

Anesthetic Conserving Device
Arbeitsplatzbelastung und praktische Umsetzung

Von der Medizinischen Fakultät
der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen
zur Erlangung des akademischen Grades einer Doktorin der Medizin genehmigte
Dissertation

vorgelegt von

Ingeborg Anna Elisabeth Biener

aus Hannover

Berichter: Herr Privatdozent
Dr. med. Thomas Rudi Edward Marx

Herr Universitätsprofessor
Dr. med. Rolf Rossaint

Tag der mündlichen Prüfung: 12.09.2008

Diese Dissertation ist auf den Internetseiten der Hochschulbibliothek online verfügbar.

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis.....	II
1 Einleitung	1
1.1 Allgemeines.....	1
1.2 Beatmung und Sedierung auf Intensivstationen.....	2
1.2.1 Anesthetic Conserving Device	3
1.3 Raumluftrichtlinien	4
1.4 Mutterschutzrichtlinien	5
1.5 Untersuchungsziel	5
2 Material und Methoden	6
2.1 Experimenteller Versuchsteil	6
2.1.1 Material	6
2.1.2 Methoden.....	7
2.2 Bautechnische und personale Gegebenheiten	10
2.2.1 Untersuchte Kliniken.....	10
2.2.2 Methoden.....	11
3 Ergebnisse	13
3.1 Experimenteller Versuchsteil	13
3.1.1 Vorversuche	13
3.1.2 Hauptversuchsreihe	13
3.2 Bautechnische und personale Gegebenheiten	18
3.2.1 Anästhesiologische Intensivstation des Bundeswehrkrankenhauses Ulm	18
3.2.2 Intensivstation der BG Klinik Bergmannstrost	21
3.2.3 Interdisziplinäre Intensivstation des Klinikums Rechts der Isar	23
3.2.4 Gegenüberstellung der drei Kliniken	26
4 Diskussion	27
4.1 Neuerungen bei der Sedierung auf Intensivstationen.....	27
4.2 Arbeitsplatzbelastung	29
4.3 Bautechnische und personale Gegebenheiten	30
4.3.1 Patientengut.....	30
4.3.2 Personal	31
4.3.3 Notwendige bautechnische Maßnahmen.....	32
4.4 Schlussfolgerung	34
5 Zusammenfassung.....	35
6 Literaturverzeichnis.....	37
7 Anhang	43
8 Danksagung.....	46
9 Erklärung zur Datenaufbewahrung	47
10 Lebenslauf.....	48

Abkürzungsverzeichnis:

AnaConDa [®]	Anesthetic Conserving Device
BDA	Berufsverband Deutscher Anästhesisten
BG	Berufsgenossenschaft
BG-Klinik	Klinik der Berufsgenossenschaft
BWK	Bundeswehrkrankenhaus
COPD	chronisch obstruktive Lungenerkrankung
DGAI	Deutsche Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin
DIN	Deutsche Industrienorm
EN	Europäische Norm
G-DRG- System	German Diagnosis Related Groups System
M	Mittelwert
MAC	minimale alveoläre Konzentration
MAK	maximale Arbeitsplatz-Konzentration
MRI	Klinikum rechts der Isar, München
MuSchG	Mutterschutzgesetz
NIOSH	National Institute for Occupational Safety and Health
PJ	Praktisches Jahr
PRIS	Propofol-Infusionssyndrom
RLT-Anlage	Raumluftechnische Anlage
SD	Standardabweichung

1 Einleitung

1.1 Allgemeines

Beatmung und die meist damit verbundene Sedierung von Intensivpatienten stellt für den Intensivmediziner eine große Herausforderung da. Zum einen ist der Intensivpatient per definitionem schon schwerkrank oder schwerverletzt, und zum anderen möchte man ihn nicht durch Nebenwirkungen der Therapie zusätzlich schädigen. So haben zum Beispiel gerade polytraumatisierte Patienten ein erhöhtes Risiko eines Multiorganversagens, auch wenn die Zahlen in den letzten Jahren gesunken sind. In einer Untersuchung von RM. Durham wurde bei 18,7% der Traumapatienten ein Organversagen und bei 5,1% ein Multiorganversagen diagnostiziert. Die Sterblichkeit beim Versagen von drei Organen lag bei 67%, bei vier Organen schon bei 90% [8]. Viele der Medikamente, die zur Sedierung verwendet werden, schaden aber auf Grund ihrer Abbauwege Niere und/oder Leber, besonders wenn sie über eine längere Zeit gegeben werden. Es gilt abzuwägen, welche Therapie man trotz etwaiger Risiken verordnet. Aber nicht nur der Patient stellt den Intensivmediziner vor eine Herausforderung, auch die wirtschaftliche Seite darf nicht vernachlässigt werden. Die Therapie sollte so effektiv, dabei aber auch so kostengünstig wie möglich sein. Außerdem sollte die Liegedauer möglichst kurz gehalten werden. Durch das G-DRG-System wird der Klinik pro Patient eine Fallpauschale gezahlt. Diese Fallpauschale errechnet sich aus den vorliegenden Diagnosen des Patienten. Dabei werden die eigentliche Liegedauer und die wirklich angefallenen Therapiekosten nicht berücksichtigt. Wenn die realen Therapiekosten höher sind als die gezahlte Fallpauschale, macht die Klinik Verluste. Deswegen erwartet das Krankenhausmanagement vom behandelnden Arzt eine möglichst kostengünstige Therapie und eine Verringerung der Liegezeiten. Eine Verkürzung der Liegezeiten hat außerdem noch den wirtschaftlich positiven Effekt, dass mehr Patienten pro Jahr behandelt werden können.

1.2 Beatmung und Sedierung auf Intensivstationen

Für die Sedierung werden vor allem zwei Hauptmöglichkeiten verwendet: Die Sedierung mit volatilen oder die mit intravenös applizierten Medikamenten. Selbstverständlich ist auch eine Kombination beider möglich. Auf den meisten Intensivstationen wird hauptsächlich eine Sedierung mit intravenös applizierten Medikamenten vorgenommen. Zu den am häufigsten verwendeten Arzneimitteln zählen in Deutschland Propofol und Midazolam [26].

Propofol gehört zur Gruppe der Allgemeinanästhetika. Es ist für Narkose und die Langzeitse-dierung bis zu sieben Tagen zugelassen. Für letztere gilt die Zulassung für Personen ab 16 Jahren. Die Clearance erfolgt metabolisch hauptsächlich in der Leber, wobei alle Metaboliten inaktiv sind. Die Eliminationshalbwertszeit der β -Phase liegt im Bereich von 30-60 Minuten. Midazolam ist ein Benzodiazepinderivat. Es ist für Kinder und Erwachsene zur Anästhesie, Analgosedierung und zur Sedierung auf Intensivstationen zugelassen. Nach intravenöser Applikation wird Midazolam zu 96-98% an Plasmaproteine gebunden. Es wird nahezu vollständig durch Biotransformation eliminiert und renal ausgeschieden. Die Eliminationshalb-wertszeit liegt zwischen 1,5 und 2,5 Stunden. Bei schwerstkranken Patienten ist sie bis zum Sechsfachen verlängert [11].

Die volatile Sedierungsform wird aus mehreren Gründen vor allem in Deutschland meist noch nicht standardmäßig vorgenommen: Bis jetzt konnte eine Sedierung mit volatilen Anästhetika auf Intensivstationen nur mit herkömmlichen Kreisteilen und der damit verbundenen notwendigen Narkosegasabsaugung durchgeführt werden, da die Beatmungsgeräte auf Intensivstationen offene Systeme sind und nicht für den Gebrauch von volatilen Anästhetika gebaut. Ein Umbau zieht nicht nur hohe Kosten nach sich, sondern ist auch mit einem hohen technischen Aufwand verbunden. Außerdem sind die für Narkosen standardmäßig verwendeten volatilen Anästhetika Sevofluran und Isofluran für eine Langzeitsedierung noch nicht zugelassen. Eine Verwendung dieser Medikamente ist zurzeit nur im Rahmen von Studien oder im „Off-Label-Use“ möglich. So ist auch die Sedierung mit volatilen Anästhetika in den S2-Leitlinien der DGAI noch nicht verankert, da es zum Zeitpunkt der Herausgabe nur einzelne Studien gab [25].

Sevofluran gehört in die Gruppe der Inhalationsanästhetika und ist für die Anästhesie bei Erwachsenen und Kindern zugelassen. Auf Grund der niedrigen Löslichkeit im Blut kommt es zu einem schnellen An- und Abfluten. Da im Alter die MAC-Werte abnehmen, genügt bei älteren Patienten eine deutlich niedrigere Dosierung. Sevofluran wird zu 95% über die Lunge ausgeschieden, nur 5% werden zu Hexafluorisopropanol verstoffwechselt. Es kann dabei zu einem Anstieg des Serumfluorids kommen.

Isofluran gehört in die pharmakotherapeutische Gruppe der „halogenierten Kohlenwasserstoffe“. Auch Isofluran ist für die Narkose sowohl von Erwachsenen als auch von Kindern zugelassen. Anders als bei Sevofluran ist von einer Kombination mit Alpha- und Betasympathomimetika abzuraten, da es zu schweren ventrikulären Herzrhythmusstörungen kommen kann. Isofluran wird nur minimal metabolisiert. Etwa 95% werden über die Lunge abgeatmet, 0,2% werden verstoffwechselt. Wie bei Sevofluran verringert sich der MAC-Wert mit zunehmenden Lebensalter [11].

1.2.1 Anesthetic Conserving Device

Das Anesthetic Conserving Device (AnaConDa[®]) ist ein von Hudson RCI[®] entwickeltes Gerät. Es ist in Abbildung 1 dargestellt. Es enthält einen Aktivkohlefilter. Dieser absorbiert das volatile Anästhetikum in der Expirationsphase und gibt das Narkosegas in der Inspirationsphase an den Patienten ab. Anstelle des Beatmungsfilters wird es zwischen Y-Stück und Patienten in das Beatmungsschlauchsystem eingebaut. Das Narkosegas wird über eine Infusionspumpe zugeführt. AnaConDa[®] ermöglicht somit eine Sedierung mit Isofluran oder Sevofluran auf Intensivstationen mit einem konventionellen offenen Beatmungsgerät und einer Restgasabsaugung. Das Gerät ist ein Einmalartikel und kann für maximal 24h verwendet werden. Danach muss es ausgetauscht werden. Auf Grund des Gasverhaltens ist ein Einsatz mit Desfluran nicht möglich.

Der Verbrauch von Sevofluran bei Verwendung von AnaConDa[®] entspricht in etwa der Menge, die bei der herkömmlichen low-flow-Anästhesie benötigt wird [8,38].

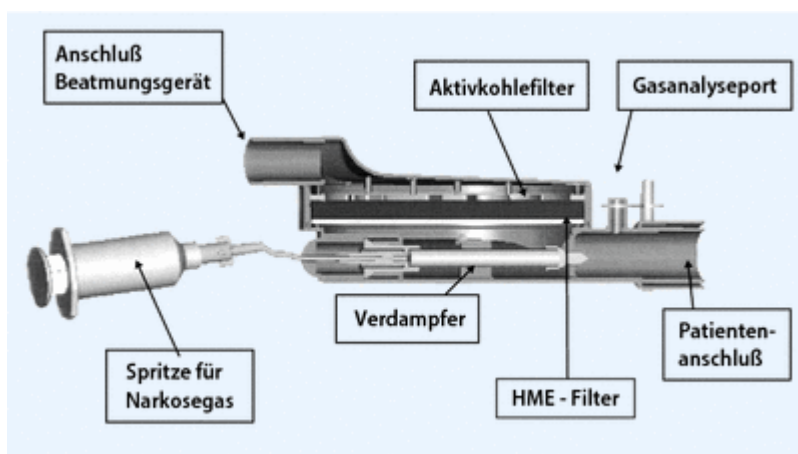


Abbildung 1: Schematischer Aufbau des "AnaConDa®-Systems". Darstellung aus EA. Nickel et al. [29]

1.3 Raumluftrichtlinien

Beim Einsatz volatiler Anästhetika auf Intensivstationen müssen nun verschiedene technische und organisatorische Punkte neu berücksichtigt werden, die bei der Verwendung von intravenösen Sedativa nicht ins Gewicht fallen. Auch wenn es für Sevofluran noch keine bundeseinheitlichen MAK-Werte gibt, liegen doch Empfehlungen der BDA-Kommission zum „Gesundheitsschutz am anästhesiologischen Arbeitsplatz“ vor [6].

Ferner gibt es in Bezug auf die Raumluftechnik in Krankenhäusern Richtlinien, die selbstverständlich auch bei Verwendung von Narkosegasen auf Intensivstationen beachtet werden müssen. Dies hat mehrere Auswirkungen. So muss vor jeder Änderung der RLT-Anlagen laut DIN 1946-4 eine Bedarfsanalyse durchgeführt werden. Danach muss ein Projekt-Pflichtenheft erstellt werden. Die RLT-Anlagen im Krankenhaus haben verschiedene Aufgaben: So sollen sie unter anderem ein physiologisch günstiges und behagliches Raumklima aufrechterhalten, der Infektionsprophylaxe durch Verringerung der Konzentration von Mikroorganismen dienen und den Gehalt an schädigenden Gasen und Geruchsstoffen vermindern. Die Krankenhausbereiche sind in verschiedene Raumklassen eingeteilt, die unterschiedlichen Anforderungen genügen müssen. Diese unterscheiden sich einerseits durch die hygienischen Anforderungen in Bezug auf die Keimarmut der Zuluft und der damit notwendigen Filterstufen als auch andererseits durch den Mindest-Außenvolumenstrom. Intensivstationen fallen unter die Raumklasse 3. Dies bedeutet, dass in den Bettenzimmern ein Mindest-Außenluftvolumenstrom von 40 m^3 pro Stunde und Person vorhanden sein muss, die Temperatur zwischen 24°C und 26°C liegen und eine relative Feuchte von 30-60% herrschen muss. Eine Richtlinie für Intensivstationen mit Narkosegasnutzung existiert in der DIN 1946-4 nicht. Man könnte aber die Richtlinien für Aufwachräume (Raumklasse 1.3) oder Eingriffsräume (Raumklasse 2.1) mit Narkosegas-Anwendung übernehmen. Nach dieser Richtlinie ist ein Mindest-Außenluftvolumenstrom von 150 m^3 pro Stunde und Patient vorgeschrieben [7]. Eine weitere Richtlinie, die die Heizungs- und Raumluftechnik in Krankenhäusern regelt, ist die VDI 2167. Sie ist sowohl bei Neuanlagen als auch bei Sanierungen anzuwenden. Dort sind auf Intensivstationen eine Überdruckbelüftung, eine Luftfilterung F9, sowie ein Mindest-Außenvolumenstrom von 100 m^3 pro Stunde und Patient vorgesehen. In Aufwachräumen oder Überwachungsräumen sollte der Abluftvolumenstrom 150 bis 200 m^3 pro Stunde und Bett betragen, wenn noch Inhalationsnarkotika in großem Umfang angewendet werden. Die Rücklufldurchlässe können entweder in den Seitenwänden nahe der Decke oder in der Decke selbst liegen. Eine Absaugung in Bodennähe ist auf Grund hohen Raumluftwechsels nicht notwendig [38].

