

Universität Hamburg  
Universitäts-Krankenhaus Eppendorf  
Klinik für Anästhesiologie  
Direktor: Prof. Dr. med. J. Schulte am Esch

**Arbeitsplatzbelastung durch Inhalationsanästhetika**  
**Messungen in Hamburger Krankenhäusern 1987-1995**

**Dissertation**

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin  
dem Fachbereich Medizin der Universität Hamburg vorgelegt von

Karsten Dahm  
aus Hamburg

Hamburg, 1998

Angenommen von dem Fachbereich Medizin der  
Universität Hamburg am: **25. April 1999**

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereichs  
Medizin der Universität Hamburg

**Sprecher:** Prof. Dr. H.-P. Leichtweiß

**Referent:** Prof. Dr. J. Schulte am Esch

**Korreferent:** -

## Abkürzungsverzeichnis

AfA	Amt für Arbeitsschutz
AGS	Ausschuß für Gefahrstoffe
AKMP	Akkreditierungsstelle der Länder für Meß- und Prüfstellen
ASA	American Society of Anesthesiologists
BAT-Wert	Biologischer Arbeitsplatztoleranzwert
GefStoffV	Gefahrstoffverordnung
IQA	Interquartilsabstand
ITN	Intubationsnarkose
iv	intravenös
MAK	Maximale Arbeitsplatz Konzentration
N	Absolute Anzahl
NEL	No-effect-level
NIOSH	National Institute of Occupational Safety and Health
NOAEL	No-observed-adverse-effect-level
N <sub>2</sub> O	Distickstoffmonoxid (Stickoxydul, Lachgas)
ppm	Parts per million (= ml/m <sup>3</sup> )
TIVA	Totale intravenöse Anästhesie
TRGS	Technische Regeln für Gefahrstoffe

# Inhaltsverzeichnis

	<b>Seite</b>
<b>1. Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2. Rechtliche Grundlagen</b>	<b>5</b>
2.1 Gefahrstoffverordnung	5
2.2 Technische Regeln für Gefahrstoffe	8
2.3 Richtwerte in Hamburg	15
<b>3. Methode</b>	<b>16</b>
3.1 Material	16
3.2 Durchführung der Messungen	16
3.3 Eigene Auswertung der Daten	20
3.4 Statistik	23
<b>4. Ergebnisse</b>	<b>24</b>
4.1 Technische Messungen	24
4.2 Belastungsniveau durch Inhalationsanästhetika	26
4.3 Meßwerte der Arbeitsplatzbelastung durch Inhalations- anästhetika unter Einfluß verschiedener Faktoren	27
4.3.1 Meßstellen, Meßverfahren und Meßzeit	27
4.3.2 Art der Erfassung	28
4.3.3 Jahre	29
4.3.4 Krankenhausträger	29
4.3.5 Krankenhaus	30
4.3.6 Operatives Fach	33
4.3.7 Räume	33
4.3.8 Meßperson	34
4.3.9 Geräteleckagen und iatrogene Leckagen	35
4.3.10 Narkosegasabsaugung und Raumlüftungsanlage	36
4.3.11 Anästhesietechnik	38
4.3.11.1 Stickoxydul-Flow	38
4.3.11.2 Art der Einleitung	38

4.3.11.3	Intubation und Maskennarkose	39
4.3.11.4	Andere	40
4.3.12	Alter der Patientinnen und Patienten	40
<b>5.</b>	<b>Diskussion</b>	<b>41</b>
5.1	Adverse Wirkungen von Inhalationsanästhetika	41
5.1.1	Halogenierte Inhalationsanästhetika	41
5.1.2	Stickoxydul	43
5.1.3	Neurotoxizität	44
5.1.4	Subjektive Angaben	45
5.1.5	Zusammenfassung	46
5.2	Technische Messungen	48
5.3	Belastungsniveau durch Inhalationsanästhetika	50
5.4	Meßwerte der Arbeitsplatzbelastung durch Inhalationsanästhetika unter Einfluß verschiedener Faktoren	51
5.5	Mögliche Verbesserungen und Alternativen	59
5.6	Kontrollstrategien	62
5.6.1	Kritik der bisherigen Messungen in Hamburg	62
5.6.2	Ausstieg aus den Kontrollmessungen	67
5.6.3	Online-Monitoring	69
5.7	Problematik der Grenzwerte	71
5.8	Multifaktorielle Belastung des Personals im OP	74
<b>6.</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>76</b>
<b>7.</b>	<b>Anhang</b>	<b>78</b>
7.1	<i>Merkblatt für den Umgang mit Narkosegasen</i> des Amtes für Arbeitsschutz Hamburg	78
7.2	Erfassungsbogen für Messungen der Arbeitsplatzbelastung durch Inhalationsanästhetika	81
<b>8.</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>84</b>
<b>9.</b>	<b>Danksagung</b>	<b>95</b>

<b>10. Lebenslauf</b>	<b>96</b>
<b>11. Erklärung</b>	<b>98</b>

# 1. Einleitung

Das Problem der Arbeitsplatzbelastung durch Inhalationsanästhetika ist seit Ende des letzten Jahrhunderts bekannt (Hewitt 1893). Damals wurden neben Distickstoffmonoxid (Stickoxydul,  $N_2O$ , Lachgas) auch Äther und Chloroform zur Narkose verwendet und in der Literatur wiederholt über mögliche Schädigungen durch das Einatmen von Äther- bzw. Chloroformdämpfen berichtet. 1925 stellte der Chirurg Kirschner fest: *„Bedenkt man wie weitgehend in gewerblichen Betrieben für die Schonung der Arbeiter durch private Maßnahmen und behördliche Vorschriften gesorgt wird, ..., so ist es schwer verständlich, warum gerade die Chirurgie für ihre Jünger, die die Segnungen des achtstündigen Arbeitstages bisher nicht kennen, sich die Errungenschaften einer ihr sonst so nahe stehenden Schwesterdisziplin, der Hygiene, so wenig zunutze macht.“* (Kirschner 1925, S. 2162). Doch schon in jenen Jahren wurde versucht das Problem einer Narkosegasfortleitung zu lösen (Perthes 1925). 1929 quantifizierten Hirsch und Kappus zum erstenmal die berufliche Exposition bei Äthertropfnarkose mit Gazemaske: In der Mitte eines großen Operationssaales enthielt die Luft Äthermengen zwischen 0,1 und 0,001 Vol.-Promille, d.h.  $\frac{1}{100}$  bis  $\frac{1}{1000}$  der narkotisch wirksamen Dosis. In derselben Veröffentlichung wurde eine analytische Methode zur Bestimmung kleinster Äthermengen für die Prüfung von Schutzvorrichtungen vorgestellt (Hirsch und Kappus 1929).

Anfang der sechziger Jahre begann man, sich mit der Frage zu beschäftigen, ob Anästhesistinnen und Anästhesisten infolge einer chronischen Exposition an einer toxischen Leberschädigung durch Halothan erkranken könnten (Hügin 1964). Das Interesse an der Frage anderer toxischer Schädigungen durch Inhalationsanästhetika in subanästhetischen Konzentrationen wurde wieder geweckt, als 1967 und 1968 über teratogene und karzinogene Wirkungen der verwendeten Inhalationsanästhetika berichtet wurde (Vaisman 1967; Bruce 1968). Seitdem folgten viele epidemiologische Studien (ASA 1974; Cohen et al. 1980) und tierexperimentelle Untersuchungen (Kugel et al. 1989; Vieira et al. 1980), die bis heute eine Schädlichkeit von  $N_2O$ , Enfluran, Isofluran und Halothan in subnarkotischen Dosen nicht ausschließen können. Es wird deshalb empfohlen die Belastung durch Inhalationsanästhetika für das OP-Personal auf ein Minimum zu reduzieren. Die Fragen des Ausmaßes der Exposition und des möglichen Schutzes waren Gegenstand vieler Diskussionen (Henschel und Lehmann

1975). Dabei galt das Interesse hauptsächlich dem Halothan. Durch ältere Narkosegeräte und fehlende oder mangelnde Raumlüftungsanlagen und Narkosegasabsaugungen war die Belastung hoch. Erste Messungen ergaben Durchschnittswerte von 10 ppm Halothan (Linde und Bruce 1969). In einer Studie von Mehta et al., die verschiedene Meßmethoden und den Effekt einer passiven Narkosegasabsaugung untersuchte, schwankten die N<sub>2</sub>O-Mittelwerte zwischen 586 ppm (Stationäre Messung im OP-Raum) und 1829 ppm (Personenbezogene Messung des Anästhesisten im Einleitungsraum), wenn weder eine Narkosegasabsaugung noch eine Raumlüftungsanlage vorhanden war (Mehta et al. 1978). Die höhere Belastung des Anästhesie-Personals wurde also bereits damals erkannt. Über Einflußfaktoren auf die Höhe der Belastung wie Raumlüftungsanlagen, Narkosesystem, Narkosegas-Flow und Entfernung vom Ort der Leckage wurde Ende der 60er Jahre schon berichtet. Eine Methode der Entfernung von überschüssigen Inhalationsanästhetika aus dem halbgeschlossenen System wurde vorgestellt (Marrese 1969). Whitcher belegte die Effektivität einer Narkosegasabsaugung zur Reduzierung der Belastung durch Inhalationsanästhetika (Whitcher 1971).

Die heute in der Anästhesie verwendeten gasförmigen bzw. verdampften Anästhetika werden zumeist im halbgeschlossenen System eingesetzt, und häufig mit intravenös applizierten Opiaten und Muskelrelaxanzien kombiniert. Als Trägergasgemisch fungieren üblicherweise 66% Stickoxydul und 33% Sauerstoff (O<sub>2</sub>), um die analgetische Potenz des N<sub>2</sub>O weitgehend auszunutzen. Dazu wird eines der halogenierten Inhalationsanästhetika Desfluran, Enfluran, Halothan, Isofluran oder Sevofluran verdampft.

Bei der Anwendung von Inhalationsanästhetika ist eine Arbeitsplatzbelastung nicht völlig zu vermeiden. Die Ursache hierfür können zum einen auftretende Leckagen im Hochdrucksystem, von der zentralen Gasversorgung bis zum Reduzierventil im Narkosegerät sein. Zum anderen können im Niederdrucksystem, vom Narkosegerät bis zur Schnittstelle Gerät-Patient, während der Narkose Leckagen auftreten. Auch ein Entweichen von Inhalationsanästhetika aufgrund bestimmter anästhesiologischer Arbeitsweisen, sowie durch eine defekte oder mangelnde Narkosegasabsaugung ist möglich. Im Aufwachraum werden Reste der Inhalationsanästhetika von den Patientinnen und Patienten abgeatmet. Die Folge dieser Leckagen und der Abatmung im Aufwachraum ist die Arbeitsplatzbelastung durch Inhalationsanästhetika. Die heute

festzustellenden Durchschnittswerte der Belastung durch Inhalationsanästhetika sind niedriger als vor 20 Jahren, aber keineswegs zu unterschätzen (Gilly 1993; Gray 1989; Halsey 1991).

Es existieren einige Arbeiten, die den Zusammenhang der Gewichtung einzelner Einflußfaktoren und der Höhe der Belastung durch Inhalationsanästhetika für das Personal evaluieren. Faktoren wie Raumlüftungsanlage und Narkosegasabsaugung wurden häufig untersucht, andere Einflüsse wie z.B. Zustand und Dichtigkeit der Narkosegeräte, Größe des OP-Raumes, Anästhesietechnik, Sorgfalt der Beschäftigten etc. allerdings seltener. Die Fülle der Einflußfaktoren läßt daher nur eingeschränkt Vorhersagen zur Höhe der Belastung zu.

1977 wurde durch das National Institute of Occupational Safety and Health (NIOSH) zum erstenmal ein Richtwert von 25 ppm für Stickoxydul, bezogen auf einen achtstündigen Arbeitstag, empfohlen. Dieser Vorschlag basierte auf Untersuchungen, die reduzierte Leistungen in psychologischen und Verhaltenstests bei 50 ppm N<sub>2</sub>O und 1 ppm Halothan ergeben hatten (Bruce und Bach 1976). Das Interesse am Thema der Narkosegasbelastung hielt auch Anfang der 80er Jahre an (Cohen 1980; Halsey 1991), Dänemark und Schweden stellten Anfang der 80er Jahre als erste Länder in Europa Richtwerte auf.

Im Bundesland Hamburg wurden Ende der 80er Jahre auf Initiative des Arbeitsschutzlabors und des Referats für Frauenarbeitsschutz orientierende Messungen durch das Arbeitsschutzlabor des Amtes für Arbeitsschutz (AfA) durchgeführt und 1988 Richtwerte für alle damals verwendeten Inhalationsanästhetika erlassen. Grundlage dafür waren im wesentlichen die Grenzwerte der skandinavischen Länder. Seitdem wurden mehr oder weniger regelmäßig Kontrollmessungen in Hamburger Krankenhäusern vorgenommen, um die Einhaltung der Richtwerte zu überwachen. In der Bundesrepublik Deutschland bestehen MAK-Werte für Halothan, Enfluran, Isofluran und N<sub>2</sub>O, in Hamburg werden aber z.T. die niedrigeren Werte des AfA Hamburg zur Beurteilung herangezogen.

Es ist überraschend festzustellen, daß bis dato auch Veröffentlichungen zu Expositionsmessungen nur begrenzt vorliegen, bzw. auf einer geringen Anzahl von Messungen beruhen. Auch die Daten, die im AfA in Hamburg vorliegen, wurden bisher

nur zu einem kleinen Anteil ausgewertet (Deitenbeck 1994). Ein Teil der Messungen, die durch eine bestimmte Meßstelle durchgeführt worden waren, wurde für die Bundesanstalt für Arbeitsschutz ausgewertet (Bohne-Matusall und Rasmussen 1991b).

Ziel dieser Arbeit ist es, die Messungen der Arbeitsplatzbelastung durch Inhalationsanästhetika in Hamburger Krankenhäusern von 1987 bis 1995 auszuwerten, die bisherige meßtechnische Überwachung zu untersuchen, die Einflußfaktoren auf die Höhe der Belastung zu analysieren, Vorschläge für Verbesserungen abzuleiten, die Problematik der Grenzwerte zu diskutieren und die Belastung durch Inhalationsanästhetika einzuordnen in die multifaktorielle Belastung des OP-Personals.

## **2. Rechtliche Grundlagen**

### **2.1 Gefahrstoffverordnung**

Die Gefahrstoffverordnung (GefStoffV), die 1986 zum erstenmal erlassen wurde, ist die Fortsetzung der Arbeitsstoffverordnung von 1976 und setzt auf der Grundlage des Chemikaliengesetzes u.a. diverse EU-Richtlinien um. Für Gefahrstoffe existieren gemäß GefStoffV Grenzwerte. Die hier ausschnittsweise kurz angesprochenen Paragraphen 3-54 regeln auf dem Stand vom 19.9.1994 folgendes:

#### **§3 Begriffsbestimmungen**

Die Maximale Arbeitsplatzkonzentration (MAK) wird definiert als die Konzentration einer Substanz in der Luft am Arbeitsplatz, die die Gesundheit der Beschäftigten nicht beeinträchtigt. Die Auslöseschwelle wird definiert als die Konzentration eines Stoffes in der Luft am Arbeitsplatz, bei deren Überschreitung zusätzliche Maßnahmen zum Schutz der Gesundheit nötig sind. Verfahren, Einrichtungen und Betriebsweisen, deren Eignung als Maßnahme zum Gesundheitsschutz durch erfolgreiche Erprobung in der Praxis gesichert erscheinen, werden als Stand der Technik festgelegt.

#### **§4 Gefährlichkeitsmerkmale**

Als gefährliche Stoffe werden Substanzen bezeichnet, die bei Kontakt akute oder chronische Gesundheitsschäden beim Menschen verursachen können. Mechanismen der Schädigung werden spezifiziert.

#### **§15b Besondere Beschäftigungsbeschränkungen für besondere Personengruppen**

Ein Beschäftigungsverbot für Jugendliche ist möglich, wird aber durch mehrere Bedingungen eingeschränkt. Schwangere Frauen oder stillende Mütter dürfen mit Gefahrstoffen beschäftigt werden, solange die Auslöseschwelle nicht überschritten wird. Wenn der schädigende Mechanismus eines Gefahrstoffes in einer kanzerogenen, reproduktionstoxischen, oder mutagenen Wirkung besteht, gilt diese Beschäftigungserlaubnis nur für stillende Mütter. Für schwangere Frauen besteht bei

diesen Schädigungsmechanismen ein Expositionsverbot. D.h., schwangere Frauen dürfen in diesem Falle nur dann mit dem Gefahrstoff umgehen, wenn sie ihm bei bestimmungsgemäßen Umgang nicht ausgesetzt sind. In der TRGS (Technische Regeln für Gefahrstoffe) 101 ist definiert, was hierunter zu verstehen ist: Beschäftigte sind einem Gefahrstoff ausgesetzt, wenn eine über die ubiquitäre Luftverunreinigung („Hintergrundbelastung“) hinausgehende Exposition vorliegt.

### **§16 Ermittlungspflicht**

Der Unternehmer hat festzustellen, ob es sich im Hinblick auf verwendete Substanzen um Gefahrstoffe handelt. Ist ein Gesundheitsschutz durch andere Maßnahmen nicht zu gewährleisten, müssen Verwendungsverfahren dahingehend verändert werden, daß das Auftreten von Gefahrstoffen am Arbeitsplatz vermindert wird, wenn dies technisch möglich und zumutbar ist.

### **§17 Allgemeine Schutzpflicht**

Zum Schutz der menschlichen Gesundheit hat der Unternehmer Maßnahmen zu treffen. Dabei sind allgemein anerkannte sicherheitstechnische, arbeitsmedizinische und hygienische Regeln einschließlich der Regeln über Einstufung, Sicherheitsinformation und Arbeitsorganisation ebenso zu beachten wie gesicherte arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse. Dies ist der Fall, wenn die Fachleute von der Zweckmäßigkeit bestimmter Regeln überzeugt sind und sie sich in der Fachpraxis bewährt haben. Die GefStoffV und die Arbeitsstättenverordnung gelten nebeneinander. Die berufsgenossenschaftlichen Unfallverhütungsvorschriften ergänzen die GefStoffV.

