critically ill
J.Neurosci.Nurs.; 31: 80-86

28. Edmark, L., Kostova-Aherdan, K., Enlund, M., and Hedenstierna, G.(2003)
Optimal oxygen concentration during induction of general anesthesia
Anesthesiology; 98: 28-33
29. Ehrenwerth, J., Sorbo, S., and Hackel, A.(1986)
Transport of critically ill adults
Crit Care Med.; 14: 543-547
30. Evans, A. and Winslow, E. H.(1995)
Oxygen saturation and hemodynamic response in critically ill, mechanically ventilated adults during intrahospital transport
Am.J.Crit Care; 4: 106-111
31. Froese, A. B. and Bryan, A. C.(1974)
Effects of anesthesia and paralysis on diaphragmatic mechanics in man
Anesthesiology; 41: 242-255
32. Fromm, R. E., Jr. and Dellinger, R. P.(1992)
Transport of critically ill patients
J.Intensive Care Med.; 7: 223-233
33. Gebremichael, M., Borg, U., Habashi, N. M., Cottingham, C., Cunsolo, L., McCunn, M., and Reynolds, H. N.(2000)
Interhospital transport of the extremely ill patient: the mobile intensive care unit
Crit Care Med.; 28: 79-85
34. Gentleman, D.(1992)
Causes and effects of systemic complications among severely head injured patients transferred to a neurosurgical unit
Int.Surg.; 77: 297-302
35. Gentleman, D. and Jennett, B.(10-2-1990)
Audit of transfer of unconscious head-injured patients to a neurosurgical unit
Lancet; 335: 330-334
36. Gervais, H. W., Eberle, B., Konietzke, D., Hennes, H. J., and Dick, W.(1987)
Comparison of blood gases of ventilated patients during transport
Crit Care Med.; 15: 761-763

37. Goll, V., Akca, O., Greif, R., Freitag, H., Arkilic, C. F., Scheck, T., Zoeggeler, A., Kurz, A., Krieger, G., Lenhardt, R., and Sessler, D. I.(2001)
Ondansetron is no more effective than supplemental intraoperative oxygen for prevention of postoperative nausea and vomiting
Anesth.Analg.; 92: 112-117
38. Gräfe U.-A.(2003)
Evaluation des Bispektralen Index™ (BIS) zur Messung der Sedierungstiefe auf der Intensivstation
39. Greif, R.(2005)
[Outcome improvement through FIO(2) 1.0: reality or myth?]
Anesthesiol.Intensivmed.Notfallmed.Schmerzther.; 40: 609-612
40. Greif, R., Akca, O., Horn EP, Kurz A, and Sessler DI.(2000)
Supplemental perioperative oxygen to reduce the incidence of surgical-wound infection. Outcome Research Group
N.Engl.J.Med.; 342: 161-167
41. Guidelines Committee of the American College of Critical Care Medicine, Society of Critical Care Medicine and American Association of Critical Care Nurses Transfer Guidelines Task Force.(1993)
Guidelines for the transfer of critically ill patients
Crit Care Med.; 21: 931-937
42. Haug C., Haussmann C. Matzele A. Grünert A.(1994)
Untersuchungen zur präanalytischen Beeinflussung der Blutgasanalytik und zur Übereinstimmung von pulsoxymetrisch und arteriell ermittelter Sauerstoffsättigung
Notfallmedizin 20: 84-87
43. Hedenstierna, G., Tokics, L., Lundquist, H., Andersson, T., Strandberg, A., and Brismar, B.(1994)
Phrenic nerve stimulation during halothane anesthesia. Effects of atelectasis
Anesthesiology; 80: 751-760
44. Hoffman, H. S., Cohen, M. E., and English, L. M.(1985)
Reflex modification by acoustic signals in newborn infants and in adults
J.Exp.Child Psychol.; 39: 562-579
45. Hurst, J. M., Davis, K., Jr., Branson, R. D., and Johannigman, J. A.(1989)
Comparison of blood gases during transport using two methods of ventilatory support
J.Trauma; 29: 1637-1640