1.4 Mutterschutzrichtlinien

Auch die Mutterschutzrichtlinien sind zu beachten. Denn nach dem Gesetz zum Schutze der erwerbstätigen Mutter (§4) und der Verordnung zum Schutze der Mütter am Arbeitsplatz (§5), darf eine schwangere Frau am Arbeitsplatz nicht mit potenziell schädlichen Gasen oder Dämpfen in Berührung kommen [13,40]. Solange kein Narkosegas auf Intensivstationen verwendet wird, können Schwangere mit den im Gesetz vorgeschriebenen Einschränkungen dort eingesetzt werden. Wird nun aber Narkosegas zur Sedierung verwendet, müssten Schwangere meist auf anderen Stationen beschäftigt werden, was sich auf die Personalpolitik der Krankenhäuser auswirken könnte.

1.5 Untersuchungsziel

Die vorliegende Arbeit besteht aus zwei Teilen: Im ersten Teil geht es um die Frage, wie sicher AnaConDa[®] im Bezug auf die Arbeitsplatzsicherheit ist und wie stark sich Sevofluran bei Verwendung von AnaConDa[®] im Raum unter verschiedenen Bedingungen (mit Narkosegasabsaugung, ohne Narkosegasabsaugung aber mit Filter und ohne Absaugung und ohne Filter) anreichert.

Im zweiten Teil der Arbeit wurde untersucht, welche Lüftungssysteme auf Intensivstationen vorhanden sind (am Beispiel der anästhesiologischen Intensivstation im BWK Ulm, der Intensivstation der Berufsgenossischen Klinik Bergmannstrost in Halle und der interdisziplinären Intensivstation des Klinikums Rechts der Isar in München), welche weiteren Absaugvorrichtungen notwendig wären und welche Umbaumaßnahmen vorgenommen werden müssten, wenn man Narkosegase auf Intensivstationen mit AnaConDa[®] verwenden wollte.

2 Material und Methoden

2.1 Experimenteller Versuchsteil

2.1.1 Material

AnaConDa[®]

AnaConDa[®] ist eine Art Miniaturverdampfer mit Aktivkohlefilter. Dieser gibt in der Inspirationsphase des Patienten die Narkosegase ab und resorbiert sie in der Expirationsphase. Ein Gerät ist für 24h zugelassen, danach muss es ausgetauscht werden. Wir setzten AnaConDa[®] in zwei Bereichen ein: In allen Messreihen wurde AnaConDa[®] gemäß Vorschriften des Herstellers verwendet und in Messreihe 4 wurde es außerdem anstelle der Narkosegasabsaugung am Ausgang des Beatmungsgerätes als Filter eingesetzt. Pro Messung wurde bei Messreihe 1 und 4 eine AnaConDa[®] verwendet. Es gab bei Messreihe 1 vier und bei Messreihe 4 eine Ausnahme. Dort wurde AnaConDa[®] für zwei Versuche verwendet. Bei Messreihe 2 und 3 wurde für jeweils zwei Versuche eine AnaConDa[®] benutzt.

Braun Perfusor Compact mit Hudson RCI-Spritze 50ml und Sevofluran

Anders als bei der Verwendung von Sevofluran in Kreisteilen, bei denen es mit Hilfe von Vaporen verdampft wird, wird bei der Applikation von Sevofluran mit AnaConDa[®] dieses über einen Perfusor dem Patienten zugeführt. Beim Braun Perfusor Compact kann eine Infusionsrate von 0,01-200 ml/h eingestellt werden. Bei unseren Versuchen betrug die Infusionsrate durchgehend 3 ml/h.

Schlauchverbindungen

Für die Verbindung zwischen Beatmungsgerät und Testlunge wurden Siliconschläuche verwendet. Es gab zwei identische Sätze von Siliconschläuchen, die im Wechsel verwendet wurden.

Siemens Servo Ventilator 900C

Bei allen Versuchen wurde dasselbe Beatmungsgerät verwendet, und zwar der Siemens Servo Ventilator 900C.

„Blower“ und Testlunge

Um die Versuche möglichst realitätstreu zu gestalten, wurde die Testlunge mit einem „Blower“ kombiniert, der die Atembewegungen mimt.

Narkosegasfortleitung

Die verwendete Narkosegasfortleitung hatte eine Saugleistung von 50-60 l/min. Sie entspricht der EN 740. Diese Narkosegasfortleitung wurde bei den Versuchen der Messreihe 1 und bei allen Vorversuchen angeschlossen. Bei den übrigen Messreihen wurde sie nicht verwendet.

Brüel & Kjaer Multigasmonitor Typ 1302

Die Messung des Austritts von Sevofluran wurde über dem Beatmungsgerät mit dem Brüel & Kjaer Multigasmonitor gemessen. Die Messung erfolgte infrarot-akustisch. Mit diesem Monitor können die Konzentrationen von mehreren volatilen Substanzen bestimmt werden. Die angezeigten Ergebnisse können auch gespeichert werden und zwar bis zu 10 Messreihen gleichzeitig. Die Genauigkeit beträgt 0,1% des Messwertes. Der Nachteil dieses Geräts ist der relativ hohe Preis und die Notwendigkeit einer regelmäßigen Kalibrierung [12]. Die Messintervalle betrugen 2,5 min.

PM 8060

Für die Messung der inspiratorischen Gase wurde ein PM 8060 der Firma Dräger verwendet.

2.1.2 Methoden

Im ersten Teil der Arbeit wurde AnaConDa[®] unter drei verschiedenen Voraussetzungen im Narkosegaslabor der Abteilung Kardioanästhesie der Ulmer Universitätsklinik am Safranberg getestet. Der Versuchsraum hat ein Volumen von etwa 66 m³. Er verfügt über eine Narkosegasfortleitung mit einer Saugleistung von 50-60 l/min. Dies entspricht einer normalen Narkosegasfortleitung im OP. Die Belüftung des Raumes erfolgt nur über die Tür und das Fenster, die während der Durchführung geschlossen waren und nur zwischen den Versuchen geöffnet wurden. Eine Absaugung saugt die Luft von innen nach außen. Eine Klimaanlage ist nicht vorhanden.

Der Versuchsaufbau (siehe Abbildung 2) war bei allen Versuchsreihen gleich und alle Messungen fanden unter denselben Bedingungen statt. An ein Narkosebeatmungsgerät der Firma Siemens der Marke Servo 900C-AN wurden normale Patientenschläuche (Siliconschläuche)

angeschlossen. Daran wurde AnaConDa[®] angeschlossen. Auf der anderen AnaConDa[®]-Seite befand sich ein „Blower“, der die Atembewegungen des Patienten mimte. An dem „Blower“ war die Testlunge angeschlossen. Geräteseitig wurden die inspiratorischen Gase mit dem PM 8060 der Firma Dräger gemessen. „Patientenseitig“ erfolgte die Messung mit einem Brüel & Kjaer Gas Monitor Typ 1302. Das expiratorische Minutenvolumen betrug 8 l/min. Der Perfusor lief mit 3 ml/h. Für jeden Versuch wurde eine neue AnaConDa[®] verwendet, mit Ausnahme der Versuchsreihen 2 und 3, vier Messungen der Versuchsreihe 1 und einer Messung der Versuchsreihe 4, bei denen für jeweils zwei Messungen eine AnaConDa[®] verwendet wurde.

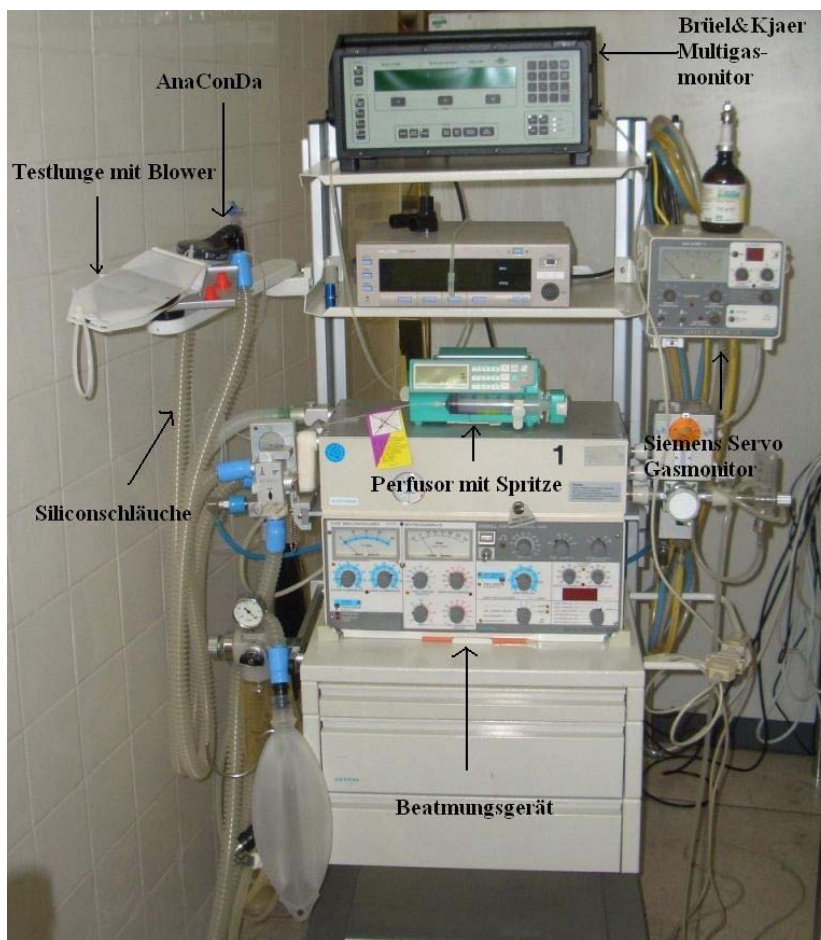


Abbildung 2: Versuchsaufbau AnaConDa[®]

2.1.2.1 Versuche mit verschiedenen Messpunkten

Bei dieser Versuchsreihe wurden zehn Versuche mit Narkosegasabsaugung durchgeführt. Ein Versuch dauerte 6 Stunden. An unterschiedlichen Messpunkten wurde die Raumluftanreicherung gemessen. Bei zwei Versuchen befand sich der Messpunkt an AnaConDa[®] (VVM1+2 an AnaConDa[®]), bei jeweils zwei Versuchen 30 cm über bzw. 30 cm unterhalb AnaConDa[®] (VVM3+4 über AnaConDa[®] bzw. VVM5+6 unterhalb AnaConDa[®]). Bei drei Versuchen lag der Messpunkt vor dem Servo (VVM7-9 vor Servo), da dies den möglichen Platz des Anästhesisten darstellt, und bei einem Versuch befand sich der Messpunkt links vom Servo, etwa 30cm über dem Boden (VVM10 über Boden).

2.1.2.2 Hauptversuchsreihe

In der Hauptversuchsreihe wurden vier Messreihen durchgeführt. Der Messpunkt befand sich in allen Messreihen über dem Beatmungsgerät. Pro Messreihe wurden zehn Versuche à 6 Stunden durchgeführt. Die 1. Messreihe betraf Messungen mit Narkoseabsaugung (HV1 mit Absaugung). Die 2. und 3. Messreihe wurde ohne Narkosegasabsaugung durchgeführt (HV2+3 ohne Absaugung). Die 4. Messreihe wurde ohne Narkosegasabsaugung, aber mit AnaConDa[®] als Aktivkohlefilter am Ausgang der Narkosegasabsaugung des Servo 900 C vorgenommen (HV4 ohne Absaugung, mit Filter). Im Gegensatz zu den Messreihen 1 und 4 mit jeweils einer Messung wurden bei den Messreihen 2 und 3 jeweils zwei Versuche nacheinander durchgeführt und für jeweils zwei Versuche eine AnaConDa[®] verwendet.

2.2 Bautechnische und personale Gegebenheiten

2.2.1 Untersuchte Kliniken

2.2.1.1 BWK Ulm

Das Bundeswehrkrankenhaus Ulm hat zurzeit etwa 470 Betten [42] und besteht aus 15 Abteilungen (Anästhesie und Intensivmedizin, Augenheilkunde, Chirurgie, Dermatologie, Fachzahnarzt, HNO, Innere Medizin, Mund-Kiefer-Gesichts-Chirurgie, Neurochirurgie, Neurologie, Nuklearmedizin, Orthopädie, Pathologie, Radiologie und Urologie). Neben Soldaten werden auch zivile Patienten behandelt. Da das Krankenhaus im Moment umgebaut wird, variiert die Anzahl der Betten leicht.

Die anästhesiologische Intensivstation des Bundeswehrkrankenhauses Ulm hat 12 Betten, die in Einzelzimmern untergebracht sind. Alle Zimmer sind als Beatmungsplätze ausgestattet. Ferner befinden sich auf der Intensivstation auch die Druckkammer des Krankenhauses, sowie ein Eingriffsraum, der einem Not-OP entspricht.