### **§18 Überwachungspflicht**

Wenn das Auftreten gefährlicher Substanzen in der Luft am Arbeitsplatz nicht sicher auszuschließen ist, so ist zu ermitteln, ob Grenzwerte überschritten werden. Der Unternehmer, der eine außerbetriebliche Meßstelle beauftragt, kann von der Richtigkeit der von der Meßstelle festgestellten Erkenntnisse ausgehen, wenn die Meßstelle von den Ländern anerkannt ist. Die Meßergebnisse sind der zuständigen Behörde auf Verlangen mitzuteilen.

## **§19 Rangfolge der Schutzmaßnahmen**

Das Arbeitsverfahren ist nach dem Stand der Technik so zu gestalten, daß gefährliche Stoffe nicht freigesetzt werden. Ist das nicht möglich, sind die gefährlichen Gase und Dämpfe möglichst an ihrer Austrittsstelle nach dem Stand der Technik zu erfassen und entsorgen. Sollte dies nicht vollständig möglich sein, sind dem Stand der Technik entsprechende Lüftungsmaßnahmen vorzunehmen. Arbeitsverfahren sind, soweit zumutbar, auch bei Einhaltung von Grenzwerten, der Fortentwicklung der Sicherheitstechnik anzupassen, wenn diese sich bewährt haben und die Arbeitssicherheit erheblich erhöhen. Der Begriff „Stand der Technik“ ist zwischen allgemein anerkannten Regeln der Technik und dem Stand der Wissenschaft einzuordnen. Die gestellten Anforderungen gehen damit über die allgemein anerkannten Regeln der Sicherheitstechnik (§17) hinaus.

## **§20 Betriebsanweisung**

Der Unternehmer hat in verständlicher Form und in der Sprache der Beschäftigten eine Betriebsanweisung zu erstellen und bekanntzumachen. Gebärfähige Beschäftigte sind über zusätzliche Gefahren zu unterrichten. Die Unterweisungen müssen arbeitsplatzbezogen vor Aufnahme der Beschäftigung und danach wenigstens einmal jährlich mündlich erfolgen.

## **§21 Unterrichtung und Anhörung der Arbeitnehmer in besonderen Fällen**

Hier wird die Beteiligung der Beschäftigten, oder des Betriebs- oder Personalrats, bei der Ermittlung und Beurteilung von Gefahrstoffen sowie bei den zu ergreifenden Maßnahmen geregelt.

Der **§41** regelt **behördliche Anordnungen und Befugnisse**. Er beinhaltet u.a., daß die zuständige Behörde über die sich aus §18 ergebende Meßverpflichtung hinaus von dem Unternehmer verlangen kann, die Einhaltung von Grenzwerten zu ermitteln. Voraussetzung dafür ist die Annahme, daß ein Gefahrenzustand vorliegt.

Die **§§43** und **44** lassen unter bestimmten Kautelen **Ausnahmen** bezüglich einiger Regelungen in den §§15 und 17 zu.

In §50 werden **Ordnungswidrigkeiten und Straftaten** des Unternehmers definiert.

In §54 Abs. 9 wird festgestellt, daß die nach den bisher geltenden Vorschriften anerkannten außerbetrieblichen Meßstellen bis Ende des Jahres 1996 als akkreditiert gelten.

## **2.2 Technische Regeln für Gefahrstoffe (TRGS)**

### **TRGS 001 Allgemeines, Aufbau, Anwendung und Wirksamwerden der TRGS**

*„Die Technischen Regeln für Gefahrstoffe (TRGS) geben den Stand der sicherheitstechnischen, arbeitsmedizinischen, hygienischen sowie arbeitswissenschaftlichen Anforderungen an Gefahrstoffe hinsichtlich Inverkehrbringen und Umgang wieder. Sie werden vom Ausschuß für Gefahrstoffe (AGS) aufgestellt und von ihm der Entwicklung entsprechend angepaßt...Durch die TRGS werden insbesondere die in §17 Abs. 1 der Verordnung genannten Regeln und Erkenntnisse inhaltlich näher bestimmt...“*

### **TRGS 101 Begriffsbestimmungen**

Hier ist die *Auslöseschwelle* festgelegt. *„Die Auslöseschwelle ist der Grenzwert“*. Bei Überschreiten der Auslöseschwelle können technische oder organisatorische Maßnahmen notwendig werden, die die Einhaltung des Grenzwertes herbeiführen sollen. Ist dies nicht möglich, können personenbezogene Schutzmaßnahmen notwendig werden.

### **TRgA 400 Anforderungen an Meßstellen zur Durchführung der Messungen gefährlicher Stoffe in der Luft am Arbeitsplatz**

Der Unternehmer kann die Messungen selbst durchführen oder eine externe Meßstelle beauftragen. Die TRgA 400 regelte vor Änderung des §18 Abs. 2 GefStoffV 1993 die Bedingungen für eine Anerkennung außerbetrieblicher *und* innerbetrieblicher

Meßstellen. Die notwendige Prüfung für die Aufnahme in eine Liste anerkannter Meßstellen wurde vom Arbeitskreis „Meßstellen“ vorgenommen.

Dieser Arbeitskreis stellte seine Tätigkeit zum 1.11.1993 ein, denn mit Änderung des §18 Abs. 2 GefStoffV 1993 wurde das Anerkennungsverfahren den Ländern übertragen, die eine zentrale „*Akkreditierungsstelle der Länder für Meß- und Prüfstellen*“ (AKMP) in Kassel einrichteten. Die AKMP nahm im Juni 1994 ihre Arbeit auf. Die „*Richtlinie für die Akkreditierung von außerbetrieblichen Meßstellen zum Vollzug des Gefahrstoffrechts*“ vom 5.4.1995 formuliert personelle Anforderungen und Anforderungen an die Berichterstattung, die technische Ausstattung und die Organisation der Meßstellen. Für die AKMP sind Gutachterinnen und Gutachter aus den Aufsichtsbehörden der Länder, den Berufsgenossenschaften, der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und dem Berufsgenossenschaftlichen Institut für Arbeitssicherheit tätig.

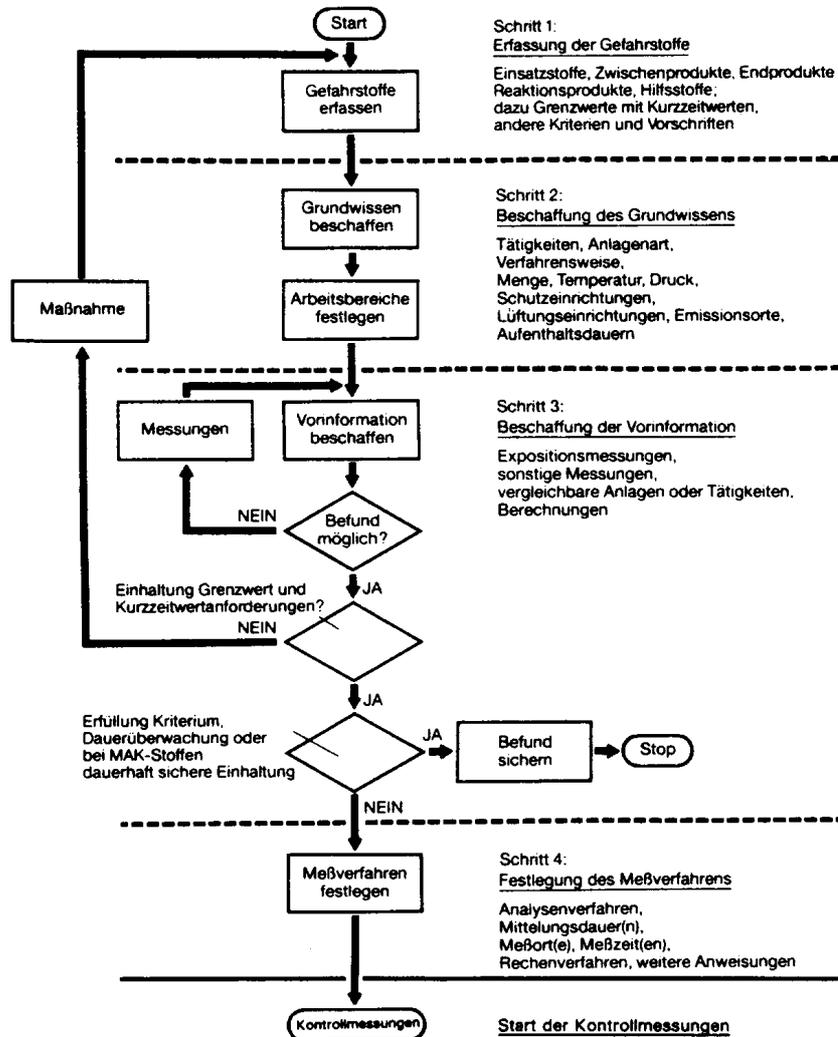
Die TRgA 400 verliert durch dieses neugeregelt Verfahren ihre Bedeutung für die Beurteilung außerbetrieblicher Meßstellen. Eine gemeinsame Arbeitsgruppe, die sich aus Vertreterinnen und Vertretern des AGS und der AKMP zusammensetzt, erstellt einen Leitfaden, der auf den Akkreditierungsrichtlinien basiert und die Anforderungen an Meßstellen konkretisiert. Bis zur Erarbeitung des Leitfadens, und darauffolgender Bekanntgabe der Aufhebung der TRgA 400, beschreibt diese die für innerbetriebliche Meßstellen geltenden Anforderungen.

### **TRGS 402 Ermittlung und Beurteilung der Konzentrationen gefährlicher Stoffe in der Luft in Arbeitsbereichen**

Hier wird geregelt, daß eine Arbeitsbereichsanalyse durchzuführen ist und wie Messungen auszuführen und die Meßergebnisse zu beurteilen sind. Dabei werden Möglichkeiten der betrieblichen Praxis berücksichtigt. Die Überwachung der Arbeitsbereiche enthält zwei Stufen: Zuerst hat eine Arbeitsbereichsanalyse zu erfolgen, daran anschließend wird die weitere Einhaltung der Grenzwerte durch Kontrollmessungen regelmäßig überprüft.

Die Arbeitsbereichsanalyse kann erst abgeschlossen werden, wenn die Einhaltung der Grenzwerte festgestellt wurde. Die Arbeitsbereichsanalyse beinhaltet die Erfassung der Arbeitsstoffe, Beschaffung des Grundwissens, Beschaffung der Vorinformation und

Festlegung des Meßverfahrens für die Kontrollmessungen. Das Vorgehen im Rahmen der Arbeitsbereichsanalyse wird in Abb.1 konkretisiert, die der TRGS 402 entnommen ist. Sie stellt dar, daß vor den eigentlichen Messungen drei wichtige Schritte einzuhalten sind.



**Abb.1:** Arbeitsbereichsanalyse

(der TRGS 402 entnommen)

Mit der Festlegung des Meßverfahrens für die Kontrollmessungen werden das Analyseverfahren, die Mitteldauer, der Meßort, die Meßzeit, das Rechenverfahren zur Ermittlung des Meßergebnisses aus dem Meßwert und weitere Anweisungen zur Durchführung der Messungen festgelegt. Die Messungen müssen repräsentativ sein und unter den betriebsüblichen Arbeitsbedingungen vorgenommen werden. Das Meßergebnis wird so aufbereitet, daß es als zeitlichen Bezug die Schichtlänge hat.

Wenn die Probenahmedauer nicht einer Schichtlänge entspricht, werden bei mehreren vorliegenden Meßwerten einer Schicht zeitgewichtete arithmetische Mittelwerte gebildet. Nachweisgrenzen und Genauigkeit des Meßverfahrens müssen dem Grenzwert angepaßt sein, und die gesamte Meßunsicherheit soll 30% nicht überschreiten. Die Probenahme hat möglichst in Atemhöhe und unmittelbarer Nähe der Beschäftigten personenbezogen zu erfolgen. Der Einsatz ortsfester Meßsysteme ist auch möglich.

Expositionsspitzen werden durch die zu den Grenzwerten gehörenden Kurzzeitwerte festgelegt. Für Inhalationsanästhetika gilt, daß der 15-Minuten-Mittelwert die vierfache Grenzwert-Konzentration nicht überschreiten soll.

Grenzwerte gelten als eingehalten, wenn der Schichtmittelwert der Exposition den zugehörigen Grenzwert nicht überschreitet und Anforderungen des Kurzzeitwertes erfüllt werden. Der Befund „Überschreitung“ liegt vor, wenn ein Meßergebnis größer als der Grenzwert ist, oder eine Kurzzeitwertanforderung nicht erfüllt ist. Bei dem Befund „Überschreitung“ wird eine erneute Arbeitsbereichsanalyse notwendig, ebenso aufgrund von Änderungen des Arbeitsprozesses oder von anderen Einflüssen auf die Höhe der Exposition. Arbeitsbereichsanalyse sowie Kontrollmessungen sind mit der Begründung der Vorgehensweise zu protokollieren. Die Angaben müssen die Meßstelle, die Beschreibung des Arbeitsbereichs, das Meßverfahren, den Meßplan, die Arbeitsbedingungen zur Zeit der Messung, die Meßergebnisse, den Befund und ggf. Maßnahmen enthalten. Der zeitliche Abstand der Kontrollmessungen wird in Abhängigkeit von der Höhe des Meßergebnisses festgelegt.

Neben den Befunden „Einhaltung“ und „Überschreitung“ des Grenzwertes gibt es die zwei weiteren Befundmöglichkeiten „dauerhaft sichere Einhaltung des Grenzwertes“ und „Erfüllung des verfahrens- und stoffspezifischen Kriteriums“. Grenzwerte gelten als dauerhaft sicher eingehalten, wenn durch die Gestaltung des Arbeitsprozesses der Grenzwert langfristig nicht überschritten werden kann. Diese Situation liegt vor,:

- a) wenn die Schichtmittelwerte langfristig nicht mehr als ein Viertel des Grenzwertes betragen.
- b) bei Einhaltung eines verfahrens- und stoffspezifischen Kriteriums.
- c) bei Dauerüberwachung und durch einer Alarmierung nachfolgende Maßnahmen.

Für die Beurteilung der Meßergebnisse im Rahmen der Arbeitsbereichsanalyse ist zugrunde zu legen, daß die Exposition durch Schichtmittelwerte typisch erfaßt wird, da sich Betriebszustände im Arbeitsbereich regelmäßig wiederholen und Expositionsbedingungen sich langfristig wenig ändern. Ggf. müssen verschiedene Betriebszustände unabhängig voneinander beurteilt werden. Das Meßergebnis ist durch den Grenzwert zu dividieren, so erhält man den Stoffindex I.

Schon im Rahmen der Arbeitsbereichsanalyse kann festgestellt werden, daß Grenzwerte dauerhaft sicher eingehalten sind. Dies gilt, wenn a) der Stoffindex I eines Meßergebnisses kleiner 0,1 ist und b) Meßergebnisse für wenigstens drei Schichten vorliegen und alle Indices kleiner 0,25 sind. In beiden Fällen muß darüberhinaus verfahrensbedingt sichergestellt sein, daß Grenzwerte auch zukünftig nicht überschritten werden.

In diesen Fällen einer dauerhaft sicheren Einhaltung der MAK-Werte kann auf weitere Kontrollmessungen verzichtet werden.

Um festzustellen, daß Grenzwerte dauerhaft sicher eingehalten sind, ist es auch möglich durch eine ortsfeste Meßeinrichtung quasikontinuierlich die Kontamination des Arbeitsplatzes zu überwachen. Voraussetzung hierfür ist, daß bei Erreichen des MAK-Wertes ein Voralarm ausgelöst wird, um durch dann ausgelöste Maßnahmen die Senkung der Belastung herbeizuführen. Die Höhe des Hauptalarms ist frei wählbar. Wird er ausgelöst, haben die Beschäftigten den Arbeitsbereich zu verlassen und dürfen ihn während derselben Schicht nicht mehr betreten.

In begründeten Einzelfällen können die zuständigen Behörden den Ausstieg aus den Kontrollmessungen untersagen.

### **TRGS 403 Bewertung von Stoffgemischen in der Luft am Arbeitsplatz**

Da sich Grenzwerte für Stoffgemische wissenschaftlich nicht herleiten lassen, wurde folgende pragmatische Orientierungshilfe geschaffen: Die Summe aus den Quotienten der einzelnen Schadstoffkonzentrationen und dem jeweils korrespondierenden Grenzwert darf nicht größer eins sein. Dieses Verfahren wird jeweils für Stoffe mit einem *MAK-Wert* und Stoffe mit einem *TRK-Wert* (*Technische Richtkonzentration*)

getrennt angewendet und ein Bewertungsindex  $I_{MAK}$  und  $I_{TRK}$  errechnet. Wenn die Konzentrationsverhältnisse der Einzelstoffe gleichbleibend sind, kann eine auf Leitkomponenten reduzierte Erfassung vorgenommen werden.

### **TRGS 555 Betriebsanweisung und Unterweisung nach §20 GefStoffV**

Hier werden Inhalt, Gliederung, Gestaltung und Durchführung einer Unterweisung bzw. einer Betriebsanweisung geregelt.

### **TRGS 900 Grenzwerte in der Luft am Arbeitsplatz - MAK- und TRK-Werte**

*„MAK ist die Konzentration eines Stoffes in der Luft am Arbeitsplatz, bei der im allgemeinen die Gesundheit der Arbeitnehmer nicht beeinträchtigt wird... MAK-Werte werden für gesunde Personen in erwerbsfähigem Alter aufgestellt... Maßgebend sind dabei wissenschaftlich fundierte Kriterien des Gesundheitsschutzes, nicht die technischen und wirtschaftlichen Möglichkeiten der Realisation in der Praxis.“*

Für Inhalationsanästhetika gelten folgende MAK-Werte:

Stickoxydul:  $100 \text{ ml/m}^3$  ( $182 \text{ mg/m}^3$ )

Chemische Bezeichnung: Distickstoffmonoxid

Halothan:  $5 \text{ ml/m}^3$  ( $40 \text{ mg/m}^3$ )

Chemische Bezeichnung: 2-Brom-2-chlor-1,1,1-trifluorethan

Enfluran:  $20 \text{ ml/m}^3$  ( $150 \text{ mg/m}^3$ )

Chemische Bezeichnung: 2-Chlor-1-(difluormethoxy)-1,1,2-trifluorethan

Isofluran:  $80 \text{ mg/m}^3$

Chemische Bezeichnung: 1-Chlor-2,2,2-trifluorethyldifluormethylether

Für Sevofluran und Desfluran wurden bisher keine MAK-Werte festgelegt.