46. Hurst, J. M., Davis, K., Jr., Johnson, D. J., Branson, R. D., Campbell, R. S., and Branson, P. S.(1992)
Cost and complications during in-hospital transport of critically ill patients: a prospective cohort study
J.Trauma; 33: 582-585
47. Indeck, M., Peterson, S., Smith, J., and Brotman, S.(1988)
Risk, cost, and benefit of transporting ICU patients for special studies
J.Trauma; 28: 1020-1025
48. Insel, J., Weissman, C., Kemper, M., Askanazi, J., and Hyman, A. I.(1986)
Cardiovascular changes during transport of critically ill and postoperative patients
Crit Care Med.; 14: 539-542
49. Intensive Care Society, S Whiteley, A Gray, P McHugh, and B O'Riordan.(2002)
Guidelines for the transport of critically ill adult
50. J.A.Medina Villanueva J.A.Conacha Torre.(2003)
Ventilation in special situations.Mechanical ventilation during transportation of paediatric patients
An Paediatric (Barc): 385-392
51. Joris, J. L., Poth, N. J., Djamadar, A. M., Sessler, D. I., Hamoir, E. E., Defechereux, T. R., Meurisse, M. R., and Lamy, M. L.(2003)
Supplemental oxygen does not reduce postoperative nausea and vomiting after thyroidectomy
Br.J.Anaesth.; 91: 857-861
52. Jousela I, Mäkeläinen A, Tahvanainen J, and Nikki P.(1992)
Diaphragmatic movement using ultrasound during spontaneous and mechanical ventilation
Acta Anaesth Belg; 43: 165-171
53. Katz, V. L. and Hansen, A. R.(1990)
Complications in the emergency transport of pregnant women
South.Med.J.; 83: 7-10
54. Kiehl, M., Schiele, C., Stenzinger, W., and Kienast, J.(1996)
Volume-controlled versus biphasic positive airway pressure ventilation in leukopenic patients with severe respiratory failure
Crit Care Med.; 24: 780-784

55. Kill, C., Barwing, J., and Lennartz, H.(1999)
[Blood gas analysis in interhospital transfer--a useful extension of respiratory monitoring?]
Anesthesiol.Intensivmed.Notfallmed.Schmerzther.; 34: 10-16
56. Kirby RR, Downs JB, Civetta JM, and et al.(1975)
High level positive end-expiratory pressure (PEEP) in acute respiratory insufficiency
Chest; 67: 156-163
57. Kluge, S., Baumann, H. J., and Kreyman, G.(2005)
Intrahospital transport of a patient with acute exacerbation of chronic obstructive pulmonary disease under noninvasive ventilation
Intensive Care Med.; 31: 886-
58. Kotani, N., Hashimoto, H., Sessler, D. I., Muraoka, M., Hashiba, E., Kubota, T., and Matsuki, A.(2000)
Supplemental intraoperative oxygen augments antimicrobial and proinflammatory responses of alveolar macrophages
Anesthesiology; 93: 15-25
59. Kreeftenberg, H. G., Jr., Ligtenberg, J. J., Arnold, L. G., van der Werf, T. S., Tulleken, J. E., and Zijlstra, J. G.(2000)
Condition on arrival of transferred critically ill patients
Neth.J.Med.; 57: 180-184
60. Kuhlen, R. and Max, M.(1998)
[Weaning from artificial respiration. 2.]
Anaesthesist; 47: 693-703
61. Lachmann B.(1992)
Open up the lung and keep the lung open
Intensive Care Med; 18: 319-321
62. Larsen R. and Ziegenfuß T.(1999)
Beatmung, Grundlagen und Praxis
Springer, Berlin Heidelberg New York: S 380-
63. Lechleuthner A., zur Nleden M., Seng B., Karow T., Blomeyer R., and te Wilde R.(2006)
Intenivverlegung mit Hubschraubern
64. Lieshout van EJ.(2001)
Guideline for the transport of ICU patients
NVIC Monitor Vol.6: 22-25

65. Ligtenberg, J. J., Arnold, L. G., Stienstra, Y., van der Werf, T. S., Meertens, J. H., Tulleken, J. E., and Zijlstra, J. G.(2005)
Quality of interhospital transport of critically ill patients: a prospective audit
Crit Care; 9: R446-R451
66. Loeckinger, A., Kleinsasser, A., Keller, C., Schaefer, A., Kolbitsch, C., Lindner, K. H., and Benzer, A.(2002)
Administration of oxygen before tracheal extubation worsens gas exchange after general anesthesia in a pig model
Anesth.Analg.; 95: 1772-6, table
67. Maas AJR, Dearden M, Teasdale GM, Brookman R, Cohadon R, Jannotti F, Korimi A, Lapierre F, Murray G, Ohmann J, Persson L, Servadei F, Stochetti F, and Unterberg A.(1997)
EBIC-Guidelines for management of severe head injury in adults
Acta Neurochir.; 139: 286-294
68. Manji, M. and Bion, J. F.(1995)
Transporting critically ill patients
Intensive Care Med.; 21: 781-783
69. Martin, G. D., Cogbill, T. H., Landercasper, J., and Strutt, P. J.(1990)
Prospective analysis of rural interhospital transfer of injured patients to a referral trauma center
J.Trauma; 30: 1014-1019
70. Marx, G., Leuwer, M., Piepenbrock, S., and Rueckoldt, H.(1999)
[Intra-hospital transport of patients with increased intracranial pressure]
Anesthesiol.Intensivmed.Notfallmed.Schmerzther.; 34 Suppl 1: S58-S61
71. Marx, G., Ruckoldt, H., Jankowski, M., and Leuwer, M.(1996)
Predictors for deterioration of respiratory function
Intensive Care Med.; 22: 1466-1467
72. Marx, G., Vangerow, B., Hecker, H., Leuwer, M., Jankowski, M., Piepenbrock, S., and Rueckoldt, H.(1998)
Predictors of respiratory function deterioration after transfer of critically ill patients
Intensive Care Med.; 24: 1157-1162
73. Medina Villanueva, J. A., Concha Torre, J. A., Rey, Galan C., and Menendez, Cuervo S.(2003)
[Ventilation in special situations. Mechanical ventilation during transportation of pediatric patients]
An.Pediatr.(Barc.); 59: 385-392