2.2.1.2 BG-Klinik Bergmannstrost Halle

In der BG Klinik Bergmannstrost stehen folgende Kliniken zur Verfügung: Klinik für Unfall- und Wiederherstellungschirurgie, Klinik für Allgemein- und Viszeralchirurgie, Zentrum für Rückenmarkverletzte und Klinik für Orthopädie, Klinik für Plastische- und Handchirurgie und Brandverletzentzentrum, Klinik für Neurochirurgie, Klinik für fächerübergreifende Frührehabilitation, Klinik für Anästhesiologie, Intensiv- und Notfallmedizin, Klinik für Bildgebende Diagnostik und Interventionsradiologie, Medizinische Klinik und Klinik für Neurologie. Mit der Neueröffnung dieser Klinik 1997 entstand eines der modernsten Traumazentren Europas. Die Intensivstation der Klinik ist eine anästhesiologische/internistische Abteilung mit 21 Betten, wovon 12 Betten zur Anästhesiologischen Intensivstation und 8 Betten zur Internistischen Intensivstation gehören. 1 Bett fungiert als sogenanntes „Hausbett“. Es gibt 2 Isolierzimmer mit Schleuse, 3 Einzelzimmer und 8 Doppelzimmer. Außerdem ist noch ein Eingriffsraum vorhanden, in dem bei Bedarf noch 3 weitere Patientenbetten untergebracht werden können. Alle Zimmer sind als Beatmungsplätze ausgestattet.

2.2.1.3 Klinikum Rechts der Isar München

Das Klinikum Rechts der Isar ist das Universitätsklinikum der Technischen Universität München. Es ist ein Klinikum der Supramaximalversorgung. 2006 betrug die Anzahl der Planbetten 1063. Dem Klinikum gehören 31 Kliniken und Abteilungen an. 2006 wurden 42.179 Patienten stationär und 167.390 ambulant behandelt. Die durchschnittliche Verweildauer der stationären Patienten betrug 8,01 Tage.

Die interdisziplinäre Intensivstation 6/6 wurde im Jahr 2007 neu gebaut und wird von der anästhesiologischen Klinik betreut. Sie ist seit Mai 2007 in Betrieb, wobei zunächst nur 8 Betten belegt wurden. Die Anzahl der Betten wurde nach und nach aufgestockt, und seit November 2007 gibt es dort 14 Betten, die in 2-Bett-Zimmern untergebracht sind. Isolierzimmer sind nicht vorhanden. In einem Zimmer kann eine Trennwand ausgeklappt und so der vordere Teil des Zimmers als Schleuse benutzt werden. Vor Mai 2007 wurde die Intensivstation 6/0 benutzt. Dort gab es 8 Betten, die in 2-Bett-Zimmern untergebracht waren. Die Patientendaten von 2006 beziehen sich noch auf die Station 6/0. Da das Patientengut auf der neuen Station vergleichbar zur alten Station ist, sind die Daten der Station 6/0 durchaus einsetzbar. Die bautechnischen Daten betreffen schon die neue Station 6/6. Zusätzlich zur interdisziplinären Intensivstation 6/6 gibt es noch vier weitere Intensivstationen im Klinikum Rechts der Isar: zwei internistische, eine chirurgische und eine gynäkologische.

2.2.2 Methoden

Im zweiten Teil der Arbeit wurden die baulichen Gegebenheiten der anästhesiologischen Intensivstation des Bundeswehrkrankenhauses Ulm, der Intensivstation der Berufsgenossenschaftlichen Klinik Bergmannstrost in Halle/Saale und der interdisziplinären Intensivstation des Universitätsklinikums Rechts der Isar in München untersucht.

Bei der Auswahl der Kliniken wurden bewusst drei verschiedene Klinikarten berücksichtigt. So wurden ein BWK, eine BG-Klinik und ein Universitätsklinikum untersucht. Die Datenerhebung erfolgte folgendermaßen: Nach Feststellung der statistischen Daten (Anzahl der Betten, der Beatmungsplätze, der Patienten/Jahr, der beatmeten Patienten, der durchschnittlichen Verweildauer, Einteilung der Erkrankungen/Verletzungen, Personalstärke und Arbeitszeiten) wurden alle drei Intensivstationen fotografiert und ihre technischen Einrichtungen genau untersucht. Der Schwerpunkt lag in den Zu- und Abluftleitungen und wo diese im Patientenzimmer angelegt sind. Es wurde überprüft, ob Absaugvorrichtungen schon vorhanden sind, ob

sie für den Gebrauch von volatilen Anästhetika zugelassen sind und ob auch die vorhandenen Klimaanlage den Richtlinien zur Nutzung volatiler Anästhetika genügen. Danach erfolgte zusammen mit dem Betriebstechnischen Dienst und der Medizintechnik bzw. für das Klinikum Rechts der Isar mit dem Bauamt der Technischen Universität München die Besprechung der Baupläne, mit Schwerpunkt auf der Lufttechnik und den Lüftungsprotokollen. Daraus wurde eruiert, ob und wenn ja welche Maßnahmen bei einem nachträglichen Einbau der Restgasabsaugung notwendig wären, ob diese auch praktisch umsetzbar seien und wie hoch der erforderliche Aufwand wäre.

3 Ergebnisse

3.1 Experimenteller Versuchsteil

3.1.1 Vorversuche

Die 30 Minuten-Werte aller Messungen wurden in Sigma Stat übertragen und die Mittelwerte, das Maximum und das Minimum mit Sigma Stat berechnet. Da es sich um sehr kleine Fallzahlen handelt und die Versuche nur durchgeführt wurden um festzustellen, ob es gravierende Unterschiede bei der Positionierung des Messgerätes gab, waren keine weiteren Berechnungen erforderlich. Die Mittelwerte lagen zwischen 0,60 ppm und 1,24 ppm. Nur die Messung 30cm über dem Boden (VVM 10) ergab einen Mittelwert von 17,38 ppm bei einem Maximum vom 30,6 ppm. Da es sich aber nur um eine einzelne Messung handelt, ist dieser Wert nicht wirklich aussagekräftig.

3.1.2 Hauptversuchsreihe

Aus den Daten der Messreihen 1 und 4, sowie den Daten aus den ersten Messungen der Reihen 2 und 3 wurden die Werte in 30 Minuten-Abständen in Sigma Stat und Exceltabellen übernommen. Da in den Messreihen 2 und 3 immer zwei Messungen direkt hintereinander stattfanden, eine gründliche Lüftung dazwischen nicht sichergestellt war und jeweils für 2 Versuche eine AnaConDa® zum Einsatz kam, wurden die jeweils zweiten Messungen bei der Auswertung nicht berücksichtigt. In den Ergebnissen wird diese Messreihe mit 2,3 bezeichnet. Auch bei den Messreihen 1 und 4 wurden aus den obengenannten Gründen vier (Messreihe 1) bzw. eine Messung (Messreihe 4) bei der Auswertung ausgeschlossen. Somit ergeben sich aus Messreihe 4 sechs bei der Auswertung berücksichtigte Messungen, aus Messreihe 2,3 zehn und aus Messreihe 4 neun. Die Messungen wurden über dem Beatmungsgerät durchgeführt, da dies ein häufiger Aufenthaltsort des Anästhesisten und des Intensivpersonals ist.

Deskriptive Statistik:

Es wurden von jeder Messreihe die Mittelwerte, die Standardabweichungen, das Minimum und das Maximum mittels SPSS 13 berechnet. Die Mittelwerte der Messreihe 1 betrugen 3,96 ppm (SD 2,91), die Mittelwerte der Messreihe 2,3 lagen bei 10,95 ppm (SD 2,08) und die Mittelwerte der Messreihe 4 bei 7,55 ppm (SD 2,82). Diese Ergebnisse wurden auch in einer Grafik dargelegt (siehe Abbildung 3)

Tabelle 1: Deskriptive Statistik

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
Gruppe_1	6	2,32	9,84	3,9585	2,90767
Gruppe_2, 3	10	6,72	14,63	10,9472	2,07766
Gruppe_4	9	3,39	10,35	7,5523	2,82203
Valid N (listwise)	0				

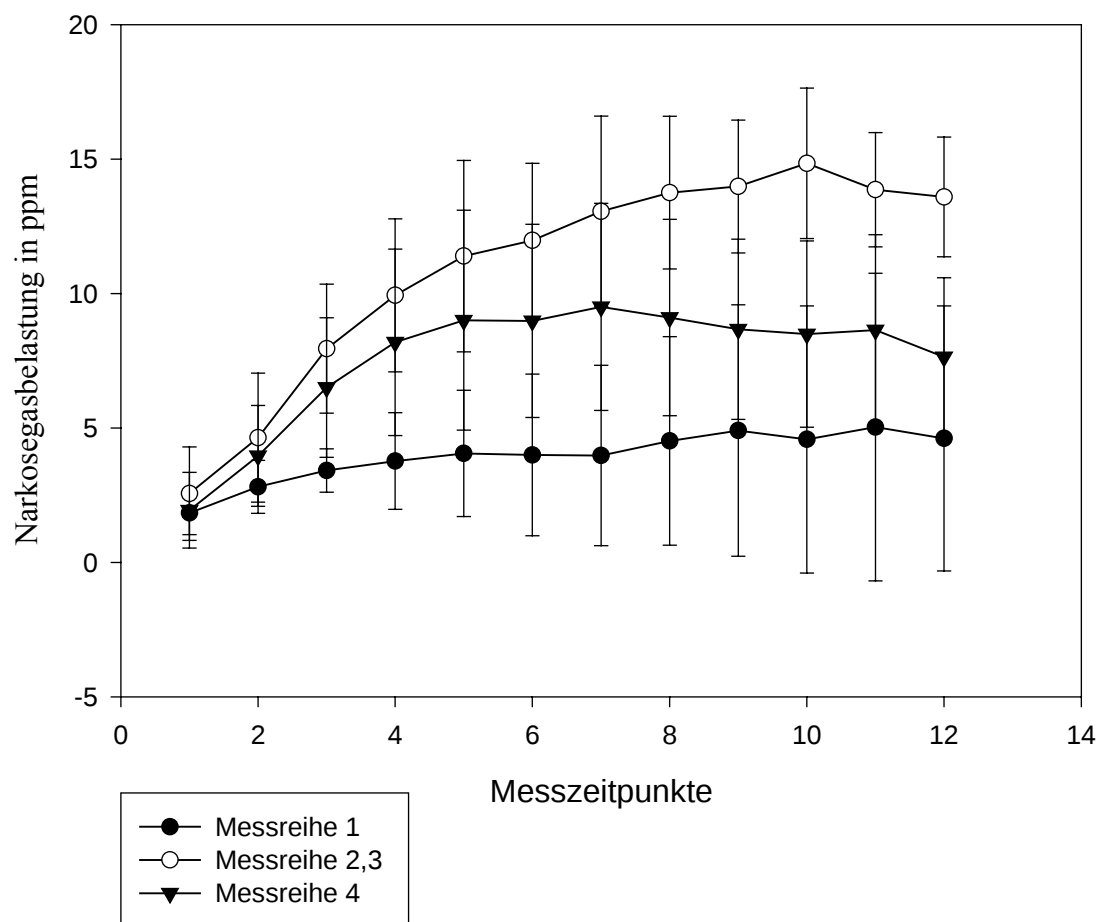


Abbildung 3: grafische Darstellung der Mittelwerte und Standardabweichungen aller Messungen

Varianzanalyse:

Um die Gruppen miteinander zu vergleichen, wurde eine Varianzanalyse durchgeführt. Als Voraussetzung hierfür müssen normalverteilte, intervallskalierte, varianzhomogene und unabhängige Daten vorliegen. Die Prüfung auf Normalverteilung erfolgte mit Hilfe des Kolmogorov-Smirnov Tests. Die nicht signifikanten Ergebnisse dieses Tests zeigen, dass über alle drei Gruppen hinweg eine Normalverteilung der Daten gegeben ist.

Tabelle 2: Kolmogorov-Smirnov Test

		Gruppe 1	Gruppe 2, 3	Gruppe 4
N		6	10	9
Normal Parameters ^{a,b}	Mean	3,9585	10,9472	7,5523
	Std. Deviation	2,90767	2,07766	2,82203
Most Extreme Differences	Absolute	,402	,171	,244
	Positive	,402	,171	,215
	Negative	-,286	-,136	-,244
Kolmogorov-Smirnov Z		,985	,539	,733
Asymp. Sig. (2-tailed)		,287	,933	,655

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

Die Varianzhomogenität wurde mittels Levene Tests ($F [2,22] = 1,449, p = .26$) bewiesen. Bei den drei Messreihen handelt es sich um unabhängige Gruppen, innerhalb der Messreihen sind die Messungen abhängig. Da die Voraussetzungen für die Varianzanalyse gegeben sind, wurden die drei Gruppen mit Hilfe einer einfaktoriellen ANOVA verglichen.

Tabelle 3: ANOVA (Test der Zwischensubjekteffekte)

Dependent Variable: Mean_total

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared	Noncent. Parameter	Observed Power ^a
Corrected Model	186,608 ^b	2	93,304	14,173	,000	,563	28,345	,996
Intercept	1335,068	1	1335,068	202,795	,000	,902	202,795	1,000
Group	186,608	2	93,304	14,173	,000	,563	28,345	,996
Error	144,834	22	6,583					
Total	1950,589	25						
Corrected Total	331,441	24						

a. Computed using alpha = ,05

b. R Squared = ,563 (Adjusted R Squared = ,523)

Das Ergebnis dieser Varianzanalyse zeigt einen signifikanten Unterschied zwischen den drei Gruppen. Trotz recht geringer Stichprobengröße zeigt die beobachtete Schärfe von .99, dass die Ergebnisse gut interpretierbar sind. Als Richtlinienwert für eine akzeptable beobachtete Schärfe gelten Werte über .90. Um festzustellen, welche der drei Gruppen sich signifikant voneinander unterscheiden, wurden Post-Hoc Tests berechnet. Als Post-Hoc Test wurde der Bonferroni Test verwendet. Dieser basiert auf einzelnen T-Tests zwischen den Gruppenmittelwerten.