**TRGS 903 Biologische Arbeitsplatztoleranzwerte - BAT-Werte**

*„Biologischer Arbeitsplatztoleranzwert (BAT-Wert) ist die Konzentration eines Stoffes oder seines Umwandlungsproduktes im Körper oder die dadurch ausgelöste Abweichung eines biologischen Indikators von seiner Norm, bei der im allgemeinen die Gesundheit der Arbeitnehmer nicht beeinträchtigt wird (§3 Abs. 6 GefStoffV)...“* BAT-Werte werden in der Regel für Stoffe im Blut und/oder Harn aufgestellt, und es wird in der Regel eine Stoffbelastung von maximal 8 Stunden täglich und 40 Stunden wöchentlich zugrunde gelegt. Die Einhaltung von BAT-Werten entbindet nicht von der Überwachung der Stoffkonzentration in der Luft. Beim Halothan ist für dessen Metaboliten Trifluoressigsäure ein BAT-Wert von 2,5 mg/l festgelegt. Das Untersuchungsmaterial muß Vollblut sein, welches zu Schichtende oder bei Langzeitexposition nach mehreren vorangegangenen Schichten entnommen wurde.

**TRGS 905 Verzeichnis krebserzeugender, erbgutverändernder oder fortpflanzungsgefährlicher Stoffe**

Halothan ist hier als fruchtschädigend (entwicklungsschädigend) in der Kategorie 2 nach Anhang I GefStoffV eingetragen. Es existieren drei Kategorien. Kategorie 2 besagt, daß Halothan als fruchtschädigend (entwicklungsschädigend) für den Menschen angesehen werden sollte, da eindeutige Hinweise aus Tierversuchen oder sonstige relevante Informationen vorliegen.

Eine Einstufung als reproduktionstoxisch erfolgt nur dann, wenn diese Wirkungen nicht als sekundäre und unspezifische Folge anderer toxischer Wirkungen auftreten.

## 2.3 Richtwerte in Hamburg

Gemäß dem *Merkblatt für den Umgang mit Narkosegasen* des AfA Hamburg (AfA Hamburg 1997) werden folgende Werte zur Beurteilung herangezogen:

Stickoxydul: 50 ppm

Enfluran: 10 ppm

Isofluran: 10 ppm

Halothan: MAK-Wert=5 ppm

Für die Beurteilung des Anästhesiearbeitsplatzes legt das AfA Hamburg den obigen Wert von 50 ppm für Stickoxydul zugrunde, für die Festlegung der Fristen von Wiederholungsmessungen und andere rechtlich begründete Konsequenzen gilt jedoch der nationale MAK-Wert von 100 ppm.

Kurzzeitwerte gelten entsprechend den TRGS 402 und 900.

### **3. Methode**

#### **3.1 Material**

Es wurden retrospektiv Daten des Amtes für Arbeitsschutz Hamburg ausgewertet. Basierend auf der Gefahrstoffverordnung, den TRGS und den Anweisungen des AfA Hamburg wurden seit 1987 Messungen der Arbeitsplatzbelastung durch Inhalationsanästhetika in Hamburger Krankenhäusern vorgenommen. In dieser Arbeit wurden Messungen ausgewertet, die im Zeitraum von Ende 1987 bis Anfang 1995 von inner-, sowie außerbetrieblichen Meßstellen durchgeführt wurden. Es konnten 41 staatliche, gemeinnützige und private Krankenhäuser erfasst werden. Vier weitere Hamburger Krankenhäuser konnten in diese Auswertung nicht mit einbezogen werden, da in jeweils einem Fall in dem betreffenden Krankenhaus keine Inhalationsanästhetika eingesetzt wurden, oder dort noch keine Messungen der Arbeitsplatzbelastung durch Inhalationsanästhetika durchgeführt wurden, oder in zwei Fällen die Akte nicht zur Verfügung stand. Die Auswertung wurde mit Zustimmung des leitenden Gewerbedirektors des AfA Hamburg vorgenommen. Da nach § 139b Abs. 1 Satz 3 der Gewerbeordnung eine Verpflichtung zur Geheimhaltung besteht, wurden die Krankenhäuser und Meßstellen durch Nummern anonymisiert.

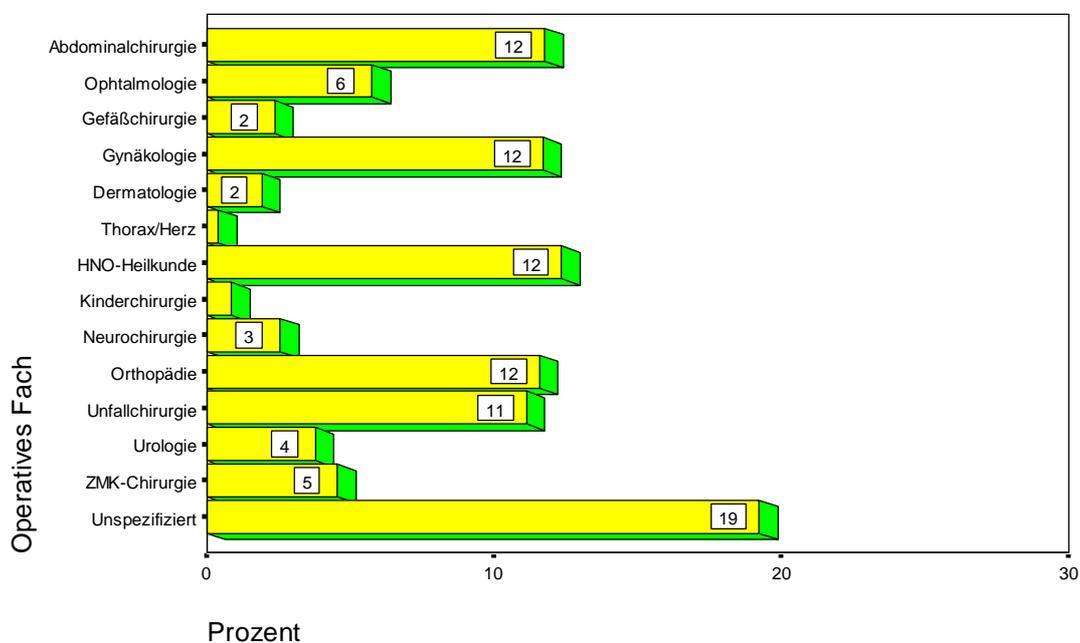
#### **3.2 Durchführung der Messungen**

Die Messungen der Arbeitsplatzbelastung durch Inhalationsanästhetika wurden mittels dreier Meßverfahren in verschiedenen Fachgebieten und Funktionsräumen Hamburger Krankenhäuser während unterschiedlicher Anästhesieverfahren durchgeführt. Als weitere Einflußfaktoren wurden z.T. Meßzeit, gemessene Person, Meßort, Raumlüftungsanlage, Narkosegasabsaugung, Narkosegerät, Leckagen und das Alter der Patientin oder des Patienten berücksichtigt und in Meßberichten vermerkt.

Für diese Untersuchung wurden 2193 Datensätze erhoben. Der Anteil daran von Messungen in Aufwächerräumen betrug 198. Der Rest der Messungen verteilte sich auf Einleitungs-, OP-, Ausleitungs- und Poliklinik-Räume. In 45 Datensätzen wurden keine Narkosen und Operationen erfaßt, sondern reine N<sub>2</sub>O-Grundpegelmessungen durchgeführt, d.h. Messungen, die morgens vor Anästhesiebeginn oder abends nach

Ende des OP-Programms und der Narkosen vorgenommen wurden. Außer in den 45 Datensätzen, die reine Grundpegelmessungen darstellen, wurde der N<sub>2</sub>O-Grundpegel in 1167 weiteren Fällen begleitend zu Messungen während Narkosen angegeben. Die Anzahl der Messungen von N<sub>2</sub>O betrug 1722, Halothan wurde in 323, Enfluran in 171 und Isofluran in 716 Fällen gemessen. Der Anteil der einzelnen Fachgebiete an den Messungen ist aus Abb.2 ersichtlich.

Es kamen verschiedene Anästhesieverfahren bei Patienten und Patientinnen vom Kleinkindalter bis ins Erwachsenenalter zum Einsatz: Intravenöse- und Maskeneinleitungen, Maskennarkosen und Intubationsnarkosen mit geblocktem Cuff als reine Gasnarkosen oder balancierte Anästhesien, bzw. intravenöse Narkosen unter zusätzlicher Verwendung von Stickoxydul mit unterschiedlichen N<sub>2</sub>O-Flußraten. Sehr selten wurden Intubationsnarkosen mit ungeblocktem Cuff bei Kindern (N=4), TIVA (N=3), Narkosen mittels Larynxmaske (N=6) oder Bronchoskopien (N=9) meßtechnisch erfaßt. In 43 Fällen wurde während alleinigen Leitungsanästhesien gemessen. D.h., es wurden in 46 Fällen Messungen vorgenommen, ohne daß zur Narkose Inhalationsanästhetika verwendet wurden.



**Abb.2:** Anteile der einzelnen Fachgebiete

Kleinkindernarkosen 2,2%; Kindernarkosen 9,4%; Erwachsenenarkosen 12,1%; keine Angabe 76,2%.

Es wurden 27 verschiedene Narkosegerätetypen verwendet: NS 650, NS 656, AV 1, Cicero, Tiberius und Tiberius 19, Sulla, Romulus 19, Sulla 19, Romulus 800 und Romulus 800 M, Sulla 800, Sulla 808, Sulla 808 V, Sulla 808 V-D, Wandnarkosegerät, Wandschienenarkosegerät, Trajan, Trajan 800, Trajan 808 und Trajan 808 M, Titus A, Pulmonat, Pulmonat 19 und Pulmonat 19 K, Tiberius 800, Heyer St. Jürgens, Engström, Hoyer Cirrus, Siemens Ventilator 710, Dräger Cato, Siemens Ventilator 711, Siemens Servo 900 D.

In den Einleitungs-, OP-, Ausleitungs- und Poliklinik-Räumen war zu 90,4% (N=1803) eine Raumlüftungsanlage vorhanden, in 7,5% der Fälle (N=150) fehlte sie und in 2,1% (N=42) war von den Krankenhäusern in dieser Frage keine Antwort zu erhalten. Eine Angabe der Luftwechselrate/Stunde wurde in 43,5% der Fälle (N=867) gemacht: Sie variierte zwischen 5,5 und 43. Für ein Krankenhaus wurde achtmal ein Luftwechsel von 220 und für ein anderes Krankenhaus zweimal ein Luftwechsel von 600, jeweils in orthopädischen OP-Räumen, angegeben. Eine Narkosegasabsaugung war in 94,9% der Fälle (N=1894) vorhanden, sie fehlte in 3% (N=59) der Messungen und in 2,1% (N=42) wurde von den Krankenhäusern keine Information gegeben. Die Leistung der Narkosegasabsaugung wurde in 17,7% der Fälle (N=354) angegeben: Sie lag zwischen 13 und 70 l/min. Von 198 Messungen in Aufwächrräumen war in 48 Fällen (24,2%) keine Raumlüftungsanlage vorhanden. In den Aufwächrräumen mit vorhandener Raumlüftungsanlage lag die Luftwechselrate/Stunde, die in 64 Fällen (32,3%) angegeben wurde, zwischen 6 und 25. Es handelte sich in allen Räumen gemeinsam in 114 Fällen (5,2%) um Klimaanlage mit einem Anteil rezirkulierender Luft zwischen 10 und 35% und in 28 Fällen (1,3%) um Räume mit einer laminaren Luftströmung. Lokale Absaugungen wurden selten (N=36; 1,7%) eingesetzt.

Es kamen drei Meßverfahren zum Einsatz. Untere Nachweisgrenzen und Meßfehler der einzelnen Geräte werden nachfolgend angegeben, soweit sie von den die Geräte herstellenden Firmen und den Meßstellen in Erfahrung gebracht werden konnten. Die untere Nachweisgrenze ist der Wert, ab dem die zu prüfende Substanz bei direktanzeigender Messung oder Laborauswertung einer Probe ein Signal auslöst. Der Meßfehler entspricht der Genauigkeit des jeweils gemessenen Wertes und wird in % angegeben. Es ist zu beachten, daß bei direktanzeigender Messung die Nachweisgrenze auch von der Auswahl der optischen Filter abhängt.

1. Infrarot-spektroskopische direktanzeigende Messungen. Verwendet wurden folgende Geräte:

**Brüel & Kjaer 1302:** *Nachweisgrenzen:* N<sub>2</sub>O: 0,5 ppm; Enfluran: 0,005 ppm; Halothan: 0,02 ppm; Isofluran: 0,009 ppm.

*Reproduzierbarkeit* (ist bei anderen Geräten dem *Meßfehler* vergleichbar): 1% bei der 100fachen unteren Nachweisgrenze.

**Miran 1A und Miran 1B2:** *Nachweisgrenzen:* N<sub>2</sub>O: 0,04 ppm, Enfluran: 0,02 ppm; Halothan: 0,3 ppm; Isofluran: 0,02 ppm.

*Meßfehler:* 15%.

**Simrad Optronics:** *Nachweisgrenzen:* Unbekannt.

*Meßfehler:* 5%.

Zur Leckagesuche wurden folgende Geräte verwendet: Miran Wilks 104 (Nachweisgrenze: 5 ml/min., Meßfehler: 5%), Miran 203 (Nachweisgrenze 2 ml/min., Meßfehler: 5%), Brüel & Kjaer 1302 und Miran 1A.

2. Aktive Probenahme der halogenierten Inhalationsanästhetika mit Pumpe auf Aktivkohleröhrchen (Üblicher Probenahmezeitraum: 6-8 Stunden) und von N<sub>2</sub>O auf Molekularsieb (Üblicher Probenahmezeitraum: 2 Stunden). Folgende Pumpen wurden verwendet: SKC 222, PAS S 125 DuPont, SKC 222-4, DuPont P2500 und PAS S-205 DuPont. Verwendete Aktivkohleröhrchen: Typ B und Typ G Dräger, NIOSH-Aktivkohleröhrchen. Laborauswertung der halogenierten Inhalationsanästhetika: Nach Desorption Bestimmung mittels Gaschromatographie und Elektroneneinfangdetektor (*Nachweisgrenzen* abhängig vom Probenahmevolumen ca. 3 mg/m<sup>3</sup>, *Meßfehler:* 15%). Laborauswertung von N<sub>2</sub>O: Thermische Desorption und Bestimmung mittels Infrarot-Spektrophotometer (*Nachweisgrenze:* Ca. 3 mg/m<sup>3</sup>; *Meßfehler:* 15%).

3. a) Passive (Diffusions-) Probenahme der halogenierten Inhalationsanästhetika auf Aktivkohle mittels Diffusionssammler ORSA 5 Dräger (Üblicher Probenahmezeitraum: 30-480 Minuten). Laborauswertung: Nach Desorption Bestimmung mittels Gaschromatographie und Elektroneneinfangdetektor. *Nachweisgrenzen:* 0,03 mg/m<sup>3</sup>; *Meßfehler:* 4-8%.

b) Passive (Diffusions-) Probenahme von N<sub>2</sub>O auf Molekularsieb mittels Lachgas-Diffusionssammler Dräger (Üblicher Probenahmezeitraum: 30-480 min.).  
Laborauswertung: Thermische Desorption und infrarot-spektrometrische Bestimmung.  
*Nachweisgrenze:* Bei achtstündiger Probenahme ca. 2,5 ppm; *Meßfehler:* 4-8%.

Es wurde personenbezogen und stationär gemessen. Personenbezogen wurde die Exposition gegenüber Inhalationsanästhetika im Atembereich des ärztlichen und pflegerischen OP-Personals erfaßt. Das stationäre Monitoring umfaßte folgende Orte: OP-Raum, fensternah im OP-Raum, Anästhesiearbeitsplatz, Aufwachraum, patientennah im Aufwachraum. Die Meßzeiten variierten zwischen 5 und 3344 Minuten.

Zum Teil wurden technische Messungen vorgenommen: Außer der Grundbelastung durch N<sub>2</sub>O wurden auch Leckageraten an verschiedenen Orten ermittelt. Die Leistung der Narkosegasabsaugung wurde nachgeprüft, die Luftwechselraten durch Einbringen von Spurengasen gemessen. Aus den Angaben zur Leistung der Narkosegasabsaugung und der Klimaanlage war jedoch nicht immer ersichtlich, ob die Daten aus klimatechnischen Abteilungen übernommen wurden, oder ob es sich um Meßergebnisse handelte. Entsprechend bestehen die Angaben in dieser Auswertung aus einer Mischung aus beidem.

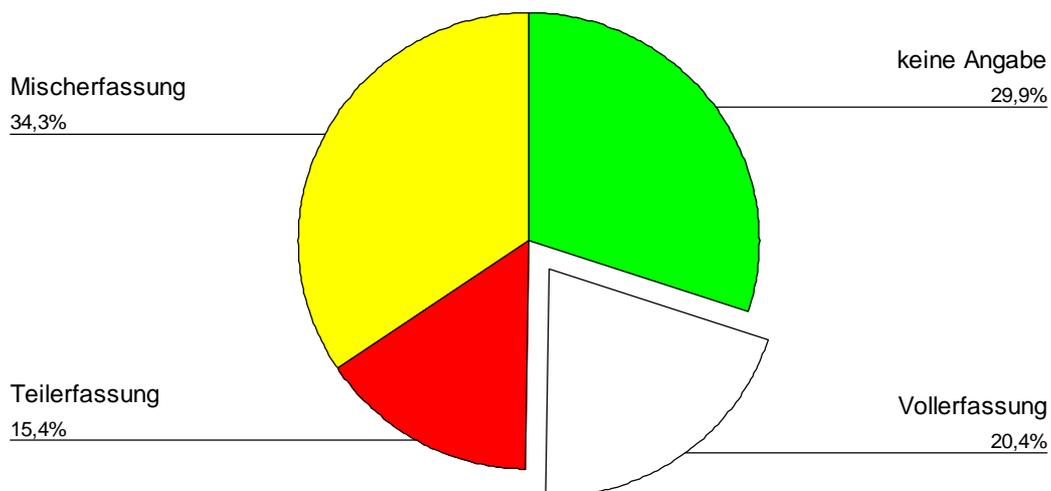
Die Auswahl der Meßtage erfolgte in Absprache zwischen der jeweiligen Meßstelle und dem Krankenhaus. Zwölf verschiedene Meßstellen führten die Messungen im Auftrag der Krankenhäuser durch. In wenigen Fällen blieb unklar, welche Meßstelle für die Messungen verantwortlich zeichnete, diese erhielten eine eigene Ziffer.