74. Meier, J., Kemming, G. I., Kisch-Wedel, H., Blum, J., Pape, A., and Habler, O. P.(2004)
Hyperoxic ventilation reduces six-hour mortality after partial fluid resuscitation from hemorrhagic shock
Shock; 22: 240-247
75. Meier, J., Kemming, G. I., Kisch-Wedel, H., Wolkhammer, S., and Habler, O. P.(2004)
Hyperoxic ventilation reduces 6-hour mortality at the critical hemoglobin concentration
Anesthesiology; 100: 70-76
76. Meiklejohn, B. H., Smith, G., Elling, A. E., and Hindocha, N.(1987)
Arterial oxygen desaturation during postoperative transportation: the influence of operation site
Anaesthesia; 42: 1313-1315
77. Mrugalla H.R., Samberger M., Schumann W, Seemann G., and Vogel H.(2001)
Übergabemanagement für Beatmungspatienten in der Luftrettung Straubing
78. Neussel W.(2005)
Vorschlag für ein innerklinisches Intensivpatienten und Notfallpatienten-Transportsystem; 42: 177-185
79. Novaes, M. A., Knobel, E., Bork, A. M., Pavao, O. F., Nogueira-Martins, L. A., and Ferraz, M. B.(1999)
Stressors in ICU: perception of the patient, relatives and health care team
Intensive Care Med.; 25: 1421-1426
80. Oczenski w., Werba A Andel H.(1996)
Atem - Atemhilfen , Atemphysiologie und Beatmungstechnik
81. Ostermann, M. E., Keenan, S. P., Seiferling, R. A., and Sibbald, W. J.(15-3-2000)
Sedation in the intensive care unit: a systematic review
JAMA; 283: 1451-1459
82. Pagano, A. and Barazzone-Argiroffo, C.(2003)
Alveolar cell death in hyperoxia-induced lung injury
Ann.N.Y.Acad.Sci.; 1010: 405-416
83. Pullerits, J., Burrows, F. A., and Roy, W. L.(1987)
Arterial desaturation in healthy children during transfer to the recovery room
Can.J.Anaesth.; 34: 470-473

84. Puntillo, K. A.(1990)
Pain experiences of intensive care unit patients
Heart Lung; 19: 526-533
85. Puntillo, K. A., White, C., Morris, A. B., Perdue, S. T., Stanik-Hutt, J.,
Thompson, C. L., and Wild, L. R.(2001)
Patients' perceptions and responses to procedural pain: results
from Thunder Project II
Am.J.Crit Care; 10: 238-251
86. Purhonen, S., Niskanen, M., Wustefeld, M., Mustonen, P., and Hynynen,
M.(2003)
Supplemental oxygen for prevention of nausea and vomiting after
breast surgery
Br.J.Anaesth.; 91: 284-287
87. Purhonen, S., Turunen, M., Ruohoaho, U. M., Niskanen, M., and
Hynynen, M.(2003)
Supplemental oxygen does not reduce the incidence of
postoperative nausea and vomiting after ambulatory gynecologic
laparoscopy
Anesth.Analg.; 96: 91-6, table
88. Putensen, C., Mutz, N. J., Putensen-Himmer, G., and Zinserling, J.(1999)
Spontaneous breathing during ventilatory support improves
ventilation-perfusion distributions in patients with acute respiratory
distress syndrome
Am.J.Respir.Crit Care Med.; 159: 1241-1248
89. Ramsay, M. A., Savege, T. M., Simpson, B. R., and Goodwin, R.(22-6-
1974)
Controlled sedation with alphaxalone-alphadolone
Br.Med.J.; 2: 656-659
90. Rathgeber, J., Schorn, B., Falk, V., Kazmaier, S., Spiegel, T., and
Burchardi, H.(1997)
The influence of controlled mandatory ventilation (CMV),
intermittent mandatory ventilation (IMV) and biphasic intermittent
positive airway pressure (BIPAP) on duration of intubation and
consumption of analgesics and sedatives. A prospective analysis
in 596 patients following adult cardiac surgery
Eur.J.Anaesthesiol.; 14: 576-582
91. Ridley, S. and Carter, R.(1989)
The effects of secondary transport on critically ill patients
Anaesthesia; 44: 822-827