Tabelle 4: Post-Hoc Test (Bonferroni Test)

Dependent Variable: Mean_total

Bonferroni

(I) Group	(J) Group	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1,00	2,00	-6,9887*	1,32498	,000	-10,4220	-3,5554
	4,00	-3,5938*	1,35230	,043	-7,0979	-,0898
2,00	1,00	6,9887*	1,32498	,000	3,5554	10,4220
	4,00	3,3948*	1,17891	,026	,3400	6,4496
4,00	1,00	3,5938*	1,35230	,043	,0898	7,0979
	2,00	-3,3948*	1,17891	,026	-6,4496	-,3400

Based on observed means.

*. The mean difference is significant at the ,05 level.

Dieser Test zeigt signifikante Unterschiede zwischen allen drei Gruppen. Somit ist die Belastung der Raumluft mit Sevofluran bei Verwendung von AnaConDa[®] ohne weitere Absaugung oder mit Filter signifikant höher als bei Verwendung von AnaConDa[®] mit Narkosegasfortleitung.

3.2 Bautechnische und personale Gegebenheiten

3.2.1 Anästhesiologische Intensivstation des Bundeswehrkrankenhauses Ulm

Auf der anästhesiologischen Intensivstation wurden im Jahre 2006 1004 Patienten stationär behandelt. Der größte Teil entfiel einerseits auf Patienten mit bösartigen oder gutartigen Neubildungen (360 Patienten), andererseits auf Traumapatienten (205 Patienten). Von diesen Traumapatienten hatten 51 intrakranielle Verletzungen. 237 Patienten, also 23,6%, wurden beatmet. Insgesamt wurden 32.152 Beatmungsstunden durchgeführt. Daraus ergibt sich eine durchschnittliche Beatmungsdauer von 135,66 Stunden. Die durchschnittliche Verweildauer aller Patienten betrug 16,9 Tage, die durchschnittliche Verweildauer der beatmeten Patienten 21,7 Tage [5].

Die Pflegekräfte arbeiten im 3-Schichtsystem, wobei die Früh- und Spätschicht jeweils 8,8 Stunden und die Nachtschicht 9,47 Stunden dauert. Unter der Woche arbeiten im Früh- und Spätdienst normalerweise jeweils 6 Pflegekräfte, am Wochenende 5 Pflegekräfte im Frühdienst und 4 Pflegekräfte im Spätdienst. Für den Nachtdienst sind immer 4 Pflegekräfte eingeteilt. Abhängig von der jeweiligen Anzahl der Patienten ist eine Pflegekraft für bis zu 3 Patienten zuständig. Im Durchschnitt befindet sich eine Pflegekraft ungefähr 5,5 Stunden pro Schicht im Zimmer der „eigenen“ Patienten, 1,5 Stunden in anderen Patientenzimmern. Die Wochenarbeitszeit beträgt bei zivilen Angestellten 39,5 Stunden, bei Soldaten 42 Stunden. Auch das ärztliche Personal arbeitet im 3-Schichtsystem. Als Mindestversorgung sind ein Assistenzarzt pro Schicht und ein Oberarzt im Tagdienst gefordert. Meist ist jeweils noch ein chirurgischer Weiterbildungsassistent im Früh- und Spätdienst auf Station. Häufig arbeiten auch PJ- Studenten mit.

Die Zu- und Abluft der Patientenzimmer ist, gemeinsam mit der des Eingriffsraums, ein von der Luftzufuhr der anderen Räume getrenntes System. Die Patientenzimmer erhalten ihre Luftzufuhr aus einer eigenen Schubanlage. Im Moment beträgt die Zuluft der Patientenzimmer 510 m³/h, die Abluft 480 m³/h. Da das Raumvolumen eines Patientenzimmers etwa 50 m³ beträgt, ergibt sich bei der Zuluft von 510 m³/h ein 10facher Luftwechsel/h. Diese Werte sind um ein Vielfaches höher als die von den VDI Richtlinien (VDI 2167) geforderten 100 m³ pro Stunde und Patient bzw. die von der DIN 1946-4 geforderten 150 m³ Stunde und Patient für Eingriffsräume oder Aufwachräume. Die Schubanlage kann 6080 m³/h Luft zuführen. Somit müssten an der Luftzufuhr keine Veränderungen vorgenommen werden. Da in den Patienten-

zimmern ein leichter Überdruck herrscht, wird die Differenz zwischen Zu- und Abluft auf den Gang abgegeben. Die Abluft der Patientenzimmer wird als Fortluft separat abgeleitet. Die Luftzu- und -ableitung ist in Abbildung 5 dargestellt. Sowohl die Luftzuleitung als auch die Luftableitung erfolgt über die Decke (siehe Abbildung 4).



Abbildung 4: Patientenzimmer Intensivstation BWK

Auch alle anderen Zimmer haben eine eigene Zu- und Abluft. Da dort kein Überdruck herrscht, entspricht die Zuluft der Abluft. Die Luftversorgung des Eingriffsraums entspricht der in Patientenzimmern. Zusätzlich verfügt der Eingriffsraum über eine Narkosegasabsaugung, die an die Abluft der Patientenzimmer und des Eingriffsraums gekoppelt ist. Außerdem ist in allen Patientenzimmern eine Klimaanlage installiert, die mit einem Schwebstofffilter ausgestattet ist.

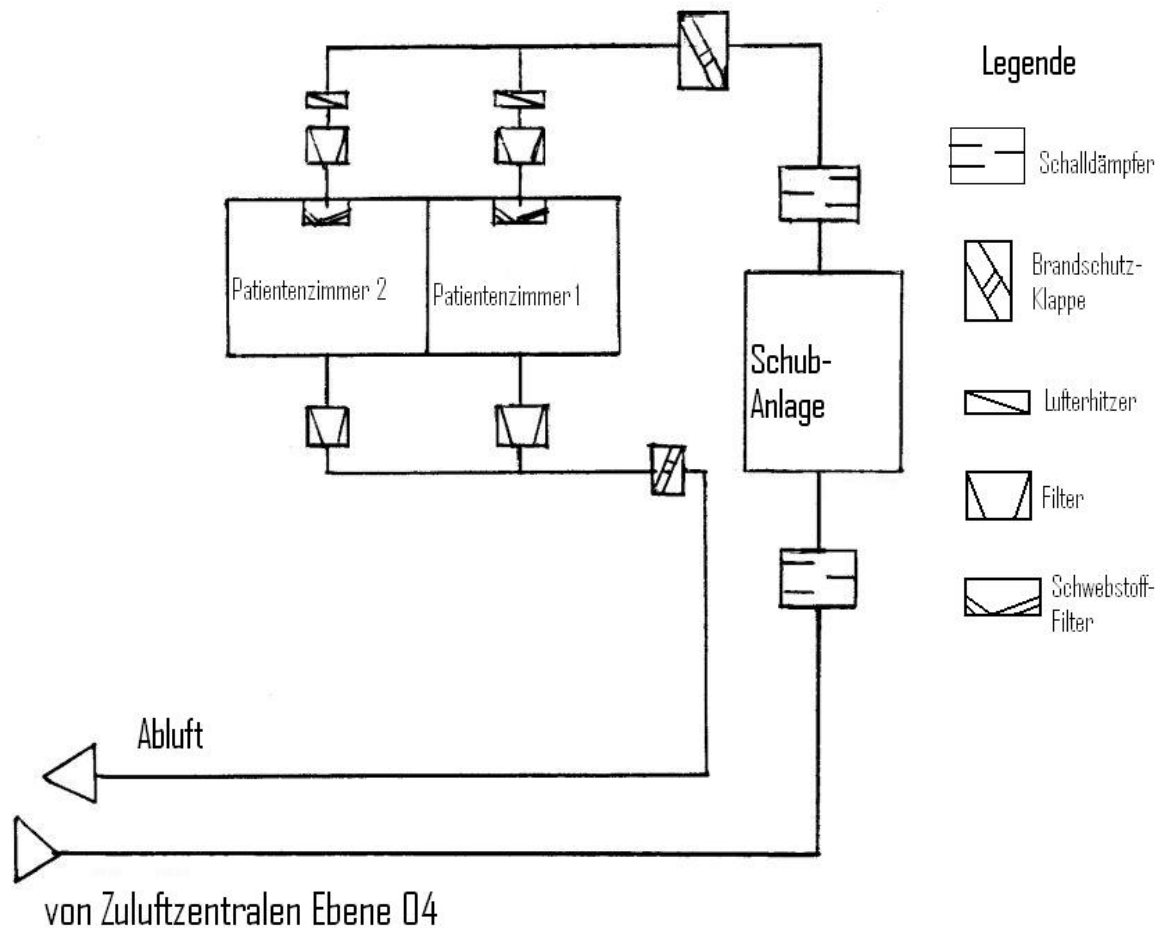


Abbildung 5: Skizze des Zu- und Abluftsystem der anästhesiologischen Intensivstation des BWK Ulm

Um AnaConDa[®] auf dieser Intensivstation einsetzen zu können, müssten nachträglich Narkosegasabsaugungen in die Patientenzimmer eingebaut werden. Die Narkosegasableitung kann über die normale Raumluf tabsaugung erfolgen. Dazu müsste eine Leitung der Narkosegasabsaugung zu der Raumluf tabsaugung gelegt werden, wozu einige Bohrungen nötig wären. Während dieser Umbaumaßnahme könnten aber die an einer Zu- und Abluft hängenden Patientenzimmer nicht belegt werden. Auf Grund der obengenannten Gegebenheiten wäre es technisch möglich, Narkosegasabsaugungen nur in einzelne Zimmer einzubauen. Das wäre aber aus organisatorischer Sicht schwierig, da man bei Aufnahme des Patienten nicht generell schon entscheiden kann, ob eine Sedierung mit volatilen Anästhetika notwendig sein wird.

3.2.2 Intensivstation der BG Klinik Bergmannstrost

Die Pflegekräfte arbeiten im 3-Schichtsystem, wobei alle Schichten 8 Stunden dauern und die Wochenarbeitszeit 40 Stunden beträgt. Innerhalb von 6 Wochen arbeitet eine Vollkraft 12 Frühdienste, 12 Spätdienste und 7 Nachtdienste. Als Mindestbesetzung arbeiten im Frühdienst 11, im Spät- und Nachtdienst jeweils 9 Pflegekräfte. Normalerweise beträgt aber die Anzahl der Pflegekräfte im Frühdienst 12, im Spätdienst 10 und im Nachtdienst 9. Ein Pfleger betreut 2-3 Patienten. Bis auf eine halbe Stunde Pause, die auch in 2 mal 15 Minuten aufgeteilt werden darf, und etwa eine Stunde Vorbereitung befinden sich die Pflegekräfte für die Dauer der kompletten Schicht im Patientenzimmer. Schwangere Pflegekräfte werden entweder auf eine andere Station versetzt oder arbeiten außerhalb der Patientenzimmer.

Die Anästhesisten arbeiten auch im 3-Schichtsystem, wobei jede Schicht 8 Stunden dauert. In jeder Schicht ist ein Stationsarzt auf Station, im Frühdienst zusätzlich ein Oberarzt, in den übrigen Schichten steht ein Oberarzt im Hintergrund zur Verfügung. Die Internisten stellen im Frühdienst einen Stationsarzt und einen Oberarzt. Der Oberarzt betreut oft noch andere Funktionsbereiche. Für die restliche Zeit steht ein 24-Stunden-Bereitschaftsdienst zur Verfügung. Außerdem arbeitet auf der Intensivstation noch ein chirurgischer Weiterbildungsassistent. Zusätzlich ist ein PJ-Student in durchschnittlich 9 von 12 Monaten auf der Intensivstation.

Anzahl der Patienten und Art der Verletzungen/Erkrankungen konnten nicht eruiert werden.

Die Luftzufuhr erfolgt für die komplette Intensivstation über die Anlage 22 (siehe Abbildung 7). Die Luft für diese Anlage wird von der Anlage 58 von der Westseite angesaugt. Die Luft wird als Abluft in die Anlage 22 abgeleitet und von dort über Fortluft entfernt und nicht gesammelt. Es wird ein Gesamtvolumen von 24.322 m³/h auf die Intensivstation geleitet. Die Luft wird in jedem Zimmer von der Decke zugeführt und auch an der Decke wieder abgeleitet (siehe Abbildung 6).