### **3.3 Eigene Auswertung der Daten**

Von der Aufnahme in diese Auswertung wurden Messungen ausgeschlossen, in denen direkt am Tubus gemessen wurde, oder während der Messung mit demselben Gerät eine Leckagesuche durchgeführt wurde, oder ein Meßröhrchen voll war, oder aber während des Meßvorgangs die Meßperson oder der Meßort gewechselt wurden. Messungen, die durchgeführt wurden, um die Einhaltung der Kurzzeitgrenzwerte gemäß TRGS 402 zu überwachen, wurden für diese Auswertung nicht mitberücksichtigt.

Es wurden keine Schichtmittelwerte gebildet, sondern der jeweilige Meßwert zugrunde gelegt. So ist auch das AfA Hamburg in der Bewertung der Meßergebnisse verfahren, indem es davon ausging, daß der ermittelte Wert dem acht-Stunden-Mittel entspricht (Deitenbeck 1994). Dieses Vorgehen stellt eine Art *worst-case-Betrachtung* dar, indem man davon ausgeht, daß das Personal über den ganzen achtstündigen Arbeitstag einer Arbeitsplatzbelastung durch Inhalationsanästhetika ausgesetzt ist.

Mit den Messungen wurden nur zu einem Teil einzelne Operationen/Narkosen von Anfang bis Ende erfaßt. Es handelte sich um *Vollerfassungen* (20,4%, N=398), *Teilerfassungen* (15,4%, N=300) und *Mischerfassungen* (34,3%, N=670). Letzteres kann Narkosen und Räume betreffen. Für Mischerfassungen wurden in dieser Auswertung Narkoseangaben eingetragen, wenn diese für die gemessenen Narkosen übereinstimmten. In 29,9% der Fälle (N=584) wurde zur Art der Erfassung keine Angabe gemacht (Abb.3).



**Abb.3:** Art der Erfassung

Ohne Aufwachräume, ohne reine Grundpegelmessungen, N=1952.

Leckagegrößen wurden mit 2 bzw. 5 ml/min. angegeben, wenn die Nachweisgrenzen der verwendeten Geräte bei diesen Werten lagen. Wurden anstatt durchgeführter Leckagemessungen Angaben der durchgeführten Eigentests der Narkosegeräte gemacht, wurden diese verwendet.

Iatrogene Leckagen wurden mit *ja* oder *nein* eingetragen, wenn aus den Meßberichten eine individuell verursachte Kontamination durch Inhalationsanästhetika erkennbar war. Dies beinhaltet bspw. Situationen, in denen vergessen wurde die Narkosegasabsaugung anzuschließen, der Atembeutel abgefallen war, eine defekte Maske während der Narkose ausgetauscht werden mußte etc.

Die Einteilung der Patienten und Patientinnen in Kleinkind, Kind und Erwachsene/r wurde aus den Meßberichten übernommen. Wenn ein Alter angegeben war, wurden folgende Alterseinteilungen vorgenommen: Bis zum 6. Lebensjahr = Kleinkind; 7.-16. Lebensjahr = Kind und ab 17. Lebensjahr = Erwachsene/r.

Die Meßergebnisse wurden in ppm ( $\text{ml/m}^3$ ) angegeben. Wenn für eine langandauernde Operation/Narkose mehrere aneinander anschließende  $\text{N}_2\text{O}$ -Meßwerte vorhanden waren, wurde ein Mittelwert gebildet. Alle Meßwerte der halogenierten Inhalationsanästhetika, die kleiner oder gleich 0,004 ppm waren, wurden als 0 eingetragen.  $\text{N}_2\text{O}$  und die halogenierten Inhalationsanästhetika wurden nur dann in einem Datensatz gemeinsam erhoben, wenn sie parallel mit gleicher Meßzeit gemessen wurden.

Die Analyse der Einflußfaktoren auf die Höhe der Belastung durch Inhalationsanästhetika wurde mit den  $\text{N}_2\text{O}$ -Meßwerten durchgeführt, da diese die größte Anzahl an den Messungen aufwiesen. Es wurde auch deshalb so verfahren, weil die  $\text{N}_2\text{O}$ -Meßwerte aufgrund des Verhältnisses applizierte Konzentration/Richtwert den in Hamburg zur Beurteilung angewandten Wert von 50 ppm eher überschreiten werden als die halogenierten Inhalationsanästhetika. Die Lagemaße einzelner Gruppen wurden als Boxplots dargestellt. Aus einem Boxplot läßt sich die Werteverteilung optisch gut erkennen: Dargestellt werden als Box die inneren 50% der Verteilung. Dieser Bereich wird als Interquartilsabstand (IQA) bezeichnet und ist der Abstand zwischen dem 25%- und 75%-Perzentil. Die untere Begrenzung einer Box stellt das 25%-, die obere Begrenzung das 75%-Perzentil dar. Der Median ist als kräftiger Strich innerhalb der Box zu erkennen. Der Strich unterhalb einer Box reicht bis zum Minimum, der Strich über einer Box markiert den Bereich, oberhalb dessen sich die Ausreißer und Extremwerte bis hin zum Maximum befinden. Als Ausreißer sind diejenigen Werte definiert, die sich um das 1,5 bis 3fache des IQA oberhalb des 75%-Perzentils befinden.

Als Extremwerte gelten alle Werte, die mindestens um das 3fache des IQA oberhalb des 75%-Perzentils liegen. Die Boxplot-Abbildungen zur Analyse der Einflußfaktoren wurden aufgrund der Optik ohne Ausreißer und Extremwerte dargestellt. Eine symmetrische Verteilung ist daran zu erkennen, daß die Box durch den Median halbiert wird und die Entfernung vom Minimum zum unteren Rand der Box, sowie vom Maximum zum oberen Rand der Box, gleich ist. Ist der Abstand vom Minimum zum 25%-Wert und der Abstand vom 25%-Wert zum Median deutlich kleiner als der Abstand vom Median zum 75%-Wert und von dort zum Maximum, so deutet das auf eine linksschiefe Verteilung hin.

### **3.4 Statistik**

Diese Untersuchung ist eine retrospektive Beobachtungsstudie. Es fehlten viele Angaben und es existierte nur für wenige Beobachtungseinheiten ein vollständiger Datensatz. Aus diesem Grunde mußte von einer multivariaten Analyse des Materials Abstand genommen werden. Es wurde deshalb deskriptiv vorgegangen und es wurden die Lagemaße einzelner Gruppen dargestellt. So war es möglich, sich der Gewichtung einzelner Einflußfaktoren für die Höhe der Exposition zu nähern und Hypothesen zu generieren. Aufgrund einer nicht symmetrischen Verteilung der Werte und vieler vorhandener Ausreißer und Extremwerte wurde als beschreibendes Lagemaß hauptsächlich der Median verwendet. Der Vergleich der einzelnen Gruppen erfolgte mit nichtparametrischen Testverfahren nach Mann-Whitney bzw. Wilcoxon und nach Kruskal-Wallis für unverbundene Stichproben. Es wurde der berechnete p-Wert bis auf zwei Stellen hinter dem Komma angegeben. Da es sich um eine retrospektive Erhebung handelt und keine zufälligen Stichproben gezogen wurden, sind die angegebenen p-Werte der durchgeführten statistischen Tests als beschreibende Maßzahlen anzusehen und nicht im Sinne der klassischen Testtheorie interpretierbar.

## 4. Ergebnisse

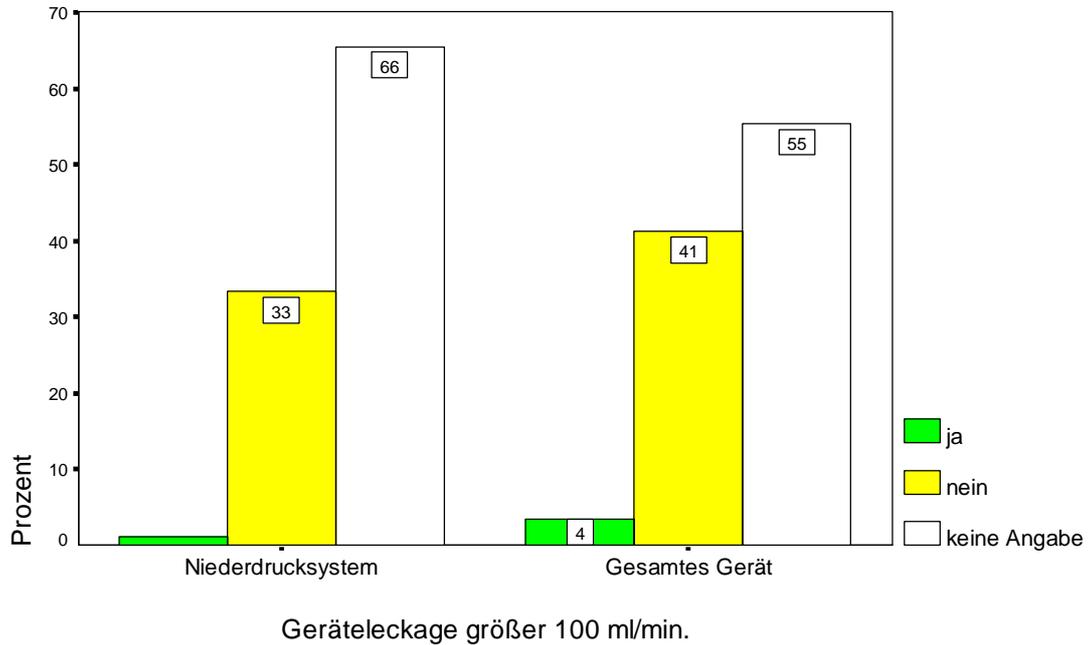
### 4.1 Technische Messungen

Die Leckagen im N<sub>2</sub>O-Hochdrucksystem wurden in 435 Fällen nur mit *ja* oder *nein* angegeben: In 14 Fällen lag eine Leckage vor. In 110 Fällen wurden Zahlenangaben gemacht, die sich zwischen 2 und 70 ml/min. bewegten. In 23 Fällen war die Leckage größer oder gleich 50 ml/min..

Der Grundpegel wurde, wenn man die Aufwachräume von der Betrachtung ausschließt, in 1202 Fällen (60,3%) bestimmt. Vier Meßwerte überschritten den in Hamburg zur Beurteilung angewandten Wert von 50 ppm N<sub>2</sub>O, weitere 13 Meßwerte betrugten 50 ppm. Von diesen 17 Fällen fehlte während 4 Messungen eine Raumlüftungsanlage. Zu Leckagen im Hochdrucksystem wurde in 4 Fällen keine Angabe gemacht, in 13 Fällen lag nach Angabe in den Meßberichten keine Leckage vor. Das Minimum der Grundpegelmessungen lag bei 0 ppm, das Maximum bei 236,3 ppm N<sub>2</sub>O.

Die Leckagen im Niederdrucksystem der Narkosegeräte wurden in 348 von 1995 Fällen nur mit *ja* oder *nein* angegeben, wovon in 69 Fällen eine Leckage vorlag. In 410 Fällen wurde eine Zahlenangabe gemacht: Der Median lag hier bei 22,5 ml/min., der Mittelwert bei 38,8 ml/min. Im Niederdrucksystem lagen in 1,2% der Fälle Leckagen von mehr als 100 ml/min. vor, allerdings wurden insgesamt in 1306 Fällen (65,5%) keine Angaben zu Leckagen oder zur Höhe der Leckagen gemacht. Wurde das Hochdrucksystem in diese Berechnung miteinbezogen, d.h. Hoch- und Niederdrucksystem betrachtet, erhöhte sich die Leckage größer 100 ml/min. auf einen Anteil von 3,5%, wobei in 1105 Fällen (55,4%) keine Angabe gemacht wurde (Abb.4). Für die Leckage des gesamten Narkosegerätes (N=672), ergab sich ein Median von 25 ml/min. und ein Mittelwert von 50,1 ml/min. Die unterschiedliche Anzahl gültiger Messungen und unterschiedlichen Häufigkeiten *ohne Angabe* für das Niederdrucksystem und das gesamte Gerät ergaben sich aus der Tatsache, daß in die Berechnung der Gesamtleckage die mit *nein* angegebenen Fälle des Nieder- oder Hochdrucksystems miteinbezogen werden konnten, wenn für das jeweils andere System eine Zahlenangabe gemacht wurde.

Die durchschnittlichen Gesamt-Geräteleckagen (Hoch- und Niederdrucksystem) einzelner Narkosegeräte sind in Tabelle 1 aufgelistet.



**Abb.4:** Geräteleckage größer 100 ml/min.

**Tabelle 1: Leckagen einzelner Narkosegeräte**

Narkosegerät (erstes Baujahr)	Gesamtgröße der Leckagen des Narkosegerätes in ml/min.		
	Median	Mittelwert	Gültiges N
NS 650 (1966)	145,0	145,0	2
NS 656 (1974)	800,0	800,0	2
AV 1 (1980)	23,5	54,3	25
Cicero (1989)	10,0	16,9	27
Tiberius (1963)	25,0	38,9	37
Sulla (1964)	27,0	23,0	6
Sulla 19 (1975)	17,0	38,1	32
Romulus 800 (1988)	50,0	50,0	11
Sulla 800 (1980)	35,0	28,3	47
Sulla 808 (1984)	16,0	32,1	219
Wandnarkosegerät (*)	20,0	33,3	3
Trajan (1978)	79,0	72,9	13
Trajan 800 (1982)	20,0	24,2	7
Heyer St. Jürgens (*)	67,5	63,4	38
Engström (*)	155,0	147,7	14
Tabellen-Gesamtwert	20,0	43,7	483

\* = nicht bekannt  
(Für andere Narkosegeräte wurden keine Leckagegrößen angegeben)

## 4.2 Belastungsniveau durch Inhalationsanästhetika

Die Häufigkeit der Messungen, Dispersions- und Lagemaße der Belastung durch N<sub>2</sub>O, Halothan, Enfluran und Isofluran in ppm (ohne reine Grundpegelmessungen) sind Tabelle 2 zu entnehmen. Es ist zu sehen, daß die Maxima aller Inhalationsanästhetika die jeweils geltenden Grenzwerte bei weitem überschritten, die Mediane und Mittelwerte hingegen nicht. Die Mediane und Mittelwerte wichen stark voneinander ab und die Standardabweichung für N<sub>2</sub>O betrug das zweifache des in Hamburg zur Beurteilung angewandten Wertes. Die berechneten geometrischen Mittel kamen den Medianen recht nahe.

**Tabelle 2: Lage- und Dispersionsmaße der Gesamtwerte in ppm**

	N <sub>2</sub> O	Halothan	Enfluran	Isofluran
<b>Median</b>	9,6	0,2	0,1	0,1
<b>Mittelwert</b>	34,0	1,8	1,0	0,4
<b>Minimum</b>	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Maximum</b>	2200	35,6	36,4	53
<b>Standardabweichung</b>	100,1	4,4	4,0	2,8
<b>25% Perzentil</b>	4,3	0,1	0,1	0,0
<b>75% Perzentil</b>	24,0	1,3	0,5	0,2
<b>N</b>	1722	323	171	716
<b>Geometrisches Mittel (N)*</b>	11,2 (1717)	0,4 (293)	0,2 (168)	0,2 (494)

Ohne reine Grundpegelmessungen

\*) Das geometrische Mittel konnte nicht für alle Messungen der einzelnen Inhalationsanästhetika bestimmt werden, da Nullwerte angegeben wurden.

Die Verteilung der Werte war linksschief, also nicht symmetrisch, Ausreißer und Extremwerte kamen häufig vor. Der in Hamburg zur Beurteilung angewandte Wert von 50 ppm für N<sub>2</sub>O wurde von 13% (N=224), der nationale MAK-Wert (100 ppm) von 7,4% (N=127) aller Werte überschritten. Den MAK-Wert von 5 ppm für Halothan überschritten 9% (N=29) aller Werte. Die Hamburger Richtwerte von jeweils 10 ppm für Enfluran und Isofluran wurden beim Enfluran von 1,8% (N=3) und beim Isofluran von 0,6% (N=4) aller Werte überschritten.

Da die Beobachtungseinheiten für N<sub>2</sub>O und die halogenierten Inhalationsanästhetika aufgrund unterschiedlich langer Meßzeiten meistens getrennt erhoben wurden, konnte eine Korrelation von N<sub>2</sub>O und dem jeweiligen halogenierten Inhalationsanästhetikum nur für eine kleine Anzahl der Fälle (N=113) untersucht werden. Für N<sub>2</sub>O und Halothan war bei zweiseitiger Fragestellung eine schlechte Korrelation nachweisbar: Der Korrelationskoeffizient nach Spearman betrug 0,55 ( $p < 0,01$ ). Für N<sub>2</sub>O und Enfluran bzw. Isofluran war die Korrelation noch schlechter. Für eine Meßstelle, welche 50,1% aller N<sub>2</sub>O-Messungen durchführte, ließ sich analog eine etwas bessere Korrelation für N<sub>2</sub>O und Halothan (N=44) berechnen: Spearmans rho betrug hier 0,71 bei zweiseitiger Fragestellung ( $p < 0,01$ ).