92. Rothen, H. U.(2005)
[High FIO₂ during mechanical ventilation: pro -- con]
Anesthesiol.Intensivmed.Notfallmed.Schmerzther.; 40: 604-608
93. Rubenstein, D. G., Treister, N. W., Kapoor, A. S., and Mahrer, P. R.(18-3-1988)
Transfer of acutely ill cardiac patients for definitive care.
Demonstrated safety in 755 cases
JAMA; 259: 1695-1698
94. Sackner, M. A., Landa, J., Hirsch, J., and Zapata, A.(1975)
Pulmonary effects of oxygen breathing. A 6-hour study in normal men
Ann.Intern.Med.; 82: 40-43
95. Schirmer, U., Heinrich, H., Siebeneich, H., and Vandermeersch, E.(1991)
[Safe intra-clinic transport of intensive-care patients. A concept that avoids monitoring and treatment gaps]
Anesthesiol.Intensivmed.Notfallmed.Schmerzther.; 26: 112-115
96. Sheldon, P. and Day, M. W.(2005)
Sedation issues in transportation of acutely and critically ill patients
Crit Care Nurs.Clin.North Am.; 17: 205-210
97. Shirley, P. J.(23-10-1999)
Australia has considerable experience of transporting critically ill patients
BMJ; 319: 1137-
98. Shirley, P. J. and Bion, J. F.(2004)
Intra-hospital transport of critically ill patients: minimising risk
Intensive Care Med.; 30: 1508-1510
99. Smith, I., Fleming, S., and Cernaianu, A.(1990)
Mishaps during transport from the intensive care unit
Crit Care Med.; 18: 278-281
100. Szem, J. W., Hydo, L. J., Fischer, E., Kapur, S., Klemperer, J., and Barie, P. S.(1995)
High-risk intrahospital transport of critically ill patients: safety and outcome of the necessary "road trip"
Crit Care Med.; 23: 1660-1666
101. Taylor, J. O., Chulay, Landers, C. F., Hood, W., Jr., and Abelman, W. H.(12-12-1970)
Monitoring high-risk cardiac patients during transportation in hospital
Lancet; 2: 1205-1208

102. The Hongkong College of Anaesthesiologists.(9-5-1994)
Guidelines for Transport of critically ill
103. Tobias, J. D., Lynch, A., and Garrett, J.(1996)
Alterations of end-tidal carbon dioxide during the intrahospital transport of children
Pediatr.Emerg.Care; 12: 249-251
104. Tokics, L., Hedenstierna, G., Strandberg, A., Brismar, B., and Lundquist, H.(1987)
Lung collapse and gas exchange during general anesthesia: effects of spontaneous breathing, muscle paralysis, and positive end-expiratory pressure
Anesthesiology; 66: 157-167
105. Uhlig S., Radiometer GmbH.(2001)
Blutgasanalysatoren: Grundlagen, Technik, medizinischer Einsatz
RADIOMETER Referenzhandbuchzur ABL700 Serie: 1-4
106. Uhlig S., Radiometer GmbH.(2001)
Die Messprinzipien der Blutgas-, Elektrolyt-, Metabolit-, Oxymetrie-Analysatoren der ABL700 Serie:
Teil I: Säure-/Basen- Status, Blutgase
RADIOMETER Referenzhandbuchzur ABL700 Serie: 1-19
107. Uhlig S., Radiometer GmbH.(2001)
Die Messprinzipien der Blutgas-, Elektrolyt-, Metabolit-, Oxymetrie-Analysatoren der ABL700 Serie:
Teil II: Elektrolyte / Metaboliten
RADIOMETER Referenzhandbuchzur ABL700 Serie: 1-18
108. Uhlig S., Radiometer GmbH.(2001)
Die Messprinzipien der Blutgas-, Elektrolyt-, Metabolit-, Oxymetrie-Analysatoren der ABL700 Serie:
Teil III: Oxymetrie
RADIOMETER Referenzhandbuchzur ABL700 Serie: 1-11
109. Valenzuela, T. D., Criss, E. A., Copass, M. K., Luna, G. K., and Rice, C. L.(1990)
Critical care air transportation of the severely injured: does long distance transport adversely affect survival?
Ann.Emerg.Med.; 19: 169-172
110. Wallace, P. G. and Ridley, S. A.(7-8-1999)
ABC of intensive care. Transport of critically ill patients
BMJ; 319: 368-371

111. Wallen, E., Venkataraman, S. T., Grosso, M. J., Kiene, K., and Orr, R. A.(1995)
Intrahospital transport of critically ill pediatric patients
Crit Care Med.; 23: 1588-1595
112. Warren, J., Fromm, R. E., Jr., Orr, R. A., Rotello, L. C., and Horst, H. M.(2004)
Guidelines for the inter- and intrahospital transport of critically ill patients
Crit Care Med.; 32: 256-262
113. Waydhas, C.(1999)
Intrahospital transport of critically ill patients
Crit Care; 3: R83-R89
114. Waydhas, C., Schneck, G., and Duswald, K. H.(1995)
Deterioration of respiratory function after intra-hospital transport of critically ill surgical patients
Intensive Care Med.; 21: 784-789
115. Weltärztebund.(1989)
Deklaration von Helsinki über ethische Grundsätze für die medizinische Forschung am Menschen
in: Deutsch E.Medizinrecht Springer, Berlin,Heidelberg, New York
116. Wolfgang Oczenski, Alois Werba Harald Andel.(1996)
Atem - Atemhilfen , Atemphysiologie und Beatmungstechnik
Blackwell Wissenschafts-Verlag Berlin, Wien
117. Wrigge, H. and Putensen, C.(2000)
[BIPAP--a forward-looking ventilation mode? Pro]
Anesthesiol.Intensivmed.Notfallmed.Schmerzther.; 35: 710-714