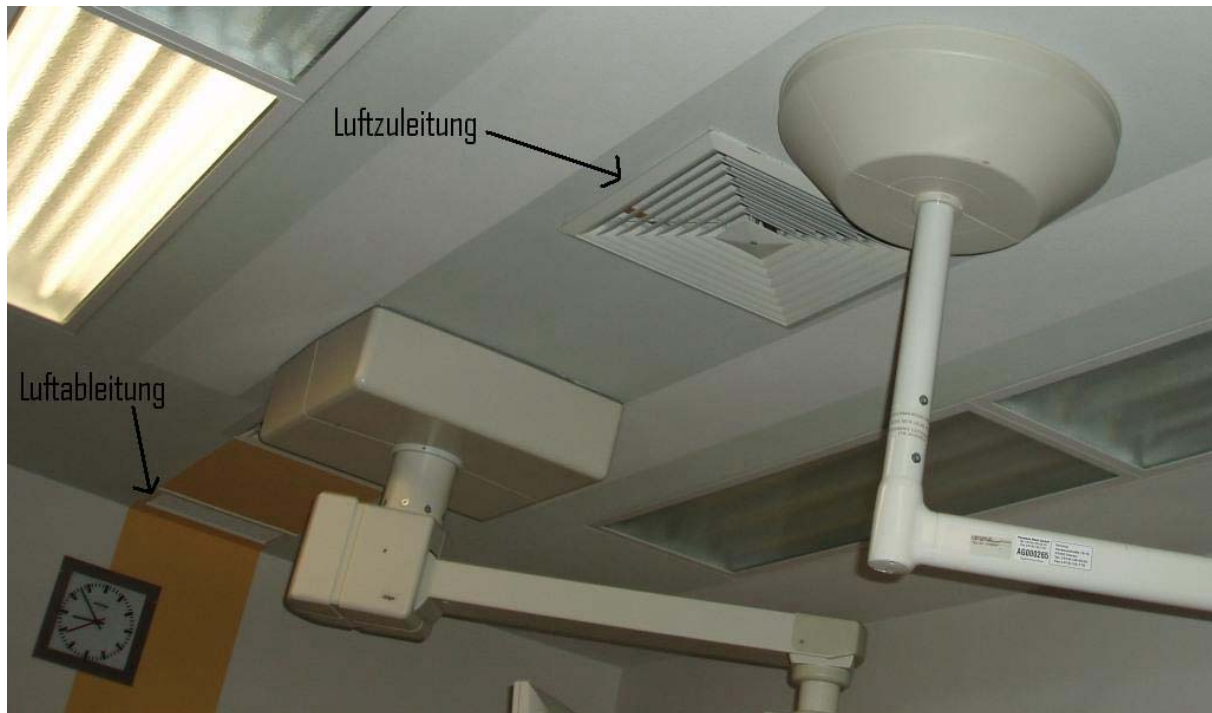


Abbildung 6: Luftzu- und -ableitung: Patientenzimmer Intensivstation Halle

In den Patientenzimmern herrscht ein Überdruck. Die Zuluft ist abhängig von der Bettenanzahl. Im 1-Bettzimmer beträgt die Zuluft $580 \text{ m}^3/\text{h}$ und die Abluft $560 \text{ m}^3/\text{h}$, im 2-Bettzimmer $1170 \text{ m}^3/\text{h}$ Zuluft und $1130 \text{ m}^3/\text{h}$ Abluft, in den Isolierzimmern $680 \text{ m}^3/\text{h}$ Zuluft und $640 \text{ m}^3/\text{h}$ Abluft, da auch die Schleuse mitversorgt wird. Die Zu- und Abluftleitung ist schematisch in Abbildung 7 dargestellt. Bei einer Fläche von $15,88 \text{ m}^2$ im Einzelzimmer und einer Höhe von etwa 3 m ergibt sich ein Luftwechsel von ungefähr 12 /h . In den Doppelzimmern beträgt der Luftwechsel etwa 13 /h . Da die Zimmer unterschiedlich groß sind, variiert der Luftwechsel geringfügig. Genauso wie im BWK Ulm sind auch diese Werte um ein Vielfaches höher als die von den VDI Richtlinien (VDI 2167) geforderten 100 m^3 pro Stunde und Patient bzw. die von der DIN 1946-4 geforderten 150 m^3 pro Stunde und Patient für Eingriffsräume oder Aufwachräume. Die Luftmengen können nicht verändert werden, auch muss das Verhältnis Zuluft/Abluft konstant bleiben. In keinem Zimmer befindet sich eine Narkosegasfortleitung. Der nachträgliche Einbau von Narkosegasabsaugungen während des laufenden Betriebes ist nicht möglich. Eine Schließung der Intensivstation während der Bauarbeiten scheint jedoch sehr unrealistisch.

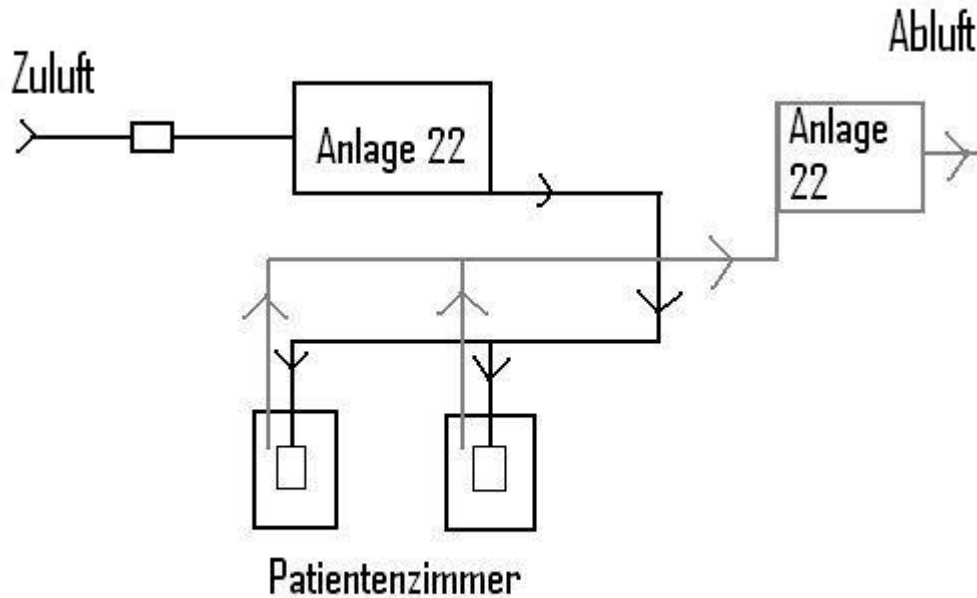


Abbildung 7: Skizze Zu- und Abluftsystem der Intensivstation der BG Klinik Bergmannstrost

3.2.3 Interdisziplinäre Intensivstation des Klinikums Rechts der Isar

Im Jahr 2006 wurden 776 Patienten auf der Station 6/0 behandelt, wovon 493 Patienten beatmet wurden; das entspricht 64%. Bei einer Gesamtdauer von 25.542 Beatmungsstunden ergibt sich eine durchschnittliche Beatmungsdauer von 51,81 Stunden. Die durchschnittliche Liegedauer betrug 2006 3,66 Tage. Wenn man von allen Behandelten die 437 Patienten abzieht, die nur einen Tag auf der Intensivstation lagen, ergibt sich eine Liegedauer von 7,09 Tagen [19]. Die meisten Patienten (139) entfallen auf die Neurochirurgie, gefolgt von Patienten der Mund-Kiefer-Gesichts-Chirurgie (123), der Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde (87), der Urologie (61) und der Gynäkologie (55). 63 Patienten kamen direkt aus der Notaufnahme, und 83 Patienten wurden von einer anderen Klinik auf die Intensivstation 6/0 verlegt. Die restlichen Patienten verteilen sich auf die übrigen Fachrichtungen.

Auf der Intensivstation 6/6 arbeitet pro 2 Patienten 1 Pflegekraft im 3-Schichtsystem. Nachdem im November 2007 die geplante Bettenzahl von 14 erreicht wurde, arbeiten pro Schicht 7

Pflegekräfte. Bis auf eine halbe Stunde Pause pro Schicht halten sich die Pflegekräfte im Patientenzimmer auf. Schwangere Pflegekräfte werden gemäß Mutterschutzgesetz [13,40] eingesetzt. Das ärztliche Personal arbeitet im 2-Schichtsystem, wobei auf den Tagdienst und den Nachtdienst jeweils 2 Assistenzärzte entfallen. Während der Kernzeit sind noch zusätzlich 2 Fachärzte und ein Oberarzt auf der Station eingeteilt. Der Oberarzt wird häufig im OP beschäftigt und der Schockraum wird von den Ärzten der Intensivstation mitbetreut.

Die Intensivstation 6/6 befindet sich zusammen mit der Neurologie, der Neuroradiologie, der Neurochirurgie, einem Teil der Psychiatrie und der Mund-Kiefer-Gesichts-Chirurgie in einem eigenen Gebäude neben dem Haupthaus; ein Durchgang zum Haupthaus ist jedoch möglich. Das Gebäude wurde im März 2007 fertig gestellt, und die Stationen wurden nach und nach in das neue Haus verlegt.

Die Luftversorgung der Intensivstation wird durch eine eigene Anlage, die im Keller steht, geregelt. Diese Anlage besteht aus 2 eigenständigen Komponenten: Eine regelt die Zuluft, die andere die Abluft. Beide Bauteile arbeiten unabhängig voneinander. Da die Anlage fast vollständig ausgelastet ist, ist eine Erhöhung der Luftzufuhr nicht mehr möglich. Die Zuluft wird nach Befeuchtung über drei Filter, u.a. einen Schwebstofffilter, geleitet, dann über ein Wärme- bzw. Kälteregister erwärmt bzw. gekühlt und in die Intensivstation geblasen. Die Luftzufuhr erfolgt über die Decke. Vor jedem Patientenzimmer befindet sich ein Volumenstromregler. Da aber bei Veränderung der Luftzufuhr in einzelnen Zimmern das Gleichgewicht zusammenbrechen würde und die Gesamtluftmenge gleich bleiben muss, ist eine größere Veränderung der Luftstrommengen nicht möglich. Die Erwärmung bzw. Kühlung der Intensivstation ist zentral geregelt, daher ist die Temperatureinstellung in allen Räumen gleich. Die Luftzufuhr pro Patientenzimmer beträgt $800 \text{ m}^3/\text{h}$, die Abluft $775 \text{ m}^3/\text{h}$ [19]. Der Überdruck wird auf den Gang der Intensivstation abgeleitet. Die Raumgrößen variieren minimal zwischen 38 m^2 und $40,61 \text{ m}^2$. Bei einer Höhe von $2,65 \text{ m}$ ergibt sich ein Raumvolumen von etwa 103 m^3 . Bei einer Zuluft von $800 \text{ m}^3/\text{h}$ liegt der Luftwechsel bei etwa 8 /h . Die Abluft wird als Fortluft über die Decke abgeleitet und nicht gesammelt (siehe Abbildung 8).

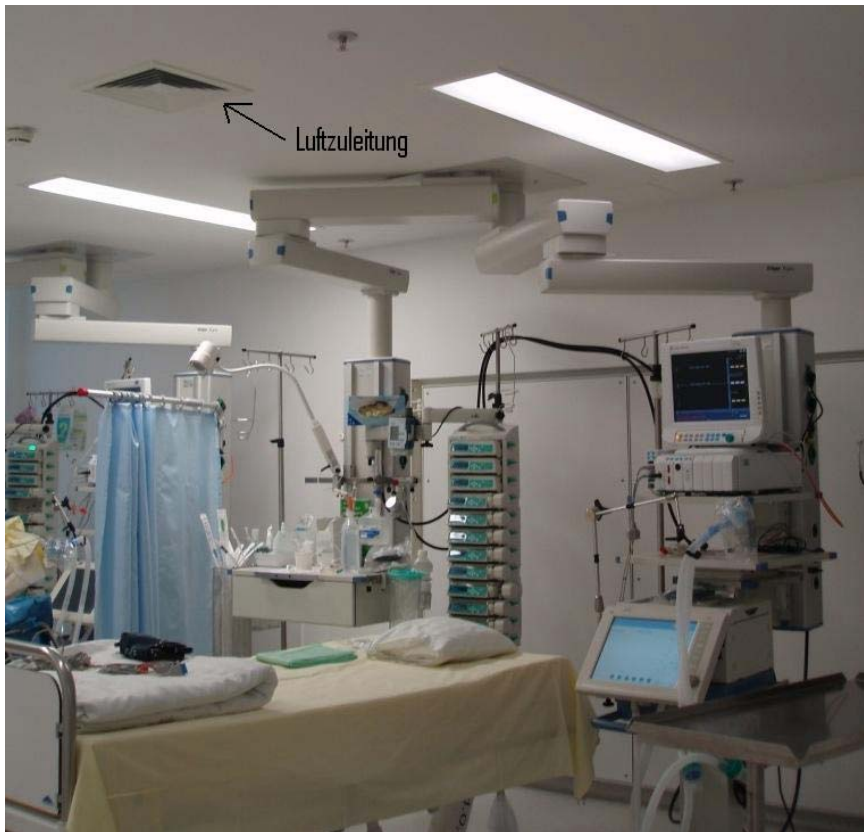


Abbildung 8: Luftzuleitung Patientenzimmer MRI

Genauso wie in den anderen beiden untersuchten Kliniken sind auch diese Werte um ein Vielfaches höher als die von den VDI Richtlinien (VDI 2167) geforderten 100 m³ pro Stunde und Patient bzw. die von der DIN 1946-4 geforderten 150 m³ pro Stunde und Patient für Eingriffsräume oder Aufwachräume. In keinem Zimmer befindet sich eine Narkosegasfortleitung. Um eine Narkosegasabsaugung im Nachhinein zu installieren, müsste man eine neue Anlage im Keller bauen und komplett neue Leitungen in den ersten Stock verlegen. Die Leitungen können auch nicht mehr in die Wand verlegt werden, sondern müssten auf der Wand verlaufen. Dies wäre technisch möglich, aber mit einem erheblichen baulichen und finanziellen Aufwand verbunden. Außerdem wäre es schwierig, die Bauarbeiten bei laufendem Betrieb durchzuführen. Man könnte zwar Zimmer für Zimmer die neuen Leitungen verlegen, aber auch das würde die Arbeit auf der Intensivstation behindern. Im Jahr 2006 betrug die Belegung auf der Intensivstation 6/0 97,3%. Zwar stehen nun auf der neuen Intensivstation 6 Betten mehr zur Verfügung, aber dennoch ist mit einer sehr hohen Auslastung zu rechnen. Auf der urologischen Station dieses Krankenhauses wurde im Nachhinein eine Narkosegasableitung installiert. Der finanzielle und technische Aufwand war jedoch immens.

3.2.4 Gegenüberstellung der drei Kliniken

Auch wenn die drei untersuchten Kliniken sich in vielen Punkten unterscheiden (u.a. Größe der Klinik und der Intensivstation, Träger, Ort, Baujahr, Bettenaufteilung) ergaben sich bei der Feststellung der Lüftungstechnischen Gegebenheiten viele Gemeinsamkeiten. So erfolgen in allen drei Intensivstationen die Luftzufuhr und die Luftableitung über die Decke. Die Menge der Luftzufuhr unterscheidet sich, aber alle haben eine höhere Luftzufuhr als die Mindestanforderung für Aufwachräume mit Narkosegasnutzung beträgt. In der BG Klinik ist der Luftwechsel mit 12-13/h am höchsten, gefolgt von dem BWK mit 10/h und dem MRI mit 8/h. In jeder der drei Intensivstationen besteht, wie gesetzlich gefordert, ein Überdruck in den Patientenzimmern, um diese möglichst keimfrei zu halten. Dies hat den Nachteil, dass Narkosegas eventuell in alle Bereiche der Intensivstation gelangen könnte.