### **4.3 Meßwerte der Arbeitsplatzbelastung durch Inhalationsanästhetika unter Einfluß verschiedener Faktoren**

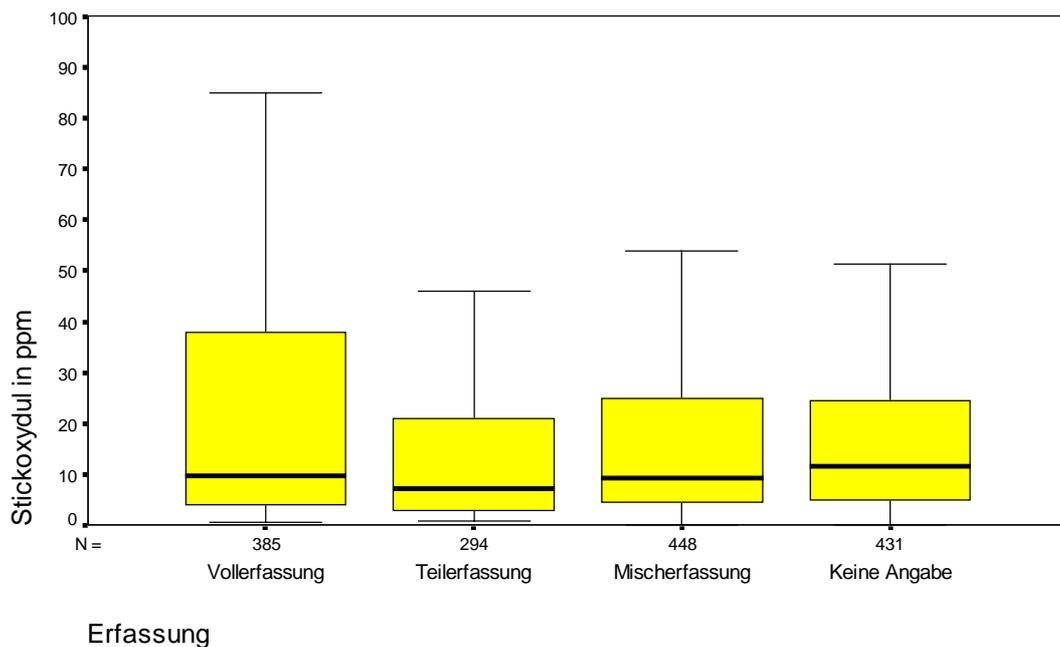
#### **4.3.1 Meßstellen, Meßverfahren und Meßzeit**

Wenn sich für unterschiedliche **Meßstellen** verschieden hohe N<sub>2</sub>O-Meßwerte zeigten, konnte dies auf ursächlich andere Faktoren wie Masken- und Kindernarkosen, sowie fehlende Raumlüftungsanlagen und Narkosegasabsaugungen zurückgeführt werden. Für die drei unterschiedlichen **Meßverfahren** ergaben sich weder für alle Messungen, noch in Untergruppen, unterschiedliche N<sub>2</sub>O-Lagemaße.

Zwischen der **Meßzeit** und den N<sub>2</sub>O-Werten war keine Korrelation nach Spearman nachweisbar. Wurden allerdings 3 Gruppen gebildet (Messungen in Aufwächräumen und reine Grundpegelmessungen sind in dieser Betrachtung ausgeschlossen), zeigte die Gruppe 1 mit einer Meßzeit von weniger als 30 min. (N=94) deutlich höhere N<sub>2</sub>O-Meßwerte (Median=36 ppm, 75%-Perzentil > 100 ppm) als die Gruppe 2 (N=888) mit Meßzeiten zwischen 30 und 120 min. (Median=9,5 ppm, 75%-Perzentil < 30 ppm). Nach Mann-Whitney errechnete sich ein  $p < 0,01$ . Die Meßwerte der Gruppe 3 mit Meßzeiten von mehr als 120 min. (N=515) lagen unwesentlich niedriger als die der Gruppe 2 (Median=8 ppm, 75%-Perzentil < 15 ppm). In der Gruppe 1 mit einer Meßzeit von weniger als 30 min. wurden prozentual wesentlich häufiger Maskennarkosen durchgeführt als in den anderen zwei Gruppen.

### 4.3.2 Art der Erfassung

In Abhängigkeit der Art der Erfassung (*Voll-, Teil-, Mischerfassung* und *keine Angabe*) variierten die N<sub>2</sub>O-Lagemaße leicht (Abb.5). Das 75%-Perzentil lag bei den Vollerfassungen mit fast 40 ppm etwas höher als in den restlichen Gruppen (20 bis 25 ppm). In der Gruppe der Vollerfassungen überschritten 20,3% (N=78) der Werte 50 ppm, in den anderen Gruppen taten dies jeweils 11,9-12,9% der Werte. Die Erstellung von Kreuztabellen mit den weiteren Einflußfaktoren Narkosegasabsaugung, Raumlüftungsanlage, Maskeneinleitung und Maskennarkose ergab keine ungleiche Verteilung in den Gruppen. Auch bei isolierter Betrachtung der personenbezogenen Meßergebnisse der Anästhesisten und Anästhesistinnen, sowie der stationären Meßergebnisse des Anästhesiearbeitsplatzes ergab sich kein anderes Bild.



**Abb.5:** N<sub>2</sub>O-Werte nach Art der Erfassung

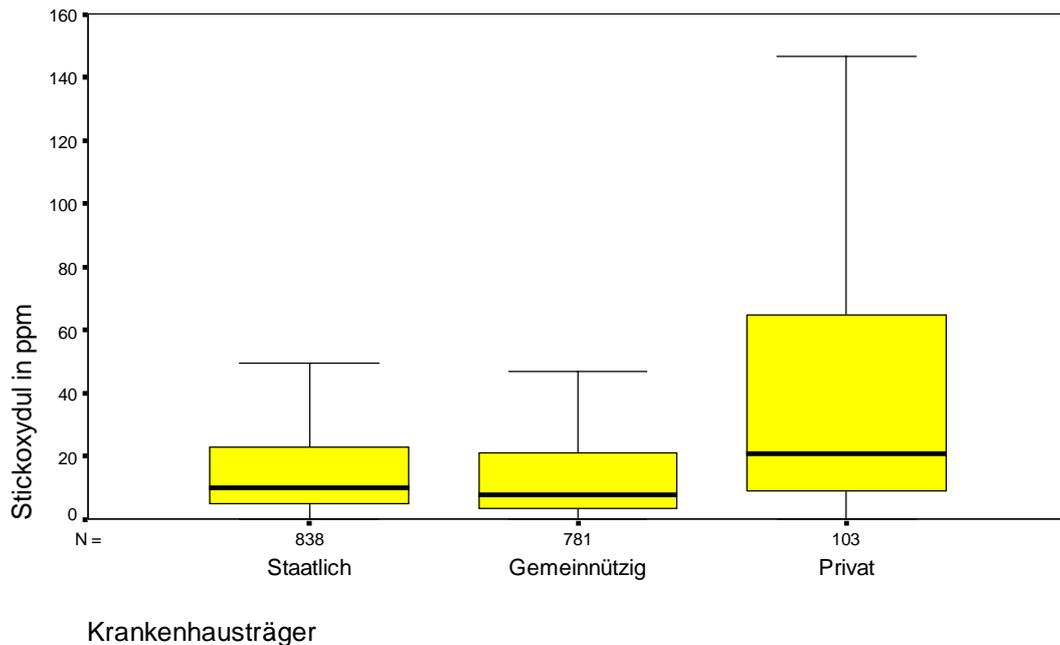
Ohne reine Grundpegelmessungen, Darstellung ohne Ausreißer und Extremwerte, Kruskal-Wallis-Test:  $p < 0,01$ . Anzahl der Ausreißer und Extremwerte; sowie Maxima pro Gruppe: Vollerfassung: 42; 2200 ppm; Teilerfassung: 37; 418 ppm; Mischerfassung: 53; 970 ppm.

### 4.3.3 Jahre

In Abhängigkeit der Jahre war für N<sub>2</sub>O eine Schwankung des Medians nach oben für die Jahre 1988 und 1991 zu evaluieren. In allen anderen betrachteten Jahren lag der Median um die 10 ppm. 1987 wurde N<sub>2</sub>O noch nicht gemessen, 1988 handelte es sich um nur 4 Messungen während Maskeneinleitungen, der hohe Median von fast 200 ppm ist insofern nicht repräsentativ. 1991 (N=201) lag der Median bei 20,5 ppm. Für diesen Wert konnten weder fehlende Narkosegasabsaugungen und Raumlüftungsanlagen, noch Maskeneinleitungen und Maskennarkosen, noch Geräteleckagen verantwortlich gemacht werden. Für die halogenierten Inhalationsanästhetika stellte sich die Situation ähnlich dar. Es war eine leichte Tendenz erkennbar, daß die Anzahl der Ausreißer und Extremwerte an den Messungen von N<sub>2</sub>O eines Jahres zurückging: 1989 waren 11,9% (23 von 194) der Messungen Ausreißer und Extremwerte, 1994 waren es 7,7% (16 von 209). Die Maxima der N<sub>2</sub>O-Messungen sind 1993 auf 368 und 1994 auf 225 ppm gesunken, während sie in den Jahren zuvor zwischen 970 und 2200 ppm lagen.

### 4.3.4 Krankenhausträger

Wenn man alle Meßwerte ohne reine Grundpegelmessungen in Abhängigkeit des jeweiligen Krankenhausträgers betrachtet, lagen die N<sub>2</sub>O-Meßwerte in den privaten Krankenhäusern wesentlich höher als in den staatlichen und gemeinnützigen Krankenhäusern (Abb.6). 28,2% (N=29) der Werte in privaten Krankenhäusern überschritten 50 ppm, und 19,4% (N=20) 100 ppm N<sub>2</sub>O. In den staatlichen Krankenhäusern waren dies entsprechend 10,3% (N=86) und 6,3% (N=53) und in den gemeinnützigen Krankenhäusern 13,8% (N=108) und 6,8% (N=54). In den privaten Krankenhäusern wurde mit einem Anteil von 1% (N=1) seltener während Maskennarkosen gemessen als in den staatlichen mit einem Anteil von 4,9% (N=41) und gemeinnützigen Krankenhäusern mit 8,1% (N=63). In den privaten Krankenhäusern waren aber mit 57,3% der N<sub>2</sub>O-Messungen (N=59) wiederum seltener eine Raumlüftungsanlage vorhanden als in den staatlichen Krankenhäusern mit 90,2% (N=752) und den gemeinnützigen Krankenhäusern mit 96,4% (N=731). Eine Narkosegasabsaugung war in den privaten Krankenhäusern in 83% (N=78), in den staatlichen Krankenhäusern in 97,6% (N=723) und in den gemeinnützigen Krankenhäusern in 98,6% (N=698) der N<sub>2</sub>O-Messungen vorhanden.



**Abb.6:** N<sub>2</sub>O-Werte in Abhängigkeit des Krankenhausträgers

Ohne reine Grundpegelmessungen, Darstellung ohne Ausreißer und Extremwerte, Kruskal-Wallis-Test:  $p < 0,01$ . Anzahl der Ausreißer und Extremwerte; sowie Maxima pro Gruppe: Staatlich: 87; 1193 ppm; Gemeinnützig: 113; 2200 ppm; Privat: 12; 824 ppm.

#### 4.3.5 Krankenhaus

Die Mediane für die verschiedenen Inhalationsanästhetika in den verschiedenen Krankenhäusern sind aus Tabelle 3 ersichtlich (ohne reine Grundpegelmessungen). Es lagen nicht für alle Krankenhäuser Werte von Halothan, Enfluran und Isofluran vor. Der Wert von 7,45 ppm Halothan in Krankenhaus 9 bestand aus nur 2 Messungen während Maskennarkosen. Alle anderen Mediane der halogenierten Inhalationsanästhetika bewegten sich bis auf wenige Ausnahmen weit unter den gültigen Grenzwerten.

Tabelle 4 listet zusätzlich den Mittelwert, die Standardabweichung und die Anzahl der Messungen für N<sub>2</sub>O auf. Die Anzahl der Messungen von N<sub>2</sub>O schwankte zwischen einer im Krankenhaus 6 und 400 im Krankenhaus 45. Auch der Median wies eine erhebliche Streubreite auf mit 3 ppm in den Krankenhäusern 36 und 43 bis hin zu 233,5 ppm im Krankenhaus 33.

**Tabelle 3: Mediane der Inhalationsanästhetika für einzelne Krankenhäuser**

	Stickoxydul in ppm	Halothan in ppm	Enfluran in ppm	Isofluran in ppm
Krankenhaus	Median	Median	Median	Median
1	40,1	,03	.	.
2	10,4	.	.	,30
3	41,0	,60	.	,30
4	21,0	,90	,60	,10
5	140,0	.	.	,50
6	92,3	.	.	.
7	3,3	,10	.	,10
8	7,0	,01	.	,03
9	9,0	7,45	,10	,10
10	11,4	,00	,20	,05
11	10,8	.	1,00	,15
12	14,3	,20	.	,00
13	3,9	,40	.	,30
15	50,8	2,10	.	,10
16	15,5	.	.	,10
17	41,5	.	.	1,00
19	4,0	.	,03	.
20	16,5	2,30	.	,20
21	5,0	.	,20	,50
22	8,6	.	.	.
23	13,5	,50	.	,80
24	5,1	2,30	.	,00
25	8,0	,25	.	,10
26	3,4	,10	,10	,02
27	10,0	,20	.	,02
28	13,5	.	.	,00
29	5,0	.	,40	,02
30	5,8	.	,50	,00
31	7,5	,02	.	,03
32	45,1	,65	.	.
33	233,5	,50	.	.
34	17,0	.	.	,30
36	3,0	,10	.	,03
38	13,0	,90	.	.
39	12,0	,50	.	,20
40	48,0	.	,60	.
41	9,3	,15	.	,10
42	41,2	,50	.	1,20
43	3,0	.	.	,10
44	4,0	,10	.	,03
45	9,6	,10	,20	,10
Tabellen-Gesamtwert	9,6	,20	,10	,10

Ohne reine Grundpegelmessungen

**Tabelle 4: N<sub>2</sub>O-Lagemaße einzelner Krankenhäuser**

Krankenhaus	Stickoxydul in ppm			
	Median	Mittelwert	Standard- abweichung	Anzahl
1	40,1	57,0	53,1	12
2	10,4	11,7	7,5	5
3	41,0	75,9	88,0	59
4	21,0	66,6	98,5	59
5	140,0	266,2	283,1	7
6	92,3	92,3	.	1
7	3,3	10,6	19,0	37
8	7,0	10,9	13,6	46
9	9,0	16,4	27,0	81
10	11,4	15,0	21,7	42
11	10,8	30,9	44,0	26
12	14,3	21,3	21,0	13
13	3,9	15,9	24,2	18
15	50,8	129,6	182,8	24
16	15,5	28,6	42,1	123
17	41,5	43,6	15,7	10
19	4,0	8,7	11,2	14
20	16,5	36,8	48,8	25
21	5,0	5,4	3,5	13
22	8,6	8,9	5,5	12
23	13,5	14,9	10,1	5
24	5,1	6,8	5,7	26
25	8,0	14,7	17,5	39
26	3,4	9,4	19,2	112
27	10,0	73,1	238,2	50
28	13,5	77,7	134,7	16
29	5,0	104,0	254,8	28
30	5,8	19,4	32,6	25
31	7,5	36,4	50,8	30
32	45,1	41,5	8,8	7
33	233,5	241,5	138,9	7
34	17,0	17,0	5,5	11
36	3,0	6,5	6,9	42
38	13,0	64,2	233,5	97
39	12,0	23,0	27,6	86
40	48,0	47,4	11,8	8
41	9,3	21,0	30,8	21
42	41,2	101,0	115,6	21
43	3,0	4,7	4,8	13
44	4,0	16,2	36,8	51
45	9,6	23,1	69,1	400
Tabellen-Gesamtwert	9,6	34,0	100,1	1722

Ohne reine Grundpegelmessungen

Aber auch innerhalb der einzelnen Krankenhäuser variierten die Meßwerte häufig sehr stark. Dies ist an der z.T. sehr hohen Standardabweichung und daran erkenntlich, daß der Median und der Mittelwert häufig stark voneinander abwichen. Der berechnete Median überschritt in den Krankenhäusern 5,6,15 und 33 den Wert von 50 ppm N<sub>2</sub>O. Im Krankenhaus 5 handelte es sich in zwei von den 7 Fällen um Maskennarkosen. Im

Krankenhaus 15 waren es in 12 von 24 Fällen Maskeneinleitungen. Während der Messungen in den Krankenhäusern 5 und 6 war keine Raumlüftungsanlage vorhanden, Krankenhaus 33 besaß weder eine Narkosegasabsaugung noch eine Raumlüftungsanlage.

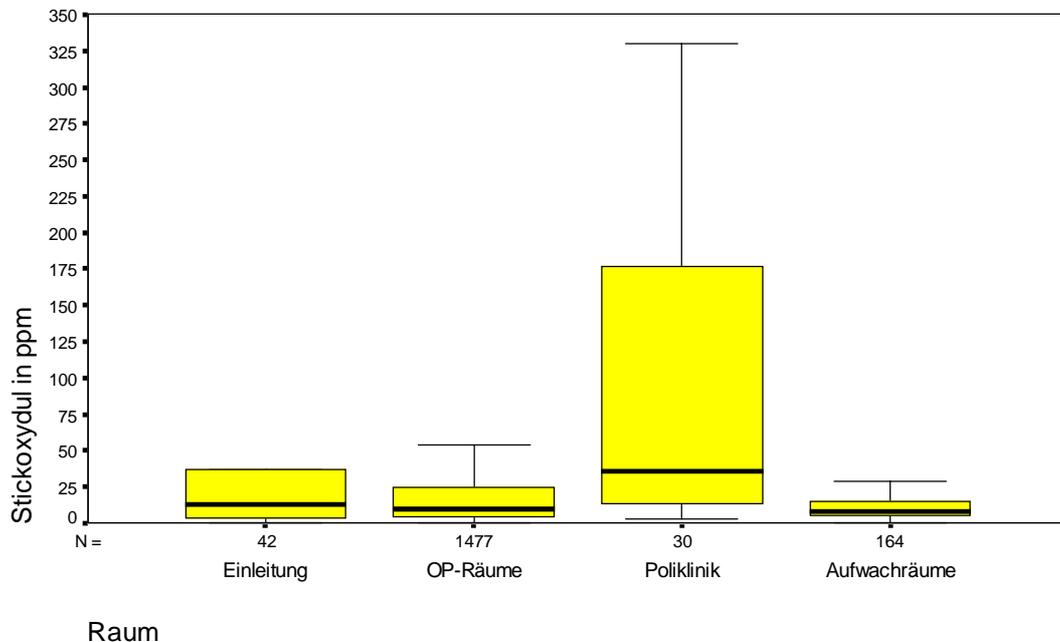
#### **4.3.6 Operatives Fach**

Je nach Fachgebiet unterschieden sich die Mediane der N<sub>2</sub>O-Werte leicht. Den niedrigsten Median wies die Neurochirurgie (N=35) mit 4,4 ppm auf. Zweimal wurde während Thoraxoperationen gemessen: Die N<sub>2</sub>O-Werte ergaben 29 und 213 ppm. Während dieser Operationen wurde bronchoskopiert und lag eine Geräteleckage vor. Die größte Anzahl an Messungen wurde mit 225 in der Abdominalchirurgie (Median=10 ppm) vorgenommen. Die übrigen Fachgebiete lagen mit ihren Medianen zwischen 6,7 ppm (Unfallchirurgie, N=220) und 19,1 ppm (Urologie, N=72). Der Median in der Kinderchirurgie (N=19) lag trotz eines hohen Anteils von 42% Maskennarkosen bei 13,5 ppm, in der HNO-Heilkunde (N=204) lag er bei 12,7 ppm, in der Ophthalmologie (N=83) bei 7,6 ppm und in der ZMK-Chirurgie (N=56) bei 18,6 ppm.