7 Tabellenverzeichnis

- Tabelle 1: Oxygenierungsindex nach Horowitz in Abhängigkeit vom Alter
- Tabelle 2: Ramsey Sedation Score (RSS)
- Tabelle 3: Eigenschaften häufig eingesetzter Beatmungsgeräte in der Intensivmedizin
- Tabelle 4: Funktionsvergleich zwischen Oxylog 3000 und Servo 300
- Tabelle 5: Funktion der einzelnen Teile der amperometrischen Elektrodenkette (Quelle: Fa. Radiometer GmbH)
- Tabelle 6: Funktion der einzelnen Teile der Referenzelektrode (Quelle: Fa. Radiometer GmbH)
- Tabelle 7: Aufbau der Membran an einer Messelektrode (Quelle: Fa. Radiometer GmbH)
- Tabelle 8: Funktion der einzelnen Teile einer pH-Elektrode (Quelle: Fa. Radiometer GmbH)
- Tabelle 9: Schematische Darstellung der Potentialdifferenzen der Gesamtspannung (Quelle: Fa. Radiometer GmbH)
- Tabelle 10: Funktion der einzelnen Teile einer pCO₂-Elektrode (Quelle: Fa. Radiometer GmbH)
- Tabelle 11: Funktion der einzelnen Teile einer pO₂-Elektrode (Quelle: Fa. Radiometer GmbH)
- Tabelle 12: Funktion der einzelnen Teile einer pO₂- Messkette (Quelle: Fa. Radiometer GmbH)
- Tabelle 13: Verfügbare Oxymetrieparameter der ABL700-Serie von Radiometer Copenhagen (Quelle: Fa. Radiometer GmbH)

8 Abbildungsverzeichnis

- Abbildung 1: Servo 300 der Siemens Medical AG
- Abbildung 2: Kontrollierte Beatmung ohne PEEP (IPPV) [80]
- Abbildung 3: Kontrollierte Beatmung mit PEEP (IPPV) [80]
- Abbildung 4: Druckkontrollierte Beatmung - PCV mit Druck-Zeit-Diagramm und Flow-Zeit-Diagramm [80]
- Abbildung 5: Assistierte Beatmung [80]
- Abbildung 6: SIMV-Beatmung (Synchronous Intermittent Mandatory Ventilation) [80]
- Abbildung 7: ASB (=Assisted Spontaneous Breathing) [80]
- Abbildung 8: CPAP (Continuous Positive Airway Pressure) [80]
- Abbildung 9: BIPAP (Piphasic Positive Airway Pressure) [80]
- Abbildung 10:
- a) CMV-BIPAP: keine Spontanatmung
 - b) IMV-BIPAP: Spontanatmung auf dem unteren Druckniveau
 - c) GENUINER-BIPAP: Spontanatmung auf beiden Druckniveaus
 - d) CPAP: vollständige Angleichung der beiden Druckniveaus [80]
- Abbildung 11: Studienprotokoll der vorliegenden Untersuchung
- Abbildung 12: Servo 300 der Siemens Medical AG
- Abbildung 13: Oxylog 3000 der Dräger Medical AG
- Abbildung 14: Tübinger- Intensiv- Transport- Einheit des Universitätsklinikums Tübingen mit dem Beatmungsgerät Oxylog 3000
- Abbildung 15: Tübinger- Intensiv- Transport- Einheit des Universitätsklinikums Tübingen mit dem Beatmungsgerät Servo 300
- Abbildung 16: Blutgasanalysegerät der Radiometer Copenhagen AG