In den Patientenzimmern gibt es in keiner dieser Kliniken eine Narkosegasabsaugung. Sie müsste in allen drei Häusern noch nachgerüstet werden. Bei den zur Verwendung von Narkosegasen nötigen Umbaumaßnahmen ergaben sich große Unterschiede in den untersuchten Krankenhäusern. Während im BWK die Narkosegasfortleitung in das schon vorhandene Luftleitungssystem integriert werden könnte und dazu nur einige „Bohrungen“ notwendig wären, müsste man im MRI eine komplett neue Anlage einbauen und neue Rohrleitungen verlegen. Auch in der BG Klinik könnten die vorhandenen Leitungen nicht verwendet werden; auch da wäre ein neuer Einbau erforderlich, was nur bei Schließung der Intensivstation während der Bauarbeiten möglich wäre.

4 Diskussion

4.1 Neuerungen bei der Sedierung auf Intensivstationen

Wie bereits in der Einleitung kurz erwähnt, wird zur Sedierung auf deutschen Intensivstationen vor allem Propofol und Midazolam verwendet [26]. Viele Studien zeigen nun aber die Vorteile von volatilen Anästhetika. Dazu hat einerseits die Zulassung von AnaConDa® beigetragen, da volatile Sedierung auf Intensivstation dadurch technisch einfacher wird, aber auch Veränderungen der Prinzipien bei der Analgosedierung auf Intensivstationen. So ist in den S2-Leitlinien das „Ziel der modernen Analgosedierung, die Patienten so früh wie möglich wieder in die Lage zu versetzen, ihr körpereigenen Funktionen wahrzunehmen“ [25]. Durch die gute Steuerbarkeit volatiler Anästhetika können diese Sedativa den neuen Forderungen gerecht werden. So wurde festgestellt, dass Patienten auf Intensivstationen von der Sedierung durch volatile Anästhetika wie Desfluran, Isofluran und Sevofluran im Vergleich zu Midazolam oder Propofol profitieren. Es wurde z.B. in einer Studie gezeigt, dass die Aufwachzeiten bei Sedierung mit Desfluran kürzer und für den Patienten angenehmer waren als bei der Propofolsedierung. Auch waren die Kosten bei der Sedierung mit Desfluran niedriger als mit Propofol, da in diesem Fall eine Narkosgasabsaugung schon zur Verfügung stand [28]. Ein weiterer Vorteil ist das gut steuerbare Aufwachen aus der inhalativen Sedierung [1,27]. Denn es wurde gezeigt, dass tägliche Unterbrechungen der Sedierung die Beatmungsdauer verkürzen und sich auch der Aufenthalt auf der Intensivstation verringert [22]. Selbst bei Patienten mit koronalen Risiken konnte keine Erhöhung der myokardialen Ischämie bei täglicher Unterbrechung der Sedierung beobachtet werden [24]. Auch wurde durch die volatile Sedierung eine Verringerung der posttraumatischen Belastungsstörung festgestellt und das psychologische Outcome als positiver bezeichnet [23].

Ferner eignen sich inhalative Sedativa bei schmerzhaften diagnostischen und therapeutischen Maßnahmen auf der Intensivstation, wie zum Beispiel Bronchoskopien oder das Anlegen invasiven Monitorings, da die Tiefe der Sedierung schnell angepasst werden kann [18]. Allgemein werden kardio- und zereprotektive Vorteile der volatilen Anästhetika im Vergleich zu intravenösen Anästhetika beschrieben. So beschreiben J. Soukup et al., dass sich durch die negativ inotrope Wirkung, die Verminderung des linksventrikulären Afterloads und der negativ chronotropen Wirkung eine Verbesserung des Verhältnisses Sauerstoffangebot/Sauerstoffverbrauch ergibt, was zu einer verbesserten Sauerstoffbilanz beim ischämischen Myokard führt. Außerdem lässt sich der Reperfusionsschaden nach Ischämie durch Inhalationsanästhetika reduzieren. Auch kann man- laut J. Soukup et al.- ein neuroprotektives Poten-

tial der Inhalationsanästhetika vermuten; es existieren jedoch noch widersprüchliche Hinweise. Im Tierexperiment konnte aber schon sicher eine präventive Gabe von Inhalationsanästhetika zu einer Reduktion der Infarktgröße und zu einer Verbesserung der klinisch-neurologischen Ergebnisse nachgewiesen werden [9,36].

Auch beschreiben Guzmán et al. adäquate Sedierung und schnelle Aufwachzeiten bei Einsatz von Sevofluran ohne Nebenwirkungen auf die hämodynamischen-, atmungs-, hepatischen- oder renalen Funktionen [14]. Ebenso zeigen sich bei Studien auf pädiatrischen Intensivstationen keine signifikanten Auswirkungen auf die kardiovaskulären-, hepatischen oder renalen Parameter [1]. Zwar wurde in einer Studie von E. Spencer et al. eine erhöhte Plasmafluoridkonzentration bei den mit Isofluran sedierten Patienten im Vergleich zur mit Midazolam sedierten Kontrollgruppe festgestellt; eine Verschlechterung der renalen Funktion ergab sich jedoch nicht [37]. Osborne et al. berichten über 5 Patienten, die über einen längeren Zeitraum bis zu sieben Tagen mit Isofluran sediert wurden. Die Plasmafluoridkonzentration erreichte zwar Werte zwischen 12 mmol/l und 29 mmol/l, dies liegt aber weit unter dem nierentoxischen Wert von 50 mmol/l [31]. Zur Verwendung von Sevofluran schreiben M. Nuscheler et al., dass sich jedoch „weder im Tierexperiment, noch im klinischen Routineeinsatz oder bei protrahierter Narkosedauer, noch bei Anwendung in niereninsuffizienten Patienten (...) ein erhöhtes renales Gefährdungspotential für die Fluoridexposition nach Sevofluran nachweisen (ließ)“ [30]. Auch für einzelne Krankheitsbilder zeigen sich Vorteile bei der Verwendung von volatilen Anästhetika. In einem Fallbericht von EA. Nickel wird von der Behandlung einer exazerbierten COPD mit Halothan unter Verwendung von AnaConDa[®] berichtet [29]. Neben Halothan werden auch Sevofluran ausgeprägte bronchodilatatorische Effekte nachgesagt [4]. Die pädiatrische Intensivmedizin ist bekanntlich ein völlig eigenes Fach, da die Erwachsenenmedizin auf Kindern nicht eins zu eins übertragen werden kann. Aber dennoch treffen die Vorteile, die die volatile Sedierung mit sich bringt, auch in der Pädiatrie zu [18,33].

Dagegen wurden bei den zurzeit auf Intensivstationen zur Sedierung meist verwendeten Substanzen Propofol und Midazolam einige Nebenwirkungen besonders bei Langzeitanwendung gefunden. Bei Propofol wird das Propofol-Infusionssyndrom (PRIS) und bei Midazolam der „Ceiling-Effekt“ und die Kumulationsgefahr beschrieben [36]. Das PRIS ist unter anderem durch Herz-Kreislauf-Störungen, Lactacidose und Rhabdomyolyse gekennzeichnet. Die Letalität beträgt bis zu 85%. Risikofaktoren sind die hoch dosierte und die langfristige Gabe von Propofol. Zur Prävention wird empfohlen, die Dosierung auf ≤ 4 mg/kg/h und die Anwendungsdauer auf maximal sieben Tage zu beschränken, aber auch bei kürzerer Applikation kann es zum PRIS kommen [41].

4.2 Arbeitsplatzbelastung

Auf Grund dieser Studienlage -der Vorteile volatiler Sedierung- schien es sinnvoll, sich auch mit der Arbeitsplatzbelastung bei Verwendung von Narkosegasen auf Intensivstationen mit AnaConDa® zu beschäftigen, denn dieser Bereich wurde oft außer Acht gelassen. Dies hängt wahrscheinlich nicht zuletzt mit mangelnden gesetzlichen Vorschriften zusammen. In Deutschland gibt es noch keinen MAK-Wert für Sevofluran, sondern nur Empfehlungen der BDA-Kommission zum „Gesundheitsschutz am anästhesiologischen Arbeitsplatz“ [6]. Daher besteht ein großer Spielraum für die einzelnen Kliniken. Auch in der DIN 1946-4 gibt es keine Richtwerte für Narkosegasnutzung auf Intensivstationen [7]. In den USA hingegen existiert eine Grenzwertempfehlung der NIOSH für Sevofluran, die 2 ppm beträgt [35].

Sackey et al. untersuchten zwar auch die Arbeitsplatzbelastung mit AnaConDa®. Hier wurde aber Isofluran verwendet. Es traten Mittelwerte von 0,0-0,5 ppm auf [33]. Das „Problem“ Arbeitsplatzbelastung ist zwar nicht neu, aber das Augenmerk wurde primär auf den Operationssaal gelegt, denn die Narkosegasbelastung auf Intensivstationen war bis jetzt meistens nicht relevant. Auch wird in den meisten Fällen die Belastung durch Sevofluran oder Isofluran gemeinsam mit Lachgas beschrieben [17,35]. Schiewe-Langgartner et al. berichten in einer Untersuchung über die Narkosegasbelastung mit Sevofluran im Operationssaal. Es wurde an verschiedenen Messpunkten gemessen. Der Messpunkt MP 3 befand sich am Beatmungsgerät, das ein halbgeschlossenes Gerät war [35]. Dieser Messpunkt ist am ehesten mit unserem Messpunkt zu vergleichen. An diesem Messpunkt wurden Schichtmittelwerte zwischen 0,02-0,49 ppm gemessen [35].

Um die Arbeitsplatzbelastung ohne Exposition von Personal festzustellen, wurde der Versuchsaufbau nicht auf der Intensivstation, sondern im sogenannten Narkosegaslabor der Abteilung Kardioanästhesie in Ulm durchgeführt. Anstelle eines Patienten wurde eine Testlung mit „Blower“ verwendet, um die Versuche so realistisch wie möglich zu gestalten. Der Testaufbau war bei allen Messungen gleich. Unterschiede zwischen den Messreihen bestanden nur in den unterschiedlichen Absaugungen, die verwendet wurden. Es zeigten sich signifikante Unterschiede zwischen allen drei Gruppen. Man könnte einwenden, dass es sich um recht kleine Fallzahlen handelt. Da die Stärke, die über das Statistikprogramm SPSS 13 errechnet wurde, aber .99 ergab, ist dieses Ergebnis trotzdem durchaus aussagekräftig. Weil es keine verbindlichen Grenzwerte gibt, lassen sich die Ergebnisse nicht mit Normwerten vergleichen. Wenn man die in den USA geltende Grenzwertempfehlung von 2 ppm [35] als Vergleichswert verwendet, liegen alle unsere Messreihen darüber. Die Mittelwerte der Messreihe 1 liegen bei 3,96 ppm (SD 2,91), die Mittelwerte der Messreihe 4 bei 7,55 ppm (SD 2,82) und die

Mittelwerte der Messreihe 2,3 lagen bei 10,95 ppm (SD 2,08). Messreihe 1 überschreitet die US-Grenzwertempfehlung nur gering, bei den anderen Messreihen ist der Unterschied gravierender. Aber nicht nur der Mittelwert ist entscheidend, sondern auch die Maximalwerte. Dort zeigte sich bei der Messreihe 1 ein höherer Maximalwert als bei Messreihe 4 (16,7 ppm im Vergleich zu 14,3 ppm). Dieser trat jedoch deutlich später auf als bei Messreihe 4. So wurde der Maximalwert der Messreihe 1 erst nach 5,5 h, der Maximalwert der Messreihe 4 schon nach 2,5 h erreicht. Der Maximalwert der Messreihe 2,3 liegt bei 19,80 ppm.

Auch wenn man mangels nationaler Vorschriften keine Angaben zu Grenzwertüberschreitungen machen kann, bleibt doch eine definitive Aussage über die Unterschiede der verschiedenen Messreihen. Da ein signifikanter Unterschied zwischen der Verwendung von AnaConDa[®] nur mit Filter und der Verwendung von AnaConDa[®] mit Narkosegasabsaugung festgestellt wurde, setzt die Verwendung von AnaConDa[®] auf Intensivstationen bestimmte bauliche Maßnahmen voraus. Zwar muss man durch AnaConDa[®] keine Kreisteile mit Narkosegasabsaugung benutzen, aber dennoch eine Narkosegasabsaugung, denn diese reduziert den Narkosegasausstoß in den Raum signifikant.

4.3 Bautechnische und personale Gegebenheiten

Da AnaConDa[®] deshalb nur zusammen mit einer Narkosegasabsaugung auf Intensivstationen verwendet werden sollte, war für uns wichtig festzustellen, wie hoch der Aufwand ist, diese im Nachhinein noch einzubauen, da sie in den wenigsten Intensivstationen vorhanden ist. Die lokalen Untersuchungen zeigen schnell, dass man jedes Haus einzeln prüfen muss, da überall deutliche Unterschiede bestehen und eine Vereinheitlichung nicht möglich ist. Dabei sind nicht nur die baulichen Gegebenheiten zu beachten. Auch die unterschiedlichen Rahmenbedingungen müssen individuell berücksichtigt werden.

4.3.1 Patientengut

So ist zunächst das Patientengut zu prüfen: Welche Verletzungsmuster/welche Erkrankungen sind vorrangig? Welche Patienten profitieren höchstwahrscheinlich von der Sedierung mit volatilen Anästhetika? Wie viele Patienten werden beatmet?