#### **4.3.7 Räume**

In der Analyse der Räume ist hervorstechend, daß die Belastung durch N<sub>2</sub>O in den Poliklinik-Räumen wesentlich höher war, als in allen anderen Räumen. Der Median lag mit 35,5 ppm ca. dreifach so hoch wie in den anderen Räumen (8,1-13 ppm). Das 75%-Perzentil lag für die Poliklinik-Räume mit 175 ppm sehr viel höher als die entsprechenden Werte für die anderen Räume, die sich weit unter 50 ppm bewegten (Abb.7). 43,3% (N=13) der N<sub>2</sub>O-Meßwerte in Poliklinik-Räumen überschritten 50 ppm, und 30% (N=9) 100 ppm. In den anderen Räumen überschritten 1,2-23,8% der Werte 50 ppm, und 0,6-19% der Werte 100 ppm. Der Anteil von Maskennarkosen in Poliklinik-Räumen war mit fast einem Drittel wesentlich höher als in den anderen Räumen, auch eine Raumlüftungsanlage war nur in etwa der Hälfte der Fälle vorhanden. Wurden nur die personenbezogenen Meßergebnisse der Anästhesistinnen und Anästhesisten, sowie die stationären Meßergebnisse des Anästhesiearbeitsplatzes herausgegriffen, zeigte sich eine ähnliche Verteilung, allein das 75%-Perzentil in den Einleitungsräumen lag mit 109 ppm wesentlich höher als in der Gesamtbetrachtung.

Zwei von 164 Messungen von  $N_2O$  in Aufwächrräumen überschritten den in Hamburg zur Beurteilung angewandten Wert von 50 ppm. Es handelte sich dort um 2 Aufwächrräume ohne Raumlüftungsanlage. Die Meßergebnisse der halogenierten Inhalationsanästhetika in Aufwächrräumen überschritten die jeweiligen Grenzwerte in keinem einzigen Fall.

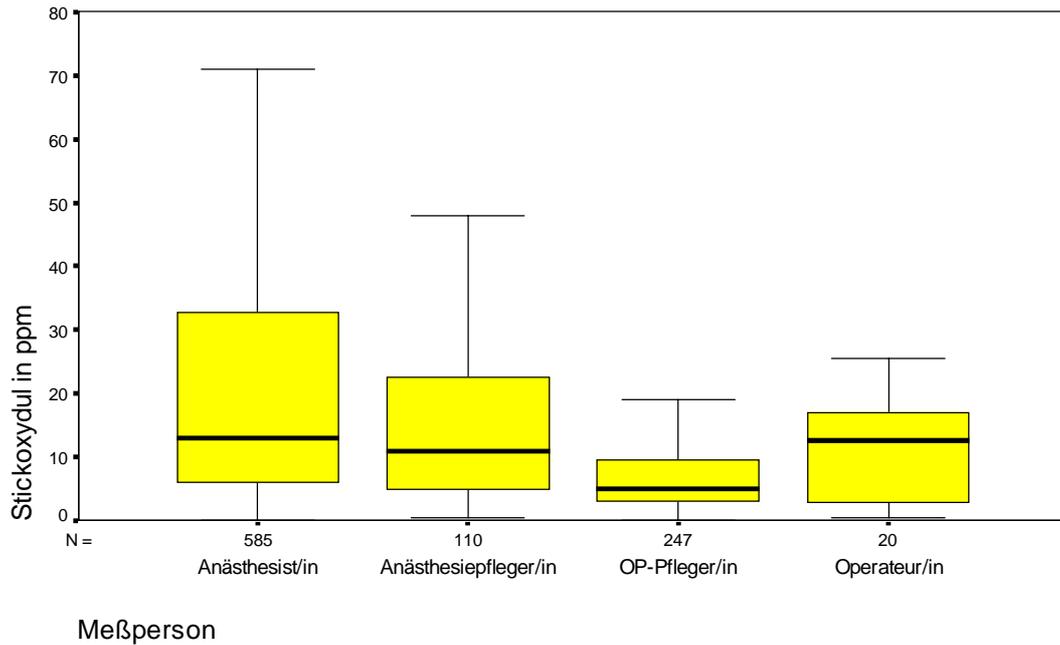


**Abb.7:**  $N_2O$ -Werte nach Funktion der Räume

Personenbezogene und stationäre Meßergebnisse ohne reine Grundpegelmessungen, Darstellung ohne Ausreißer und Extremwerte. Anzahl der Ausreißer und Extremwerte; sowie Maxima pro Gruppe: Einleitung: 10; 418 ppm; OP-Räume: 141; 2200 ppm; Poliklinik: Ein Extremwert=824 ppm; Aufwächrräume: 9; 132 ppm.

#### 4.3.8 Meßperson

Wenn man alle personenbezogenen Meßwerte ohne Aufwächrräume betrachtet (Abb.8), unterschieden sich die Meßwerte der einzelnen Meßpersonen zwar signifikant, die Mediane bewegten sich aber alle zwischen 5 (OP-Pfleger/-Schwester) und 13 ppm (Anästhesist/Anästhesistin). Bei den Anästhesistinnen und Anästhesisten waren 17,8% (N=104) der  $N_2O$ -Meßwerte größer als 50 ppm und 8,7% (N=51) größer als 100 ppm. In den übrigen 3 Gruppen überschritten 4-10% den Wert von 50 ppm und 1,6-10% den Wert von 100 ppm  $N_2O$ . In der Gruppe der Operateurinnen und Operateure fanden 16 von 20 Messungen in den operativen Fächern Ophthalmologie, ZMK- und HNO-Heilkunde statt.



**Abb.8:** N<sub>2</sub>O-Werte verschiedener Meßpersonen

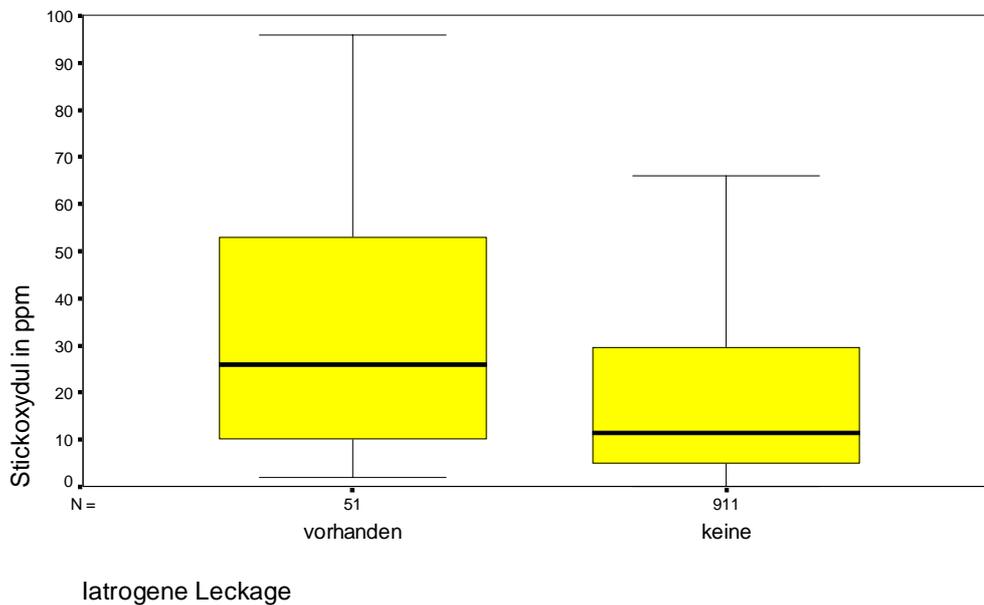
Ohne Aufwachräume, Darstellung ohne Ausreißer und Extremwerte, Kruskal-Wallis-Test:  $p < 0,01$ . Anzahl der Ausreißer und Extremwerte; sowie Maxima pro Gruppe: Anästhesist/in: 64; 2200 ppm; Anästhesiepfleger/in: 11; 225 ppm; OP-Pfleger/in: 28; 330 ppm; Operateur/in: 3; 1193 ppm.

#### 4.3.9 Geräteleckagen und iatrogene Leckagen

Eine Gesamt-**Geräteleckage** größer 100 ml/min. (N=57) ergab gering höhere N<sub>2</sub>O-Meßwerte (Median=14,3 ppm, 75%-Perzentil=30 ppm) im Vergleich mit den N<sub>2</sub>O-Werten der Messungen (N=682), wo keine Leckage größer 100 ml/min. vorlag (Median=8 ppm, 75%-Perzentil=26 ppm). In beiden Gruppen waren in über 90% der Messungen Raumlüftungsanlagen vorhanden. Dieses Bild stellte sich ähnlich dar, wenn nur die personenbezogenen Meßergebnisse der Anästhesistinnen und Anästhesisten, sowie die stationären Meßergebnisse des Anästhesiearbeitsplatzes herausgegriffen wurden.

Bei dieser isolierten Betrachtung bewirkte eine **iatrogene Leckage** hingegen einen stärkeren Anstieg der Belastung durch N<sub>2</sub>O im Vergleich mit den Messungen, wo eine derartige Leckage nicht vorlag (Abb.9). Bei Vorliegen einer iatrogenen Leckage lagen 27,5% (N=14) der N<sub>2</sub>O-Meßwerte über 50 ppm, und 9,8% (N=5) über 100 ppm. In der

Gruppe ohne iatrogene Leckage waren dies entsprechend 16,9 % (N=154) und 10% (N=91).



**Abb.9:** N<sub>2</sub>O-Werte bei Vorhandensein und Fehlen einer iatrogenen Leckage

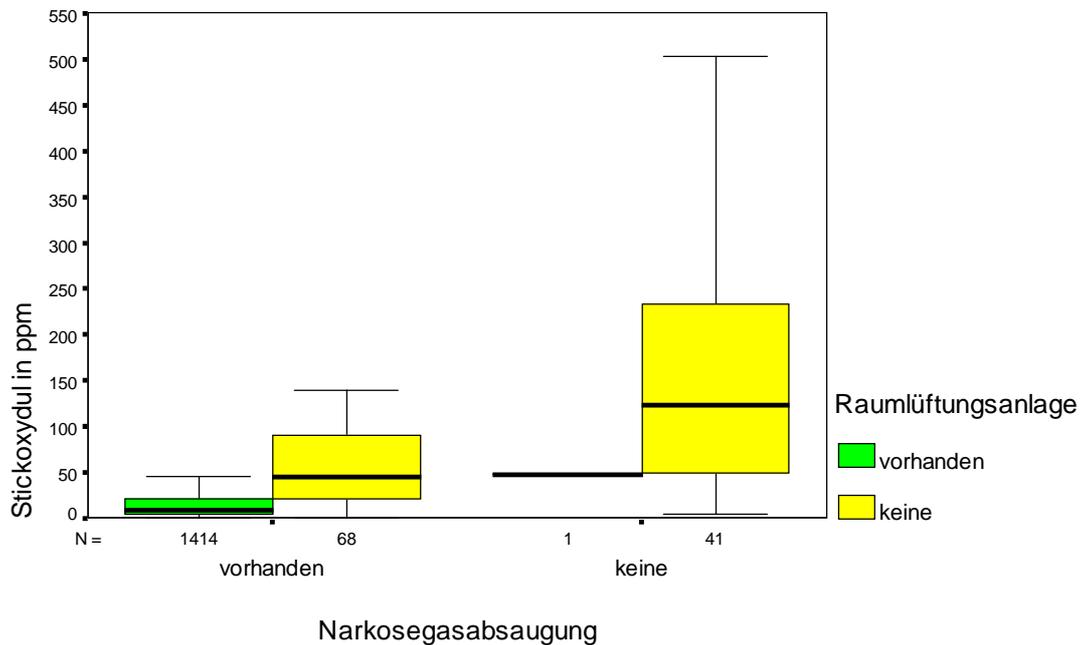
Nur personenbezogene Meßergebnisse der Anästhesisten und Anästhesistinnen, sowie die stationären Meßergebnisse des Anästhesiearbeitsplatzes, Darstellung ohne Ausreißer und Extremwerte, Mann-Whitney-Test:  $p < 0,01$ . Anzahl der Ausreißer und Extremwerte; sowie Maxima pro Gruppe: Vorhanden: 5; 282 ppm; Keine: 108; 2200 ppm.

#### 4.3.10 Narkosegasabsaugung und Raumlüftungsanlage

Der gemeinsame Einfluß des Vorhandenseins oder Fehlens einer Narkosegasabsaugung und Raumlüftungsanlage ist in einer gruppierten Boxplot-Grafik dargestellt (Abb.10).

Trotz unterschiedlicher Anzahl der Messungen in den Gruppen wird deutlich, daß mit Fehlen einer Narkosegasabsaugung *oder* Raumlüftungsanlage die N<sub>2</sub>O-Werte höher lagen (Median bei fast 50 ppm) als wenn beides vorhanden war (Median=8,9 ppm; 75%-Perzentil=21 ppm), und daß bei *Fehlen* von *beidem* die Belastung am höchsten war (Median=123 ppm; 75%-Perzentil=240,4 ppm). Im letzten Fall überschritten 65,9% (N=27) der Fälle den Wert von 50 ppm N<sub>2</sub>O und 53,7% (N=22) den Wert von 100 ppm. In der Gruppe, in der eine Narkosegasabsaugung *und* Raumlüftungsanlage vorhanden waren, lagen 11,3% (N=160) über 50 ppm und 6,2% (N=88) über 100 ppm. Während der 42 Messungen mit fehlender Narkosegasabsaugung wurden anteilig mehr

Maskennarkosen durchgeführt als während der 1482 Messungen mit vorhandener Narkosegasabsaugung.



**Abb.10:** N<sub>2</sub>O-Werte in Abhängigkeit des Vorhandenseins oder Fehlens einer Narkosegasabsaugung und Raumlüftungsanlage

Ohne Aufwachräume, Darstellung ohne Ausreißer und Extremwerte. Anzahl der Ausreißer und Extremwerte; sowie Maxima pro Gruppe: Narkosegasabsaugung (NGA) und Raumlüftungsanlage (RLTA) vorhanden: 136; 2200 ppm; NGA vorhanden/RLTA nicht vorhanden: 11; 824 ppm; NGA nicht vorhanden/RLTA vorhanden: Wert=48 ppm; NGA und RLTA nicht vorhanden: 3; 1193 ppm.

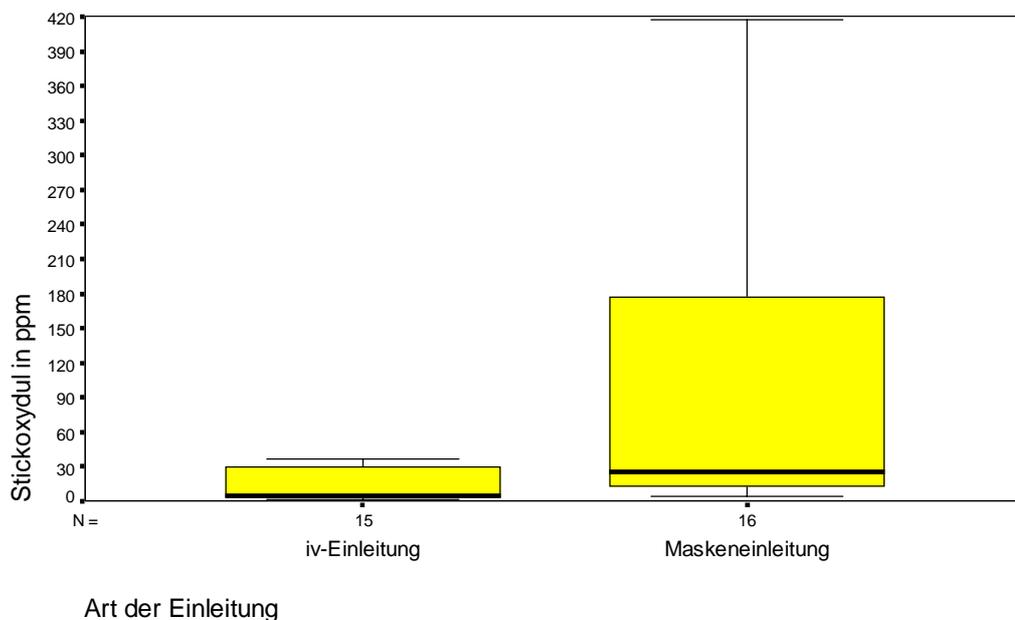
Bei Betrachtung der Aufwachräume zeigte sich, daß bei *Fehlen* einer Raumlüftungsanlage (Median=8,9 ppm, 75%-Perzentil=22 ppm, N=44) die N<sub>2</sub>O-Meßwerte unwesentlich höher lagen als in Aufwachräumen *mit* einer Raumlüftungsanlage (Median=8 ppm, 75%-Perzentil=14 ppm, N=120).

### 4.3.11 Anästhesietechnik

#### 4.3.11.1 Stickoxydul-Flow

Es ist zunächst festzustellen, daß, bezogen auf 1952 Datensätze, der Stickoxydul-Flow nur relativ selten angegeben wurde. Ein Flow von unter einem (N=30) und über 4 Liter/min. (N=9) wurde während dieser Messungen nur sehr selten eingestellt. Eine Korrelation des eingestellten Stickoxydul-Flows und den N<sub>2</sub>O-Meßwerten nach Spearman war nicht nachweisbar. Auch bei Bildung von 5 Gruppen (0,2-1,0; 1,1-2,0; 2,1-3,0; 3,1-4,0; 4,1-6,0) ergaben sich keine unterschiedlichen N<sub>2</sub>O-Meßergebnisse.