- Abbildung 17: Allgemeine Darstellung einer potentiometrischen Elektrodenkette (Quelle: Fa. Radiometer GmbH)
- Abbildung 18: Allgemeine Darstellung einer amperometrischen Elektrodenkette (Quelle: Fa. Radiometer GmbH)
- Abbildung 19: Schematische Darstellung einer Referenzelektrode (Quelle: Fa. Radiometer GmbH)
- Abbildung 20: Schematische Darstellung einer pH-Messkette (Quelle: Fa. Radiometer GmbH)
- Abbildung 21: Schematischer Aufbau einer pH-Elektrode (Quelle: Fa. Radiometer GmbH)
- Abbildung 22: Schematische Darstellung des Messprinzips einer pH-Elektrode (Quelle: Fa. Radiometer GmbH)
- Abbildung 23: Nernst-Gleichung und ihre einzelnen Komponenten (Quelle: Fa. Radiometer GmbH)
- Abbildung 24: Schematische Darstellung einer CO₂-Messkette (Quelle: Fa. Radiometer GmbH)
- Abbildung 25: Schematische Darstellung einer pCO₂-Elektrode (Quelle: Fa. Radiometer GmbH)
- Abbildung 26: Schematische Darstellung der Elektrodenkette zur Messung von pCO₂ (Quelle: Fa. Radiometer GmbH)
- Abbildung.27: Schematische Darstellung einer pO₂- Messkette (Quelle: Fa. Radiometer GmbH)
- Abbildung 28: Schematische Darstellung einer pO₂- Elektrode (Quelle: Fa. Radiometer GmbH)
- Abbildung 29: Schematische Darstellung einer pO₂- Messkette (Quelle: Fa. Radiometer GmbH)
- Abbildung 30: Vergleich des Modellspektrums mit dem gemessenen Spektrum (Quelle: Fa. Radiometer GmbH)
- Abbildung 31: Schematische Darstellung des optischen Systems (Quelle: Fa. Radiometer GmbH)
- Abbildung 32: Graphische Darstellung der verschiedenen Hb-Spektren (Quelle: Fa. Radiometer GmbH)

- Abbildung 33: Geschlechterverteilung des Patientenkollektives (n=61 Patienten)
- Abbildung 34 : Altersverteilung des Patientenkollektives in Klassen (n = 61 Patienten)
- Abbildung 35 : Verteilung der Hauptdiagnosen beider Beatmungsgeräte
- Abbildung 36: Transportziele bei Verlegungstransporten mit dem Servo 300
- Abbildung 37: Transportziele bei Verlegungstransporten mit dem Oxylog 3000
- Abbildung 38: Veränderungen des PFI in den einzelnen Transportphasen nach Leitlinie der DIVI Oxylog 3000
- Abbildung 39: Veränderungen des PFI in den einzelnen Transportphasen nach Leitlinie der DIVI Servo 300
- Abbildung 40: Veränderung des PFI in den negativen Bereich während des Transports
- Abbildung 41: Veränderungen des PFI in den negativen Bereich nach dem Transport
- Abbildung 42: Veränderungen der FiO₂-Einstellung ein den einzelnen Transportphasen
- Abbildung 43: Beatmungsmuster vor dem Transport mit dem Oxylog 3000
- Abbildung 44: Beatmungsmuster während dem Transport mit dem Oxylog 3000
- Abbildung 45: Beatmungsmuster nach dem Transport mit dem Oxylog 3000
- Abbildung 46: Beatmungsmuster vor dem Transport mit dem Servo 300
- Abbildung 47: Beatmungsmuster während dem Transport mit dem Servo 300
- Abbildung 48: Beatmungsmuster nach dem Transport mit dem Servo 300
- Abbildung 49: Der Beatmungsmodus BIPAP in den einzelnen Transportphasen
- Abbildung 50: Weiterführung der ursprünglichen Beatmungsform nach dem Transport mit dem Oxylog 3000

- Abbildung 51: Weiterführung der ursprünglichen Beatmungsform nach dem Transport mit dem Servo 300
- Abbildung 52: Vergleich der erforderlichen Sedierung des Patienten zum Transport
- Abbildung 53: Vergleich der PEEP- Einstellungen in den einzelnen Transportphasen
- Abbildung 54 Intubationszeit in Abhängigkeit des Beatmungsverfahrens nach BURC96

9 Anhang

9.1. Studienprotokoll für die Transporte mit dem Servo 300



Durchlaufende Nummer: _____



Innerklinische Studienprotokoll für Transporte mit dem Servo 300:

Geschlecht:	männlich	weiblich	Geburtsdatum:	_____	Uhrzeit:	___:___						
Patientenstatus vor Transport												
Führende Diagnose:	_____											
Wurde der Patient sediert zum Transport:	nein	ja (wenn ja warum?): _____										
Verlegungsgrund(-ist):	CT	OP	Stationwechsel	Verlegungstransport	Sonstige							
Beatmungsgerät:	Servo 300	Servo 900	Eufix 4	Galileo								
Beatmungsmodus vor Transport:	CMV	PCV	ASS	BiPAP	CPAP	PEEP+15						
Blutgasanalyse (vor Transport):	BCCO ₂ : _____ mmHg	SpO ₂ : _____	BGA: Neben Arterienstift									
	pH: _____	pACO ₂ : _____ mmHg	paO ₂ : _____	FiO ₂ : _____	Harmonisindex paO ₂ /FiO ₂ : _____							
Verhalten vor Transport:	AF / BF _____ min	AMV _____ ml	FI _{O₂ _____}									
	IE _____ l	PEEP _____ cmHg	Drucklast: _____ cmHg									
Kreislauf vor Transport:	RR _____ /min	HF/min _____										
Patientenstatus nach Adaption an den Servo 300:												
Beatmungsmodus während Transport:	IPPV	IPPV Assit.	SMV	SMV/ASS	BiPAP	BiPAP/ASS						
	CPAP	CPAP/ASS		PEEP _____								
Blutgasanalyse nach Adaption an den Oxylog:	BCCO ₂ : _____ mmHg	SpO ₂ : _____	BGA: Neben Arterienstift									
	pH: _____	pACO ₂ : _____ mmHg	paO ₂ : _____	FiO ₂ : _____	Harmonisindex paO ₂ /FiO ₂ : _____							
Verhalten während Transport:	AF / BF _____ min	AMV _____ ml	FI _{O₂ _____}									
	IE _____ l	PEEP _____ cmHg	Drucklast: _____ cmHg									
Kreislauf während Transport:	RR _____ /min	HF/min _____										
Patientenstatus 1 h nach Anschluss an das stationäre Beatmungsgerät												
Beatmungsmodus nach Transport:	CMV	PCV	ASS	BiPAP	CPAP	PEEP+15						
Blutgasanalyse (nach Transport):	BCCO ₂ : _____ mmHg	SpO ₂ : _____	BGA: Neben Arterienstift									
	pH: _____	pACO ₂ : _____ mmHg	paO ₂ : _____	FiO ₂ : _____	Harmonisindex paO ₂ /FiO ₂ : _____							
Verhalten nach Transport:	AF / BF _____ min	AMV _____ ml	FI _{O₂ _____}									
	IE _____ l	PEEP _____ cmHg	Drucklast: _____ cmHg									
Kreislauf nach Transport:	RR _____ /min	HF/min _____										
Technisches Handling des Servo 300: (Bewertung nach Schätzwert)												
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
Bedienungskonzept	Atmenenngssystem optisch						Atmenenngssystem akustisch					
Displaybarkeit	Zielgerichtete Beatmungsformen											
Akkukapazität												
Reinigung												
Sonstige Bemerkungen:												

Name Arzt: _____												

9.2. Studienprotokoll für die Transporte mit dem Oxylog 3000



Durchlaufende Nummer: _____



Innereklinische Studienprotokoll für Transporte mit dem Oxylog 3000:

Geschlecht: männlich weiblich Geburtsdatum: _____ Uhrzeit: _____

Patientenstatus vor Transport

Führende Diagnose: _____

Wurde der Patient sediert zum Transport: nicht ja (wenn ja warum?): _____

Verlegungsgrund/-ziel: CT OP Stationswechsel Verlegungstransport Sonstige

Beatmungsgerät: Servo 300 Servo 900 Ebita 4 Galileo

Beatmungsmodus vor Transport: CMV PCV ASB BiPAP CPAP PEEP >15 _____

Blutgasanalyse (vor Transport):
 pH _____ pCO_2 _____ pO_2 _____ SpO_2 _____ BGA: haben Antefilter?
 Harzwirkstoffe paO_2 / FI O_2 _____

Ventilation vor Transport: AF / BF _____ AMV _____ FI O_2 _____

IE _____ PEEP _____ Drucklast _____

Kreislauf vor Transport: RR _____ HFirm _____

Patientenstatus nach Adaption an den Oxylog 3000

Beatmungsmodus während Transport: IPV IPV Assul SIMV SIMV / ASB BiPAP BiPAP / ASB
 CPAP CPAP / ASB PEEP _____

Blutgasanalyse nach Adaption an den Oxylog: pH _____ pCO_2 _____ pO_2 _____ SpO_2 _____ BGA: haben Antefilter?
 Harzwirkstoffe paO_2 / FI O_2 _____

Ventilation während Transport: AF / BF _____ AMV _____ FI O_2 _____

IE _____ PEEP _____ Drucklast _____

Kreislauf während Transport: RR _____ HFirm _____

Patientenstatus 1 h nach Anschluss an das stationäre Beatmungsgerät

Beatmungsmodus nach Transport: CMV PCV ASB BiPAP CPAP PEEP >15 _____

Blutgasanalyse (nach Transport): pH _____ pCO_2 _____ pO_2 _____ SpO_2 _____ BGA: haben Antefilter?
 Harzwirkstoffe paO_2 / FI O_2 _____

Ventilation nach Transport: AF / BF _____ AMV _____ FI O_2 _____

IE _____ PEEP _____ Drucklast _____

Kreislauf nach Transport: RR _____ HFirm _____

Technisches Handling des Oxylog 3000: (Bewertung nach Schulnoten)

	1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5	6
Bedienungskonzept							Atmerungssystem optisch						
Displaybarkeit							Atmerungssystem akustisch						
Akkuparität							Zielgerichtete Beatmungsformen						
Bauform													

Sonstige Bemerkungen: _____
 Name Arzt: _____

9.3. Worte des Dankes

Herrn Professor Dr. Dr. h.c. Bernd Domres danke ich aufs herzlichste für die Überlassung des Themas und für die außerordentlich gute und freundschaftliche Betreuung, die hilfreichen Anregungen und die ständige Unterstützung von der Planung bis zur Fertigstellung dieser Arbeit.