Im Krankenhaus MRI wurden 2006 von insgesamt 776 Patienten 139 neurochirurgische behandelt, das entspricht rund 18%. Im BWK lag die Zahl der neurochirurgischen Patienten bei

77 von 1004 Patienten (13%). Auch wenn die neuroprotektive Wirkung der volatilen Anästhetika noch nicht eindeutig bewiesen ist, so gibt es dennoch im Tierversuch schon positive Daten [9,36]. Da die Verwendung von Narkosegasen und damit von AnaConDa® nur für beatmete Patienten relevant ist, ist die Anzahl und die Dauer der Beatmung ein entscheidender Faktor. Der Anteil der beatmeten Patienten betrug 2006 im MRI 493 von insgesamt 776 Patienten. Das heißt, dass rund 64% aller Patienten beatmet wurden. Im BWK betrug die Anzahl der beatmeten Patienten 237 von insgesamt 1004 Patienten, was rund 24% entspricht. Damit ist die Anzahl der beatmeten Patienten im MRI um ein Vielfaches höher als im BWK. Dennoch wurden im BWK 2006 32.152 Beatmungsstunden durchgeführt, bei einer durchschnittlichen Beatmungsdauer von 135,66 Stunden. Im MRI hingegen wurden 25.542 Beatmungsstunden durchgeführt mit einer durchschnittlichen Beatmungsdauer von 51,81 Stunden. Daraus ergibt sich, dass zwar die Anzahl der beatmeten Patienten im BWK niedriger ist als im MRI, aber die Beatmungsdauer dafür deutlich erhöht. Sowohl für kurzzeitig als auch für langfristig beatmete Patienten ergeben sich viele Vorteile durch die volatile Sedierung. Bei langzeitbeatmeten Patienten sind die Vorteile besonders vielseitig: Gerade bei diesem Patientengut sind häufig invasive diagnostische und therapeutische Maßnahmen notwendig. Für diese Maßnahmen kann man kurzzeitig die Analgosedierung vertiefen und nach der Maßnahme wieder niedriger dosieren [1,27]. Außerdem zeigen Studien, dass das tägliche Aufwachen Vorteile hat, da die Behandlungsdauer auf Intensivstationen verkürzt wird [22]. Durch das schnelle Abfluten der volatilen Narkotika ist das tägliche Aufwachen leichter steuerbar. Aber auch bei kurzzeitig beatmeten Patienten ist das schnelle Abfluten der volatilen Narkotika von Vorteil, und die Beatmungszeit kann dadurch etwas verkürzt werden.

Das Patientengut der BG-Klinik Bergmannstrost konnte nicht erhoben werden.

4.3.2 Personal

Unabhängig von den Patienten ist auch die Arbeitseinteilung des Intensivpersonals zu berücksichtigen. Da es trotz adäquater Raumluftechnik und Narkosegasfortleitung bei Verwendung von volatilen Anästhetika mit AnaConDa® eine Leckage gibt, die bei unseren Messungen bei 3,96 ppm (Mittelwert) lag, existiert eine Narkosegasbelastung für das Intensivpersonal. Deswegen wurde jeweils die genaue Anzahl der auf der Intensivstation Beschäftigten erhoben und auch erfragt, wie lange sich die einzelnen Mitarbeiter im Durchschnitt auf Station und in den Patientenzimmern aufhalten. MAK-Werte dürfen während eines Arbeitstages nicht überschritten werden. Es werden aber Schichtmittelwerte genommen, das bedeutet, dass bei kürze-

rer Exposition der Grenzwert überschritten werden darf. Als Grundlage wird ein 8 h Tag und eine 40 h Woche angenommen [16]. Der MAK-Wert für Isofluran beträgt 10 ppm, der Kurzzeitwert darf 40 ppm nicht überschreiten [15]. MAK-Werte werden in ml/m^3 (=ppm) oder in mg/m^3 angegeben. Für Sevofluran gibt es zurzeit noch keine einheitlichen MAK-Werte, doch ist eine Einführung durchaus zu erwarten. Aber auch unabhängig von gesetzlich festgeschriebenen Richtwerten ist die Dauer der Exposition natürlich von Bedeutung. Ein besonderes Augenmerk wurde auf das schwangere Personal gelegt. Zwar war der Ames-Test für Sevofluran negativ [3], aber der Tierversuch mit halogenierten Inhalationsnarkotika ergab Hinweise auf embryotoxische/teratogene Wirkungen. Ausreichende Erfahrungen beim Menschen liegen nicht vor [32]. Der Ames-Test, bei dem mit Hilfe von *Salmonella Typhimurium* eine Mutation festgestellt werden kann, wird von vielen als „Goldstandard“ unter den Mutagenitätstest angesehen. Er hat zwar nur eine geringe Sensitivität bei jedoch relativ hoher Spezifität [16].

In der BG- Klinik werden schwangere Pflegekräfte entweder auf Normalstation versetzt, oder sie arbeiten außerhalb der Patientenzimmer. Im BWK und im MRI werden die Schwangeren weiterhin (mit Einschränkung nach den Mutterschaftsgesetzen) auf der Intensivstation beschäftigt. Sie versorgen zwar nicht mehr alleine einen Kranken und dürfen nicht mit infektiösen Patienten in Berührung kommen, aber sie arbeiten weiterhin auch in den Patientenzimmern. Wird nun Narkosegas zur Sedierung verwendet, dürfen Schwangere nicht mehr oder nur mit Einschränkungen auf der Intensivstation beschäftigt werden [13,40]. Schwierig zu lösen ist dann die Frage, wer stattdessen auf der Intensivstation arbeitet und wo die Schwangere dafür eingesetzt werden kann. Auf Intensivstationen arbeiten viele Fachkräfte für Intensivpflege. Gerade diese Fachkräfte können nicht einfach von anderen Stationen ersetzt werden. Auch unterscheiden sich vielfach die Tätigkeiten der Intensivpfleger von den Tätigkeiten auf Normalstation.

4.3.3 Notwendige bautechnische Maßnahmen

Der nächste Punkt ist der Umbau und die damit verbundenen Rahmenbedingungen auf der Intensivstation. In der BG-Klinik ist ein Umbau bei laufendem Betrieb nicht möglich. Die Intensivstation für die Dauer der Umbaumaßnahmen komplett zu schließen, würde aber bedeuten, dass Notfallpatienten von außerhalb, die höchstwahrscheinlich einer Intensivtherapie bedürfen, nicht mehr angenommen werden könnten. Dies würde die gesamte Notfallversorgung im Raum Halle betreffen, wenn eine komplette Klinik für die Notfallversorgung schwerverletzter oder schwer erkrankter Patienten nicht mehr zur Verfügung stände. Auch

könnten Operationen, die hinterher einer Überwachung auf der Intensivstation bedürfen, nicht mehr durchgeführt werden oder der Patient müsste mit einem Intensivtransport in eine andere Klinik gefahren werden. Die einzige Möglichkeit, die Umbaumaßnahmen doch vorzunehmen, wäre offensichtlich, die Intensivstation für die Dauer der Umbaumaßnahmen zu verlegen, was natürlich mit einem hohen technischen und finanziellen Aufwand verbunden wäre, falls es überhaupt durchführbar wäre.

Im BWK müsste man nicht die komplette Intensivstation schließen, sondern jeweils nur die Hälfte der Zimmer. Dies würde zwar auch die oben genannten Probleme bereiten, da aber immerhin noch 6 Betten genutzt werden könnten, wäre das Ausmaß nicht so groß. Auch gibt es im BWK noch die internistische Intensivstation, die evtl. einzelne Patienten übernehmen könnte. Da im Übrigen nur die Verbindung zu dem schon bestehenden Abluftsystem geschaffen werden muss, wären die Bauarbeiten außerdem deutlich kürzer.

Im MRI stellt sich der Sachverhalt wiederum anders da. Dort müssen zwar komplett neue Leitungen verlegt werden, aber dies könnte Zimmer für Zimmer geschehen. Der normale Intensivbetrieb könnte aufrecht erhalten werden, wenn auch die Bauarbeiten viel Lärm verursachen, was natürlich eine Belastung für Patienten und Personal bedeutet. Allerdings darf man nicht außer Acht lassen, dass bei der hohen Auslastung der Intensivstation schon das Wegfallen von 2 Betten eine Einschränkung bedeutet. Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass eine Aufrüstung mit Narkosegasabsaugung auf der Intensivstation der BG-Klinik unwahrscheinlich erscheint. In den anderen beiden Kliniken bedeutet dieser Punkt zwar eine Einschränkung, wäre aber technisch durchführbar.

Allgemein ist zum nachträglichen Einbau von Absauganlagen in den untersuchten Kliniken folgendes zu sagen: Wie schon erwähnt, muss man bei jeder Klinik einzeln prüfen, ob und in welchem Umfang Nachrüstungen notwendig sind. Wenn man nur den Einbau beachtet und die anderen Punkte, die in Kapitel 4.3.1 und 4.3.2 behandelt wurden, weglässt, lassen sich folgende Rückschlüsse ziehen: In der BG-Klinik und im MRI müsste ein eigenständiges Rohrsystem zur Entsorgung der Narkosegase verlegt werden. Dazu bedarf es nicht nur Bauarbeiten auf den Intensivstationen, sondern von der Anlage im Keller hinauf bis zur Intensivstation. Beim MRI wurde das Gebäude, in dem sich die Intensivstation 6/6 befindet, erst im März 2007 in Betrieb genommen, so dass es schwierig erscheint, schon bald ein so großes neues Projekt in Angriff zu nehmen, zumal es auch eines erheblichen finanziellen Aufwands bedarf. Andererseits könnte man im MRI von den Erfahrungen des Einbaus einer Narkosegasabsaugung auf der Urologie profitieren, die auch im Nachhinein eingebaut wurde.

Anders ist es jedoch im BWK. Zwar wurde auch dort die Intensivstation erst vor kurzem renoviert; da jedoch keine neuen Leitungen verlegt werden müssten, wäre der finanzielle Aufwand deutlich geringer.

4.4 Schlussfolgerung

Nach der heutigen Studienlage hat die Sedierung mit volatilen Anästhetika viele Vorteile und es ist durchaus möglich, dass sich die Sedierung auf Intensivstationen generell dorthin entwickelt. Aber die Arbeitsplatzbelastung darf trotz heute noch fehlender Grenzwerte für Sevofluran nicht vernachlässigt werden. Durch eine Verwendung von AnaConDa® mit Narkosegasabsaugung kann die Narkosegasbelastung signifikant gesenkt werden. Diese ist jedoch auf den wenigsten Intensivstationen vorhanden. Eine generelle Aussage über den nachträglichen Einbau dieser Absaugung kann nicht getroffen werden. Jede Klinik muss für sich prüfen, ob die Voraussetzungen für einen nachträglichen Einbau gegeben sind. Da der Aufwand bei Renovierung oder Neubau einer Intensivstation deutlich geringer ist, sollte man bei jeder Planung überlegen, ob nicht auf Grund der Studienlage eine Narkosegasfortleitung standardmäßig mit eingebaut werden sollte.

5 Zusammenfassung

Diese Arbeit besteht aus zwei Teilen. Im ersten Teil wurde das Anesthetic Conserving Device® (AnaConDa®) im Narkosegaslabor der Universitätsklinik Ulm auf die Arbeitsplatzsicherheit unter verschiedenen Bedingungen getestet. Die Frage, die wir uns stellten, lautete: Wie hoch ist das Narkosegasleck bei Verwendung von AnaConDa® unter verschiedenen Bedingungen und wie hoch ist damit die Arbeitsplatzbelastung für das ärztliche und nicht-ärztliche Intensivpersonal? Welche Maßnahmen können die Narkosegasbelastung reduzieren?

Es wurden drei unterschiedliche Messreihen durchgeführt. In Messreihe 1 wurde zusätzlich eine Narkosegasabsaugung angeschlossen, in Messreihe 2 und 3 wurde AnaConDa® alleine verwendet, in Messreihe 4 wurde anstelle der Narkosegasabsaugung ein Filter angeschlossen. Die Messungen erfolgten mit dem Brüel & Kjaer Multigasmonitor Typ 1302. Der Mittelwert der Messreihe 1 lag bei 3,96 ppm (Standardabweichung [SD] 2,91), der Mittelwert der Messreihe 2,3 bei 10,95 ppm (SD 2,08) und bei Messreihe 4 bei 7,55 ppm (SD 2,82). Es konnte ein signifikanter Unterschied zwischen allen Messreihen gezeigt werden. So ist bei der Verwendung von AnaConDa® zusammen mit einer Narkosegasabsaugung die Narkosegasbelastung signifikant geringer als bei Verwendung von AnaConDa® alleine oder mit Filter. Auf Grund dieser Ergebnisse wurde der zweite Teil der Arbeit durchgeführt.

Im zweiten Teil wurden in drei unterschiedlichen Kliniken (Bundeswehrkrankenhaus [BWK] Ulm, Berufsgenössische [BG] Klinik Bergmannstrost, Halle, Klinikum Rechts der Isar [MRI], München) die im Moment vorhandenen Gegebenheiten wie Raumgröße, vorhandene Raumlufttechnik und vorhandene Narkosegasabsaugungen erhoben und mit dem jeweiligen betriebstechnischen Dienst bzw. dem Bauamt geklärt, ob und wie etwaige nachträgliche Einbauten möglich seien. Ferner wurden die personal- und patiententechnischen Daten, wie Anzahl des auf der Intensivstation beschäftigten Personals, Anzahl der beatmeten und nicht beatmeten Patienten, Verletzungs-/Erkrankungsmuster der Patienten erhoben.

Als erstes ergab sich, dass bis jetzt in diesen Kliniken eine Sedierung mit volatilen Anästhetika unter Verwendung von AnaConDa® oder auch mit herkömmlichen Kreisteilen nicht stattfand. Eine Narkosegasabsaugung ist in keinem Patientenzimmer vorhanden. Einzige Ausnahme ist der Eingriffsraum des BWK. Da dieser einem Not-OP entspricht, ist dort eine Narkosegasfortleitung vorhanden und damit eine Verwendung von Narkosegasen möglich. Dieser Raum wird aber nicht als Patientenzimmer genutzt. Die vorhandene Luftzu- und -ableitung der untersuchten Intensivstationen würde den Anforderungen für Aufwachräume mit Narkosegasnutzung genügen. Das heißt, für die Verwendung von AnaConDa® müsste die Zu-

und Abluft zwar nicht erweitert werden, aber es müsste auf allen Intensivstationen eine Narkosegasabsaugung nachgerüstet werden, um die Narkosegasbelastung signifikant zu reduzieren. Die notwendigen Maßnahmen sind jedoch in den verschiedenen Kliniken sehr unterschiedlich: Im BWK Ulm könnte das vorhandene Lüftungssystem auch die Narkosegase ableiten. Es müssten nur Verbindungen von der Narkosefortleitung auf der Wand bis zum Rohrsystem in der Wand gelegt werden. In den anderen beiden Krankenhäusern wäre der Aufwand um ein Vielfaches höher. Da die vorhandenen Luftschächte die Narkosegase nicht mit ableiten können, müssten neue Rohre verlegt werden. Dies wäre auch finanziell ein sehr hoher Aufwand. In der BG-Klinik müsste die komplette Intensivstation für die Zeit der Umbaumaßnahme geschlossen werden, im MRI könnte man zwar Zimmer für Zimmer vorgehen, was aber natürlich auch eine Beeinträchtigung der Arbeit auf Intensivstation bedeutet.