#### 4.3.11.2 Art der Einleitung



**Abb.11:** N<sub>2</sub>O-Werte nach Art der Einleitung

Nur personenbezogene Meßergebnisse der Anästhesisten und Anästhesistinnen, sowie die stationären Meßergebnisse des Anästhesiearbeitsplatzes in Einleitungsräumen, Darstellung ohne Ausreißer und Extremwerte, Mann-Whitney-Test:  $p < 0,01$ . Anzahl der Ausreißer und Extremwerte; sowie Maxima pro Gruppe: Iv-Einleitung: 3; 144 ppm; Maskeneinleitung: keine.

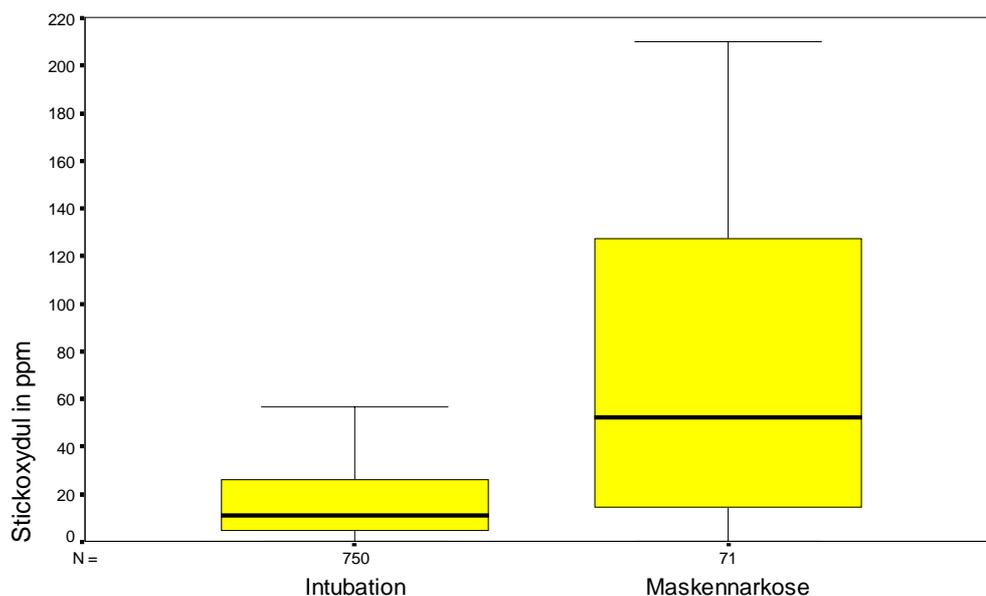
Wenn nur die personenbezogenen Messungen von Anästhesisten und Anästhesistinnen sowie die stationären Messungen der Anästhesiearbeitsplätze in Einleitungsräumen herausgegriffen wurden, zeigte eine Maskeneinleitung eine höhere

Arbeitsplatzbelastung durch N<sub>2</sub>O als eine iv-Einleitung. Dieser Vergleich ist in Abb.11 dargestellt. Während der iv-Einleitungen waren 3 Meßergebnisse größer als 50 ppm und 2 davon größer als 100 ppm. In der Gruppe der Maskeneinleitungen überschritten 7 Meßergebnisse 100 ppm. In allen Räumen waren eine Narkosegasabsaugung und Raumlüftungsanlage vorhanden.

Unter der Voraussetzung von fehlenden Leckagen und vorhandener Narkosegasabsaugung und Raumlüftungsanlage bewegten sich die N<sub>2</sub>O-Meßwerte während Maskeneinleitungen bei (Klein-) Kindern (N=4), wo eine Doppelmaske verwendet wurde, zwischen 13,5 und 26,3 ppm.

#### 4.3.11.3 Intubation und Maskennarkose

Die Lagemaße bei Intubations- und Maskennarkosen zeigt Abb.12.



**Abb.12:** N<sub>2</sub>O-Werte bei Intubations- und Maskennarkosen

Nur personenbezogene Meßergebnisse der Anästhesisten und Anästhesistinnen, sowie die stationären Meßergebnisse des Anästhesiearbeitsplatzes, Darstellung ohne Ausreißer und Extremwerte, Mann-Whitney-Test:  $p < 0,01$ . Anzahl der Ausreißer und Extremwerte; sowie Maxima pro Gruppe: Intubation: 81; 907 ppm; Maskennarkose: 7; 2200 ppm.

Auch hier wurden nur die personenbezogenen Messungen von Anästhesisten und Anästhesistinnen, sowie die stationären Messungen der Anästhesiearbeitsplätze herausgegriffen. Eine Maskennarkose ergab mit einem Median von 52,3 ppm und einem

korrespondierenden 75%-Perzentil von >120 ppm eine höhere Belastung durch N<sub>2</sub>O als eine Intubationsnarkose (Median=10,9 ppm, 75%-Perzentil<30 ppm). Über 50% (N=36) dieser Meßwerte während Maskennarkosen überschritten den in Hamburg zur Beurteilung angewandten Wert von 50 ppm N<sub>2</sub>O und 29,6% (N=21) waren größer als 100 ppm. In der Gruppe der Intubationsnarkosen lagen 14,7% (N=110) über 50 ppm und 7,9% (N=59) über 100 ppm N<sub>2</sub>O.

#### 4.3.11.4 Andere

Für Analysen der Belastung durch Inhalationsanästhetika während Verwendung ungecuffter Tuben (N=4) und Larynxmasken (N=6), sowie während Bronchoskopien (N=9) waren die Anzahlen zu klein und innerhalb dieser kleinen Gruppen die Voraussetzungen zu unterschiedlich. Die Auswirkung des Kuhn-Systems auf die Belastung durch Inhalationsanästhetika systematisch zu untersuchen, war nicht möglich, da es nur während 2 Narkosen verwendet wurde. Die Halothan-Meßwerte betragen dort 2,4 ppm für den Anästhesiepfleger und 5,1 ppm für den Anästhesisten.

#### 4.3.12 Alter der Patientinnen und Patienten

Nur die personenbezogenen Messungen von Anästhesisten und Anästhesistinnen, sowie die stationären Messungen der Anästhesiearbeitsplätze betrachtet, war die Belastung durch N<sub>2</sub>O bei Kinder- (N=116) und Kleinkindernarkosen (N=31) etwa doppelt so hoch (Median 23 bzw. 19,2 ppm) wie bei Erwachsenennarkosen (N=176) mit einem Median von 10,4 ppm. Für den Test nach Kruskal-Wallis errechnete sich ein  $p < 0,01$ . In der Gruppe der Erwachsenen überschritten 10,8% (N=19) der Meßwerte 50 ppm N<sub>2</sub>O, während es bei den Kinder- und Kleinkindernarkosen 34,5% (N=40) und 35,5% (N=11) waren. Maskeneinleitungen und Maskennarkosen kamen in den Gruppen der Kinder und Kleinkinder häufiger vor, während in der Gruppe der Erwachsenen häufiger eine Narkosegasabsaugung und Raumlüftungsanlage fehlte.

## 5. Diskussion

### 5.1 Adverse Wirkungen von Inhalationsanästhetika

#### 5.1.1 Halogenierte Inhalationsanästhetika

Die halogenierten Inhalationsanästhetika Desfluran, Enfluran, Halothan, Isofluran und Sevofluran werden in unterschiedlichem Ausmaß, aber nur zu einem kleinen bzw. minimalen Teil, hauptsächlich in der Leber, metabolisiert. **Akut toxische Wirkungen** sind lange bekannt in Form von Leberschäden durch Stoffwechselprodukte nach einer Halothannarkose. Die durch den lokalen Nierenmetabolismus entstehenden Fluoridionen werden für die Nephrotoxizität des Methoxyflurans mitverantwortlich gemacht (Kharasch et al. 1995a). Durch Enfluran kann ein milder Konzentrationsdefekt verursacht werden, aber selbst renal vorgeschädigte Patienten und Patientinnen zeigen nach einer Enflurannarkose keine klinisch relevante Veränderung der Nierenfunktion. Für Desfluran, Isofluran, Halothan und Sevofluran ergab sich kein Hinweis auf derartige Effekte.

Eine Hepato- und Nephrotoxizität ist bei chronischer Einwirkung halogener Inhalationsanästhetika in subnarkotischen Konzentrationen nicht anzunehmen, obwohl einige epidemiologische Studien erhöhte Risiken von Leber- und Nierenerkrankungen ergaben (ASA 1974; Cohen et al. 1980; Buring et al. 1985).

Hinsichtlich der **chronischen Toxizität** sind eine mögliche Mutagenität, Karzinogenität und Reproduktionstoxizität von Belang. Es ist insgesamt davon auszugehen, daß die halogenierten Inhalationsanästhetika nicht mutagen wirken, da die Prüfung mittels verschiedener Testsysteme und Mutagenitätsstudien beim Menschen im allgemeinen negative Befunde erbrachten. Der Verdacht auf Karzinogenität stellte sich, da große Ähnlichkeiten zwischen den Strukturformeln bekannter Karzinogene und der halogenierten Inhalationsanästhetika bestehen. Eine der größten Studien wurde 1972-1974 von der American Society of Anesthesiologists (ASA) durchgeführt. Die Studie ergab ein 1,3-1,9-fach erhöhtes Risiko für exponierte Frauen, an Krebs zu erkranken. Das relative Risiko für Frauen an Lymphomen oder Leukämie zu erkranken, war ca. dreifach erhöht. Für Männer ergab sich kein erhöhtes Risiko (ASA 1974). Eine der letzten durchgeführten Studien dieser Art ergab kein erhöhtes Risiko für exponiertes

Personal an Krebs zu erkranken (Guirguis et al. 1990). Dieser Studie ist zugute zu halten, daß sie als erste Studie parallel das Ausmaß der Exposition quantifiziert hat (Rajhans et al. 1989). Es ist allerdings zu bedenken, daß in dieser Untersuchung schon eine wöchentliche Exposition von zwei Stunden gegenüber Inhalationsanästhetika in die Gruppe der exponierten Personen eingeordnet wurde. Das könnte einen Verdünnungseffekt verursacht haben und derartige Klassifikationsfehler führen immer zu einer Unterschätzung des Risikos (Karmaus 1985). Auch die meisten der anderen epidemiologischen Studien erbrachten negative Ergebnisse. Ein grundsätzliches Problem ist allerdings darin zu sehen, daß mögliche Latenzzeiten in der Karzinogenese bei jüngerem Personal unbeachtet geblieben sein könnten (Karmaus 1985). Die Tierstudien ergaben allesamt negative Ergebnisse (in Ferstandig 1978). Zur Frage der Karzinogenität der halogenierten Inhalationsanästhetika kann also festgehalten werden, daß sie nicht anzunehmen ist, ein fraglich erhöhtes karzinogenes Risiko für Frauen aber nicht ganz sicher ausgeschlossen werden kann.

Hinsichtlich einer Reproduktionstoxizität der halogenierten Inhalationsanästhetika sind die Ergebnisse der epidemiologischen Studien widersprüchlich. Wenn man den Versuch macht die relativen Risiken exponierten und nicht exponierten Personals zusammenzufassen, kommt man zu dem Ergebnis: Exponierte Frauen haben eine um ca. 30% erhöhte Wahrscheinlichkeit eines Spontanabortes. Für Fehlbildungen ist die erhöhte Wahrscheinlichkeit von 40% für die Kinder von Ärztinnen statistisch nur grenzwertig signifikant ( $p=0,05$ ) (Buring et al. 1985). Buring et al. hatten für ihr Datenpooling sechs Studien zusammen ausgewertet.

In einem Review der epidemiologischen Literatur wurde kritisiert, daß in fast keiner dieser Studien die Angaben der Befragten z.B. bezüglich Spontanaborten mit medizinischen Akten überprüft wurden (Tannenbaum et al. 1985). Nur in einer Studie wurde dies gemacht (Axellson und Rylander 1982). In zwei weiteren Studien wurden von vorneherein die Daten eines Zentralregisters zur Auswertung herangezogen. In diesen drei Studien waren die Resultate negativ bezüglich einer Teratogenität der Inhalationsanästhetika (in Baden und Rice 1994).

Eine neuere Studie berücksichtigte als Endpunkt von reproduktiven Störungen eine reduzierte Fertilität (Rowland et al. 1992). Es wurden viele Einflußfaktoren mitbedacht und die Studie ergab, daß eine verlängerte Zeit bis zum Eintritt der Schwangerschaft

nach Absetzen kontrazeptiver Maßnahmen für exponiertes Personal in Räumen ohne Narkosegasabsaugung existierte. Das wurde als reduzierte Fertilität gedeutet. Es handelt sich bei dieser Studie um eine retrospektive Befragung, doch wurde auch danach gefragt, wie das Risiko für bestimmte berufliche Schädigungen eingeschätzt wurde: Nur elf Prozent gaben Infertilität an. Das deuteten die Autoren als geringe Wahrscheinlichkeit, daß die Befragten in ihren Antworten durch den erkennbaren Zweck der Befragung beeinflußt waren.

In kritischen Darstellungen der bisherigen Studien wurden vielfach prospektive Erhebungen unter definierten Bedingungen gefordert (Tannenbaum und Goldberg 1985). Eine neuere prospektive Zehn-Jahres-Studie wurde in Großbritannien durchgeführt. Sie ergab keine Korrelation zwischen Fehlgeburten und Fehlbildungen auf der einen und anästhesiologischer Tätigkeit, verbrachten Stunden im OP und fehlender Installation einer Narkosegasabsaugung auf der anderen Seite (Knill-Jones in Halsey 1991).

Tierversuche ergaben z.T. ein teratogenes Potential, wenn Halothan, Enfluran oder Isofluran in anästhetischen Dosen über Stunden oder Tage während der Schwangerschaft verabreicht wurde (in Baden und Rice 1994).

### **5.1.2 Stickoxydul**

$N_2O$  wird seit 1844 als Inhalationsanästhetikum verwendet und wurde lange Zeit wie ein inertes Gas betrachtet. In den letzten Jahrzehnten galt das Interesse aber auch den möglichen toxischen Wirkungen.  $N_2O$  oxidiert das Cobaltion des Vitamin B12. Das zieht u.a. eine irreversible Inaktivierung der Methioninsynthetase nach sich, da diese das Vitamin B12 in der reduzierten Form als Koenzym benötigt (Baden und Rice 1994). Die Folge ist erstens eine Verminderung von Methionin, was bei der Proteinsynthese eine Rolle spielt und zweitens die Verminderung von Folsäureverbindungen, was eine Störung der DNA-Synthese verursacht. Dies erklärt die bei Langzeitverabreichung von  $N_2O$  auftretenden Wirkungen auf die Hämatopoese. Es kommt zu Panzytopenien und megaloblastischen Veränderungen im Knochenmark, sowie zu neurologischen Symptomen durch die Oxidation des Vitamin B12. Exponiertes OP-Personal ist in dieser Hinsicht aber keinem Risiko ausgesetzt, da bei diesen Personen kein verringerter Gehalt an Methionin gefunden wurde (in Baden und Rice 1994).

Bezüglich einer Mutagenität ergaben sich mit den Test-Systemen und durch Mutagenitätsstudien beim Menschen in der Regel negative Befunde. Auch eine Karzinogenität von N<sub>2</sub>O kann aufgrund bisheriger epidemiologischer Studien und Tierversuche verneint werden. Einer Reproduktionstoxizität von N<sub>2</sub>O gingen Cohen et al. mit einer retrospektiven Studie nach, indem sie Zahnarztpraxen, die N<sub>2</sub>O als Analgetikum benutzten, und als Kontrollgruppe Zahnarztpraxen, die es nicht verwendeten, untersuchten. Da nur in 18,7 % der Praxen auch halogenierte Inhalationsanästhetika eingesetzt wurden, war es so möglich, die Effekte von N<sub>2</sub>O isoliert zu betrachten. Die Studie ergab eine signifikant erhöhte Spontanabortrate für exponierte Helferinnen und Frauen von exponierten Zahnärzten (Cohen et al. 1980). Die Studie untersuchte, was Inhalationsanästhetika betrifft, isoliert den Einfluß von N<sub>2</sub>O und zeichnet sich durch weitere Qualitätsmerkmale aus. Ein offensichtlicher Mangel ist aber, daß die Zahnärzte und Zahnärztinnen, die N<sub>2</sub>O verwendeten, auch eine größere Exposition gegenüber Amalgam bzw. Quecksilberdämpfen aufwiesen. Somit bestand eventuell ein Einfluß dieser interferierenden Variablen bezüglich einer Teratogenität. Tierversuche belegen eine Teratogenität von N<sub>2</sub>O, auch in geringeren, als voll analgetisch wirksamen Dosen. Die niedrigste Konzentration, für die dies gezeigt werden konnte, betrug 1000 ppm N<sub>2</sub>O (Vieira et al. 1980). Eine verringerte weibliche Fertilität bei Exposition gegen 500 ppm N<sub>2</sub>O konnte im Tierversuch nachgewiesen werden (Kugel et al. 1989), bei männlichen Versuchstieren waren die Ergebnisse bei höherer Exposition widersprüchlich (in Greim 1994). Zur Frage einer möglichen Verhaltensteratogenität ergaben tierexperimentelle Untersuchungen eine verminderte Reaktivität der Nachkommen bei Exposition der Mutter gegen 5-35% N<sub>2</sub>O (in Greim 1994). Eine teratogene und fertilitätsmindernde Wirkung von N<sub>2</sub>O in subanästhetischen Konzentrationen kann somit als gesichert gelten.

### **5.1.3 Neurotoxizität**

Die Neurotoxizität von N<sub>2</sub>O und den halogenierten Inhalationsanästhetika werden in diesem Abschnitt zusammen diskutiert. Die Klärung der Frage, ob Inhalationsanästhetika in subnarkotischen Konzentrationen Aufmerksamkeit, Wahrnehmungsfähigkeit, intellektuelle und motorische Leistungen, sowie Risikoverhalten, beeinflussen, ist von großer Wichtigkeit, da dies eine Gefährdung der Patienten und Patientinnen bedeuten könnte. Die durchgeführten Studien erbrachten fast

alle negative Ergebnisse (Smith und Shirley 1978). Bentin et al. konnten allerdings zeigen, daß Versuchspersonen unter Einfluß von Enfluran nicht dieselben Risiken vermieden, denen sie ohne Exposition gegenüber Enfluran aus dem Wege gingen (Bentin et al. 1978). Diese Ergebnisse auf OP-Personal zu übertragen ist aber nicht möglich, da mit 2500 ppm Enfluran in der Studie eine Konzentration gewählt wurde, die die durchschnittliche Belastung im OP weit übertrifft. Über Veränderungen der Vigilanz und Reaktivität bei exponiertem Personal durch Halothan in Vorstudien mit „brain-mapping“-Methoden wurde von Hagemann und Winter berichtet (in Hagemann und Winter 1994). Zusammenfassend kann also gelten, daß eine Beeinträchtigung des Erinnerungsvermögens, sowie perzeptiver Funktionen des OP-Personals durch Einwirken von Inhalationsanästhetika in heute vorhandenen subnarkotischen Konzentrationen nicht ganz sicher ausgeschlossen werden kann.