Mein ganz besonderer Dank gilt **Herrn Dr. Jörg Braun**, Ärztlicher Leiter der DRF, für die außerordentliche Unterstützung bei der Auswertung und Fertigstellung dieser Arbeit.

Außerdem gilt mein Dank **Herrn Stefan Lob** für die freundschaftliche Zusammenarbeit und die Unterstützung bei der Planung, Organisation und Durchführung der Untersuchungen.

Ein weiteres Dankeschön an **Herrn Reinhard Jaki**, Ärztlicher Leiter der Luftrettungszentrums Stuttgart und Chefarzt der Anaesthesiologie des Klinikum Schillerhöhe Gerlingen.

Die **Ärzte und das Pflegepersonal** der Anaesthesiologie der Intensivstationen A 5 Nord und A 5 Ost waren maßgeblich an der Durchführung dieser Studie beteiligt. Herzlichen Dank für die Unterstützung und das Verständnis.

Insbesondere bin ich **Herrn OA Dr. Pesch** und **Herrn OA Dr. Kottler** zu großem Dank verpflichtet.

Des Weiteren bedanke ich mich herzlich bei **Intensivfachpflegerin Manuela Heller** für die geduldige und freundschaftliche Unterstützung bei der Organisation und Durchführung der Verlegungstransporte auf den Intensivstationen A 5 Nord und A 5 Ost.

Herzlichen Dank sage ich der **Firma Dräger Medical**, für die Bereitstellung des Beatmungsgerätes und die Überlassung sämtlicher Materialien, sowie der **Firma Maquet** für die freundliche Unterstützung.

Ebenfalls gilt mein Dank den **Medizintechnikern der Universitätsklinik Tübingen** für den zweifachen Umbau der Intensivtransporteinheit.

Ebenso herzlich bedanken möchte ich mich bei **Herrn Dr. Christoph Gründler** für die konstruktiven Vorschläge beim Korrekturlesen.

Desweiteren möchte ich mich bei **Herrn Markus Böhm** für die ständige Unterstützung bei Computerproblemen und die Hilfe bei der abschliessenden Formatierung dieser Arbeit ausdrücklich bedanken.

Ein herzliches Dankeschön meinen Kommilitonen **Rainer Schnell, Katrin Dierolf, Katrin Liebhardt**, sowie **Silke Hemminger** und **Rüdiger Albrecht** die mich immer wieder ermunterten weiterzumachen und mir mit zahlreichen Tips und Ratschlägen die Fertigstellung dieser Arbeit sehr erleichtert haben.

Nicht zu letzt gilt mein ganz besonderer Dank meinen Eltern **Manfred und Fridl Sackmann** für die jahrelange Unterstützung in allen Belangen, ohne die ich das alles nicht erreicht hätte.

9.4. Curriculum vitae

Jochen Sackmann

Geburtsdatum: 22.09.1976
Geburtsort: Freudenstadt
Familienstand: ledig
Konfession: evangelisch
Staatsangehörigkeit: deutsch
Eltern: Manfred Sackmann, Bilanzbuchhalter
Fridl Sackmann, Diplom-Sekretärin
Geschwister: Bärbel Sackmann, *15.03.1973
Timo Sackmann, *18.3.1980

Schullaufbahn

1983 - 1987 Grundschule Wittlensweiler
1987 - 1997 Kepler – Gymnasium, Freudenstadt
1997 Abitur

Medizinische Ausbildung

1997 - 1998 Zivildienst als Rettungssanitäter beim DRK KV Freudenstadt
1998 - 1999 Ausbildung zum Rettungsassistenten beim DRK KV Freudenstadt
seit 5/2000 Medizinstudium an der Eberhardt-Karls-Universität Tübingen
3/2002 Physikum (3,0)
4/2003 1. Staatsexamen, (3,0)
9/2005 2. Staatsexamen, (2,5)
seit 10/2005 Praktisches Jahr am Klinikum Friedrichshafen in den Fächern Chirurgie,
Innere Medizin und Anästhesiologie
7.11.2006 3. Staatsexamen

Praktische Erfahrungen

Famulaturen

8/2003 – 9/2003	Altonaer Kinderkrankenhaus, Hamburg, Pädiatrie
2/2004 – 3/2004	Berufsgenossenschaftliche Unfallklinik Tübingen, Unfallchirurgie
3/2004 - 4/2004	Lungenfachklinik Schillerhöhe, Gerlingen, Anaesthesie
8/2004 - 9/2004	Basehospital Bundaberg, Australien, Emergency Medicine
10/2004 - 11/2004	Royal Northshore Hospital Sydney, Australien, Intensive Care

Weitere Tätigkeiten

seit 1999	regelmäßige Tätigkeit als Rettungsassistent (Notarztwagen, Rettungswagen und Krankentransport)
seit 2002	Fachreferent und Mitglied der Prüfungskommission an der DRK-Landesschule in Pfalzgrafenweiler