Zusammenfassend ist zu sagen, dass es zwar theoretisch möglich wäre, in den untersuchten Kliniken die notwendigen Umbaumaßnahmen durchzuführen und so mit AnaConDa[®] volatile Sedierung vorzunehmen, dass aber der Aufwand, vor allem in der BG Klinik und im MRI so beträchtlich erscheint, dass sie wohl schwer zu realisieren wären. Da die Studienlage viele Vorteile der volatilen Sedierung gegenüber der Sedierung mit intravenösen Sedativa zeigt, wäre es sinnvoll, in Zukunft beim Bau neuer Intensivstationen die Narkosegasableitungen mit einzubauen, da somit der Aufwand deutlich geringer ist.

6 Literaturverzeichnis

1. **Appleyard TN, Hewlett A, Konieczko K, Loveland R, Stow P, Cauchi P, Roy MK, Kox W, Browne GP, Morgan C, Turner J, Bennetts FE, Lytle T**
Isofluran sedation- a multi-centre study of 55 patients
Clinical Intensive Care 5: 212-216 (1994)
2. **Arnold J, Troug R, Rice S:**
Prolonged Administration of Isoflurane to Pediatric Patients during mechanical Ventilation
Anesth Analg 76: 520-526 (1993)
3. **Baden JM, Kelley M, Mazze RI:**
Mutagenitiy of experimental inhalational anesthetic agents: Sevoflurane, Synthane, Dioxychlorane and Dioxyflurane
Anesthesiology 56: 462-463 (1982)
4. **Baigel G:**
Volatile agents to avoid ventilating asthmatics
Anaesth Intensive Care 31: 208-210 (2003)
5. **Controlling des Bundeswehrkrankenhaus Ulm**
(persönliche Mitteilung)
6. **DGAI/BDA (Hrsg.):**
Umsetzung der Gefahrstoffverordnung
Entschließungen-Empfehlungen-Vereinbarungen-Leitlinien: 365-372. 4.Auflage
(2000)
7. **DIN 1946-4:**
Raumluftechnik-Teil 4: Raumluftechnische Anlagen in Krankenhäusern
Entwurf April (2005)

8. **Durham RM, Moran JJ, Mazuski JE, Shapiro MJ, Baue AE, Flint LM:**
Multiple organ failure in trauma patients
J Trauma 55: 608-616 (2003)
9. **Engelhard K, Werner C, Reeker W, Lu H, Möllenberg O, Mielke L, Kochs E:**
Desflurane and isoflurane improve neurological outcome after incomplete cerebral ischaemia in rats
Br. J. Anaesth. 83: 415-421 (1999)
10. **Enlund M, Lampert H, Wiklund L**
The sevoflurane saving capacity of a new anaesthetic agent conserving device compared with a low flow circle system
Acta Anaest. Scand. 46: 506-511 (2002)
11. **Fachinformation:**
<http://www.fachinfo.de>
12. **Franke, U:**
Arbeitsplatzbelastung mit Lachgas, Sevoflurane und Desflurane
Med Dissertation, Universität Ulm (2002)
13. **Gesetz zum Schutz der erwerbstätigen Mutter (Mutterschutzgesetz- MuSchG)**
in der Fassung der Bekanntmachung vom 20.Juni 2002
14. **Guzmán RE, Zinker E, Horta E, Aguirre JS, Franco J, Martinez J:**
Sevofluran sedation in intensive care patients (abstract)
Crit Care Med 30: A158 (2003)
15. **Hobbahn J, Schiewe-Langgartner F, Wiesner G:**
Arbeitsplatzbelastung durch Inhalationsanästhetika
Satellitensymposium zum 15. Symposium Intensivmedizin & Intensivpflege, Bremen (2005)

16. **Hobbahn J, Wiesner G, Taeger K:**
Arbeitsplatz- und Umweltbelastung durch Inhalationsanästhetika unter besonderer Berücksichtigung von Sevofluran
Anaesthesist [Suppl1] 47: 77-86 (1998)

17. **Hoerauf K, Hosemann W, Wild K, Hobbhahn J:**
Belastung des Operationspersonals durch Narkosegase bei HNO-Eingriffen
HNO 44: 567-571 (1996)

18. **Jung C., Granados M, Marsol P, Murat I, Gall O:**
Use of sevoflurane sedation by the AnaConDa[®] device as an adjunct to extubation in a pediatric burn patient
Burns 34: 136-138 (2008)

19. **Klinikum MRI:**
Pflegebericht 2006 (unveröffentlichter Befund)

20. **Klinikum MRI :**
Messprotokolle 9-0220332 (unveröffentlichte Befunde 2007)

21. **Kong KL, Bion JF:**
Sedating patients undergoing mechanical ventilation in the intensive care unit-
winds of change?
British Journal of Anaesthesia: 90: 267-269 (2003)

22. **Kress J.P, Pohlman AS, O'Connor MF, Hall JB:**
Daily interruption of sedative infusions in critically ill patients undergoing mechanical ventilation
New England Journal of Medicine 342: 1471-1477 (2000)

23. **Kress JP, Gehlbach B, Lacy M, Pliskin N, Pohlmann AS, Hall JB:**
The long-term psychological effects of daily sedative interruption on critically ill patients.
American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine 168: 1457-1461 (2003)

24. **Kress JP, Vinayak A, Levitt J, Schweickert W, Gehlbach B, Zimmermann F, Pohlmann A, Hall J:**
Daily sedative interruption in mechanically ventilated patients at risk for coronary disease
Crit Care Med 25: 365-371 (2007)

25. **Martin J, Bäsell K, Bürkle H, Hommel J, Huth G, Kessler P, Kretz FJ, Putensen Ch, Quintel M, Tonner P, Tryba M, Scholz J, Schüttler J, Wappler F, Spies C:**
Analgesie und Sedierung in der Intensivmedizin (Kurzversion)
Anästh Intensivmed 46 [Suppl.1]: S1-20 (2005)

26. **Martin J, Parsch A, Franck M, Wernecke KD, Fischer M, Spies C:**
Practice of sedation and analgesia in German intensive care units: results of a national survey
Crit Care: 9(2): R 117-123 (2005)

27. **Meiser A, Laubenthal H:**
Inhalational anaesthetics in the ICU: theory and practice of inhalational sedation in the ICU, economics, risk-benefit
Best Practice and Research Clinical Anaesthesiology 19: 523-538 (2005)

28. **Meiser A, Sirtl C, Bellgardt M, Lohmann S, Garthoff A, Kaiser J, Hügler P, Laubenthal H.J:**
Desflurane compared with propofol for postoperative sedation in the intensive care unit
British Journal of Anaesthesia 90: 273-280 (2003)

29. **Nickel EA, Benken I, Bartels U, Voelckel WG, Quintel M**
AnaConDa[®] als Ultima-Ratio-Therapie
Anaesthesist 56: 587-591 (2007)

30. **Nuscheler M, Conzen P, Peter K:**
Sevofluran: Metabolismus und Toxizität
Anaesthesist 47 [Suppl 1]: 24-32 (1998)

31. **Osborne MA, Eddleston JM, McNicoll W:**
Inorganic fluoride concentration after long-term sedation with isoflurane
Intensive Care Med 22: 677-682 (1996)

32. **Rote Liste® Service GmbH (Hrsg):**
Rote Liste® Service GmbH, Frankfurt/ Main
Rote Liste 2007, H10, S.255 (2007)

33. **Sackey P, Martling CR, Radell PJ**
PICU Sedation with Isoflurane and the “AnaConDa”
15th Annual Pediatric Critical Care Colloquium: New York (2004)

34. **Sackey P, Martling CR, Nise G, Radell P:**
Ambient isoflurane pollution and isofluran consumption during intensiv care unit sedation with the Anesthetic Conserving Device
Crit Care Med 33: 585-590 (2005)

35. **Schiewe-Langgartner F, Wiesner G, Gruber M, Hobbhahn J:**
Exposition des Personals gegenüber Sevofluran
Anaesthesist 54: 667-672 (2005)

36. **Soukup J, Schärff K, Kubosch K, Rudzki M, Zielonka M, Radke R:**
Sedierung mit volatilen Anästhetika auf der Intensivstation: Technische Umsetzung und derzeitige Erfahrung
Intensiv- und Notfallbehandlung. Jahrgang 32: 29-36 (2007)

37. **Spencer E, Willatts S, Prys-Roberts C:**
Plasma Inorganic Fluoride Concentrations during and after prolonged (>24h) Isoflurane Sedation: Effect on renal function
Anesth Analg 73: 731-737 (1991)

38. **Tempia A, Olivei C, Calza E, Lambert H, Scotti L, Orlando E, Livigni S, Guglielmotti E**
The Anesthetic Conserving Device Compared with Conventional Circle System Used Under Different Flow Conditions for Inhaled Anesthesia
Anesth Analg 96: 1056-1061 (2003)
39. **VDI-Richtlinien 2167:**
Technische Gebäudeausrüstung von Krankenhäusern
Entwurf, Dezember (2004)
40. **Verordnung zum Schutze der Mütter am Arbeitsplatz**
vom 15.04.1997
41. **Wappler F:**
Das Propofol-Infusionssyndrom (Klinik, Pathophysiologie und Therapie einer seltenen Komplikation)
Deutsches Ärzteblatt 103: 601-605 (2006)
42. **zentrale Patientenaufnahme des Bundeswehrkrankenhaus Ulm**
(persönliche Mitteilung 2007)

7 Anhang

Descriptive Statistik Messreihe 1

	N	Minimum	Maximum	Mean	SD
	Statistic	Statistic	Statistic	Statistic	Statistic
time_1	6	1,04	3,23	1,8367	,80522
time_2	6	1,76	4,56	2,8100	,98724
time_3	6	2,31	5,29	3,4183	1,26470
time_4	6	2,24	7,21	3,7700	1,79803
time_5	6	2,39	8,69	4,0533	2,34987
time_6	6	2,30	10,00	3,9950	3,00563
time_7	6	2,28	10,80	3,9783	3,35276
time_8	6	2,52	12,40	4,5183	3,87708
time_9	6	2,29	14,40	4,9067	4,67748
time_10	6	2,13	14,70	4,5733	4,96796
time_11	6	2,19	16,70	5,0333	5,72416
time_12	6	1,66	14,60	4,6083	4,92778
Valid N (listwise)	6				

Deskriptive Statistik: Messreihe 2,3

	N	Minimum	Maximum	Mean	SD
	Statistic	Statistic	Statistic	Statistic	Statistic
time_1	10	1,02	5,75	2,5580	1,74055
time_2	10	1,34	9,81	4,6390	2,40313
time_3	10	5,26	12,90	7,9500	2,39640
time_4	10	5,58	15,30	9,9290	2,84342
time_5	10	4,39	17,80	11,3880	3,55510
time_6	10	6,84	17,40	11,9740	2,86296
time_7	10	4,74	17,30	13,0540	3,53991
time_8	10	6,40	16,30	13,7500	2,84068
time_9	10	9,30	16,60	13,9800	2,46928
time_10	10	10,30	19,80	14,8400	2,79730
time_11	10	9,79	16,50	13,8590	2,12617
time_12	9	9,63	16,70	13,5922	2,22740
Valid N (listwi	9				

Deskriptive Statistik: Messreihe 4

	N	Minimum	Maximum	Mean	SD
	Statistic	Statistic	Statistic	Statistic	Statistic
time_1	9	1,04	4,97	1,9389	1,40352
time_2	9	1,47	6,71	3,9633	1,87263
time_3	9	2,98	10,10	6,5033	2,59187
time_4	9	3,22	11,90	8,1867	3,46591
time_5	9	2,95	14,10	9,0056	4,08709
time_6	9	3,16	12,80	8,9833	3,59489
time_7	9	3,51	13,40	9,5056	3,84853
time_8	9	3,91	13,50	9,1067	3,65498
time_9	9	3,95	11,90	8,6700	3,35027
time_10	9	3,74	12,90	8,4878	3,46471
time_11	9	4,10	14,30	8,6411	3,55052
time_12	9	3,48	12,60	7,6356	2,95469
Valid N (listwi	9				

8 Danksagung

Diese Arbeit wäre ohne die Unterstützung vieler Personen nicht möglich gewesen. Bei einigen möchte ich mich gerne besonders bedanken:

Herrn PD Dr. T. Marx

Herrn Prof. Dr. R. Rossaint

Herrn PD Dr. U. Schirmer

Herrn Spoon

Herrn S. Wentsch

Frau M. Bekk

den Mitarbeitern und Leitern der Intensivstationen des BWK Ulm, der BG-Klinik Halle und des Klinikums Rechts der Isar der Technischen Universität München

9 Erklärung zur Datenaufbewahrung

Hiermit erkläre ich, dass die dieser Dissertation zu Grunde liegenden Originaldaten

- bei mir, **Ingeborg Biener, Heilmannstr.21, 81479 München**

hinterlegt sind.

10 Lebenslauf

Persönliche Daten:

Name: Ingeborg Anna Elisabeth Biener
Geburtsdatum: 12.09.1980
Geburtsort: Hannover

Schulbildung:

1996-2000: Theresia-Gerhardinger-Gymnasium, München, Abschluss: Abitur
1991-1996: Maximiliansgymnasium, München
1987-1991: Grundschule an der Herterichstraße, München

Studium und Ausbildung:

Mai 2007-März 2008: Promotionsstudium an der Universität Ulm
Mai 2007: Erhalt der Approbation
Mai 2007: 2. Staatsexamen (neue AO)
Mär 2003: Physikum
Okt 2000-Mai 2007: Medizinstudium an der Universität Ulm
Jan 1998-Dez 1999: Ausbildung zur Rettungssanitäterin (neben der Schulzeit)

Berufliche Tätigkeiten:

Seit März 2008: Assistenzärztin in der Abteilung Anästhesiologie des Universitätsklinikums Aachen