#### **5.1.4 Subjektive Angaben**

Die Wichtigkeit der Erfassung der subjektiven Befindlichkeit wird in der Arbeitswissenschaft anerkannt, doch wird auch darauf hingewiesen, daß dies mit Befragungen allein nicht zu leisten sei, da Ärzte und Ärztinnen dazu neigen, ihre Beschwerden und Probleme herunterzuspielen (Schweres und Hagemann 1988). Es stellt sich die Frage, ob und inwieweit subjektiv angegebene Befindlichkeitsstörungen spezifisch für OP-Personal sind und auf Inhalationsanästhetika als ätiologischen Faktor zurückgeführt werden können. Eine Studie in Pariser Krankenhäusern ergab, daß exponiertes Pflegepersonal mit abnehmender Luftwechselrate der Klimaanlage signifikant häufiger über Müdigkeit, Kopfschmerzen, Schwindel und Abnahme der Reaktionszeit berichtete, wenn bezüglich einiger interferierender Variablen wie z.B. langer Arbeitszeit und Exposition gegenüber Desinfektionsmitteln standardisiert wurde (Saurel-Cubizolles et al. 1992). In einer anderen Studie konnten derartige Symptome jedoch nur mit hohen CO<sub>2</sub>-Werten über 1000 ppm in OP-Räumen korreliert werden, nicht aber mit der Belastung durch Inhalationsanästhetika (Tran et al. 1994).

Subjektiv angegebene Befindlichkeitsstörungen unter Einwirkung von Inhalationsanästhetika ließen sich nicht objektivieren (Smith und Shirley 1978). Ärztliches Anästhesie-Personal hingegen, welches bei Befragung erhöhte „Stress scores“ erreichte, erbrachte in psychologischen Tests signifikant verminderte Leistungen

(Stollery et al. 1988). Die erhöhten „Stress scores“ wiesen keine Abhängigkeit von einer Exposition gegenüber Inhalationsanästhetika, wohl aber von hohen Arbeitszeiten auf.

### 5.1.5 Zusammenfassung

Die Untersuchung chronisch-toxischer Wirkungen der Inhalationsanästhetika in subnarkotischen Konzentrationen ist mit vielen Schwierigkeiten verbunden. Die vorliegenden epidemiologischen Studien sind mit drei grundsätzlichen Problemen behaftet: Bis auf eine sind alle Untersuchungen **retrospektive Studien**. Die Informationen dieser retrospektiven Studien werden mittels Befragungen gewonnen. Die Antwortrate dieser Studien variierte zwischen 41 und 94% (Tannenbaum und Goldberg 1985). Damit wird folgendes Problem aufgeworfen: Unterscheiden sich die Antworten der Gruppe, die den Fragebogen ausfüllte, von den potentiellen Antworten der Gruppe, die nicht auf die Befragung reagierte? In zwei Studien wurde versucht dieser Frage nachzugehen. In einer Untersuchung von Axellson und Rylander wurde in der Gruppe, die nicht geantwortet hatte, nachgefragt. Dabei stellte sich heraus, daß ein Drittel von den Frauen, die nicht exponiert waren, einen stattgefundenen Spontanabort nicht angaben. Im Gegensatz dazu waren alle Spontanaborte von den exponierten Frauen, die geantwortet hatten, angegeben worden (Axellson und Rylander 1982). In der Studie der ASA allerdings hatte sich diese Differenz im Antwortverhalten nicht ergeben (ASA 1974).

Das zweite Problem besteht in der **multifaktoriellen Genese** der untersuchten chronisch-toxischen Wirkungen. Fast alle diese Studien können die untersuchten Effekte nicht gezielt den Inhalationsanästhetika überhaupt und auch nicht einem bestimmten Inhalationsanästhetikum zuschreiben. Ein Einfluß interferierender Variablen muß angenommen werden (Bittersohl 1993; Pothmann et al. 1991; Tannenbaum und Goldberg 1985): Wechselwirkungen der Inhalationsanästhetika untereinander, Alter, Krankheiten, Ernährung, Schichtarbeit, Arbeit im Stehen, Strahlung, Medikamente während der Schwangerschaft, Desinfektionsmittel, physische und psychische Belastungen, Zigarettenrauchen, Alkoholkonsum, sonstiger Konsum legaler und illegaler Drogen etc. Die multifaktorielle Belastungsstruktur des Arbeitsplatzes Anästhesie (Hagemann und Winter 1994) erschwert die Kontrolle dieser Variablen. Einige der Studien standardisieren bezüglich mancher dieser möglichen Faktoren, aber keine kann alle berücksichtigen.

Einen weiteren Einwand, der die Prämissen, die Planung und die Interpretation dieser Studien betrifft, macht Karmaus: Die Studien untersuchen Spontanaborte und Fehlbildungen und geben z.T. erhöhte Wahrscheinlichkeiten an, als seien es voneinander unabhängige Ereignisse. Es wäre richtig die **Endpunkte von reproduktiven Störungen** zu betrachten, was auch eine reduzierte Fertilität einschliesse. Es sollte weiterhin berücksichtigt werden, daß sich diese drei Endpunkte gegenseitig beeinflussen. Sollten die Eltern beispielsweise aufgrund von Schadstoffen unfruchtbar sein, so wird sich keine erhöhte Rate an Fehlbildungen bei den Kindern dieser Eltern feststellen lassen (Karmaus 1987). Deshalb widerspricht es sich auch nicht, wenn in der einen Studie die Wahrscheinlichkeit für Fehlgeburten, in einer anderen hingegen die Wahrscheinlichkeit für eine reduzierte Fertilität oder Fehlbildungen erhöht ist. Dem ist noch hinzuzufügen, daß schon die Erfassung spontaner Aborte unsicher ist (Bittersohl 1993).

Aber auch die Daten von Tierversuchen sind mit Vorsicht zu interpretieren und auf den Menschen zu übertragen. Abgesehen von ihrer ethischen Problematik, die hier nicht diskutiert werden soll, gibt es durchaus schwer zu kontrollierende Aspekte, die ein gesundes Maß an Vorsicht erfordern, bevor Schlüsse gezogen werden können (Ferstandig 1978). Auch die statistische Power ist bei Tierversuchen geringer, weil die untersuchten Fallzahlen viel kleiner sind, als bei epidemiologischen Untersuchungen (Baden und Rice 1994). Der Nutzen der Tierversuche besteht darin, daß Substanzen, die beim Menschen teratogen wirken, dies mindestens auch bei einer, sehr oft auch bei mehreren Tierarten sind. Quantitativen Vergleichen zwischen Mensch und Tier muß man aber wiederum mit Vorbehalt begegnen. Die niedrigsten teratogen wirksamen Dosen bei der jeweils empfindlichsten Tierart können 1,8- bis 50-fach höher als beim Menschen liegen (Hofmann et al. 1983).

Die bisherigen Studien zur Frage der chronischen Toxizität der Inhalationsanästhetika lassen zusammenfassend folgende Äußerungen zu: Mutagene Wirkungen der Inhalationsanästhetika sind eher zu verneinen. Im Hinblick auf eine mögliche Karzinogenität kann ein erhöhtes Risiko für Frauen durch halogenierte Inhalationsanästhetika nicht ganz sicher ausgeschlossen werden. Eine reproduktionstoxische Wirkung der halogenierten Inhalationsanästhetika in subnarkotischen Dosen kann angenommen werden. Für Stickoxydul kann eine

teratogene und fertilitätsmindernde Wirkung als gesichert gelten. Eine Neurotoxizität in Form von Störungen der Aufmerksamkeit, Wahrnehmungsfähigkeit, intellektueller und motorischer Leistungen, sowie erhöhtem Risikoverhalten durch Inhalationsanästhetika in heute vorhandenen subnarkotischen Konzentrationen ist nicht ganz sicher auszuschließen. Eine Hepato- und Nephrotoxizität sind unter diesen Verhältnissen nicht anzunehmen.

Aufgrund der Tatsache, daß eine Schädlichkeit von N<sub>2</sub>O und den halogenierten Inhalationsanästhetika in subnarkotischen Konzentrationen bis heute nicht sicher ausgeschlossen werden kann, bzw. z.T. belegt wurde, wird deshalb empfohlen die Belastung für das Personal auf das technisch machbare zu reduzieren.

Umweltschädigende Effekte der Inhalationsanästhetika sind vorhanden durch eine Wirkung auf die Ozonschicht der Stratosphäre und einen Beitrag zum sogenannten Treibhauseffekt, aber als sehr gering einzustufen. Dennoch sollten relativierende Berechnungen nicht dazu führen, umweltschädigende Effekte der Inhalationsanästhetika als irrelevant zu betrachten (Radke und Fabian 1991).

## **5.2 Technische Messungen**

Die technischen Messungen ergaben in der Gesamtbetrachtung einen sehr niedrigen Grundpegel von N<sub>2</sub>O und eine nur geringe Anzahl von relevanten Leckagen über 100 ml/min. im Hoch- und Niederdrucksystem. Es ist allerdings ebenso hervorzuheben, daß in 40% der Fälle der Grundpegel von N<sub>2</sub>O nicht angegeben oder bestimmt wurde und in 55,4% der Fälle keine Angaben zu Leckagen oder zur Höhe der Leckagen für das Hoch- und Niederdrucksystem gemacht wurden. Vor diesem Hintergrund sind diese Ergebnisse vorsichtig zu interpretieren. In 17 Fällen wurde der in Hamburg zur Beurteilung angewandte Wert von 50 ppm für N<sub>2</sub>O allein durch die Grundpegelmessungen erreicht. Dies setzt normalerweise erhebliche Leckagen im Hochdrucksystem voraus, obwohl diese in der vorliegenden Untersuchung bei erhöhtem N<sub>2</sub>O-Grundpegel nach Aktenlage in 13 von 17 Fällen nicht vorhanden waren. Die Genauigkeit der Leckagesuche und Korrektheit der Angaben war im nachhinein nicht zu bestimmen. Es muß aber angenommen werden, daß bei einer mangelnden Leistung der Raumlüftungsanlagen Leckagen vorlagen. Erhöhte N<sub>2</sub>O-Grundpegel unterstreichen die Notwendigkeit von

regelmäßiger Gerätewartung, auch wenn die Anzahl erhöhter Meßwerte der Grundpegelmessungen in dieser Untersuchung geringer war, als die 3,6% über 50 ppm von 337 Messungen in einer anderen Studie (Bohne-Matusall und Rasmussen 1991b), deren Daten in diese Untersuchung Eingang fanden. Der Grund dafür könnte in den nach den Messungen der ersten Jahre evtl. vorgenommenen Reparaturen und Wartungsarbeiten liegen, so daß die Dauerbelastung durch Leckagen nun geringer war.

Ein Zusammenhang zwischen dem Alter des Narkosegerätes und der Höhe der Leckagen wurde verneint (Berner 1973), was auch durch diese Untersuchung im wesentlichen bestätigt wurde. Vielmehr können Leckagen durch regelmäßige Gerätewartung vermieden werden.

In ca. 90% der Messungen in dieser Untersuchung war eine Raumlüftungsanlage und in ca. 95% eine Narkosegasabsaugung vorhanden. Das entspricht in etwa der Studie von Rajhans et al. (Rajhans et al. 1989), während dieser Stand wiederum in anderen Studien nicht erreicht wird (Gilly et al. 1991, Meier et al. 1993). Die Ergebnisse dieser Untersuchung unterstreichen erneut die Notwendigkeit von Raumlüftungsanlagen und Narkosegasabsaugungen als technische Voraussetzungen, um die Arbeitsplatzbelastung durch Inhalationsanästhetika auf ein Minimum reduzieren zu können. Dies ist mit leistungsstarken Raumlüftungsanlagen und Narkosegasabsaugungen zu erreichen. Jedoch lag in 27% der Fälle (N=107), in denen eine Leistung der Narkosegasabsaugung angegeben wurde (N=354), diese unter 40 l/min. In 11,5% (N=41) lag sie über 60 l/min., wodurch das den Patientinnen und Patienten zugeführte Atemminutenvolumen reduziert werden kann. Es wurde also in 148 Fällen die empfohlene Leistung von 40-60 l/min. für Narkosegasabsaugungen ohne Sammelbeutel (siehe auch 5.5) nicht eingehalten. Es war den ausgewerteten Akten nicht zu entnehmen, ob die Narkosegasabsaugungen mit einem Puffer oder Sammelbeutel ausgestattet waren und ob diese empfohlene Leistung auf sie anzuwenden ist. Trotzdem läßt dieser hohe Anteil von leistungsschwachen oder falsch hoch eingestellten Narkosegasabsaugungen vermuten, daß Verbesserungen erforderlich sind.

### 5.3 Belastungsniveau durch Inhalationsanästhetika

Die Lagemaße aller gemessenen Inhalationsanästhetika bewegten sich in der Gesamtbetrachtung auf sehr niedrigem Niveau. Von allen N<sub>2</sub>O-Messungen lagen mehr als 75% der Werte unter 25 ppm, dem 1977 vom NIOSH empfohlenen Grenzwert. *Insgesamt* ähnlich niedrige Ergebnisse erbrachten auch viele andere Studien (Berner 1978a, Bohne-Matusall und Rasmussen 1991b, Korn et al. 1992, Lauven und Stoeckel 1982, Mehta et al. 1975, Meier et al. 1993, Sonander et al. 1985, Sass-Kortsak et al. 1992, Wegner et al. 1990).

Wiederum andere Studien zeigten bei technisch schlechteren Voraussetzungen hingegen höhere Ergebnisse (Davenport et al. 1980, Gardner et al. 1989, Gray 1989, Wood et al. 1992). Der Grund dafür lag vermutlich in einer fehlenden Narkosegasabsaugung in der Studie von Davenport et al., einer passiven Narkosegasabsaugung in der Studie von Wood et al. und der Tatsache, daß nur in 54% der Fälle in der Studie von Gardner et al. eine Narkosegasabsaugung vorhanden war. In der Studie von Gray et al. wurde die überraschend hohe Belastung durch Inhalationsanästhetika in einer evtl. schlechten Leistung der Raumlüftungsanlagen und Narkosegasabsaugungen vermutet.

Es ist jedoch auch auf die 13% der N<sub>2</sub>O-Meßergebnisse in dieser Untersuchung hinzuweisen, die den in Hamburg zur Beurteilung angewandten Wert von 50 ppm überschritten. Für alle Inhalationsanästhetika wichen der jeweilige Median und jeweilige Mittelwert in der vorliegenden Untersuchung stark voneinander ab. Das deutet auf Ausreißer und Extremwerte hin, für die der Mittelwert anfälliger ist. Tatsächlich waren Ausreißer und Extremwerte in großer Anzahl vorhanden, was auch durch die jeweils hohe Standardabweichung und die sehr hohen Maxima bestätigt wurde. Auch in anderen Studien lagen Minima und Maxima sehr weit auseinander (Davenport et al. 1980, Gray 1989, Sonander et al. 1985). Für Ausreißer und Extremwerte konnten sowohl mangelnde technische Voraussetzungen, als auch eine unachtsame Arbeitsweise und Unerfahrenheit der Anästhesistinnen und Anästhesisten, verantwortlich gemacht werden, was unter 5.4 genauer ausgeführt wird.

Die Korrelation zwischen den Meßwerten von N<sub>2</sub>O und dem jeweiligen halogenierten Inhalationsanästhetikum stellte sich erwartungsgemäß als schlecht heraus, was den

Ergebnissen anderer Studien entspricht (Bohne-Matusall und Rasmussen 1991b, Rajhans et al. 1989). Der Grund dafür liegt darin, daß N<sub>2</sub>O meist im konstanten Fluß appliziert wird, die Konzentration des jeweiligen halogenierten Inhalationsanästhetikums jedoch während der Narkose z.T. verändert wird.

#### **5.4 Meßwerte der Arbeitsplatzbelastung durch Inhalationsanästhetika unter Einfluß verschiedener Faktoren**

In diesem Abschnitt werden die unter 4.3.1 bis 4.3.13 untersuchten Einflußfaktoren auf die N<sub>2</sub>O-Meßergebnisse der Übersichtlichkeit halber nacheinander diskutiert. Im ersten Teil geht es zunächst um die Frage wie und wer gemessen hat, sowie um Bereiche und Personen, für die mit verschiedenen hohen Meßwerten gerechnet werden muß. Das Augenmerk soll sich auf den zweiten Teil richten, der von den kausalen Faktoren handelt.

Ein Einfluß auf die N<sub>2</sub>O-Meßwerte aufgrund unterschiedlichen Vorgehens einzelner **Meßstellen** war nicht vorhanden. Drei Meßstellen führten allein 84,3% aller N<sub>2</sub>O-Messungen durch. Dies lag vermutlich daran, daß sich Ende der achtziger Jahre noch nicht viele Meßstellen auf diesen Markt eingestellt hatten und sie sich erst in den darauffolgenden Jahren um Marktanteile bemühten. Auch unterschiedliche Preise und Marketingstrategien der einzelnen Anbieter mögen zu einer derartigen Verteilung beigetragen haben.

Die Korrektheit der Probenahme im Rahmen der einzelnen **Meßverfahren** 1 bis 3 können hier rückblickend nicht kontrolliert werden. In dieser retrospektiven Erhebung unterschieden sich weder für alle Messungen, noch in Untergruppen, die N<sub>2</sub>O-Meßwerte der einzelnen Meßverfahren. Dementsprechend wurden in dieser Auswertung immer die Meßergebnisse aller drei Meßverfahren verwendet. Die N<sub>2</sub>O-Meßergebnisse mit einer **Meßzeit** <30 min. lagen signifikant höher als bei Meßzeiten >30 min. Dies war auf den größeren Anteil von Maskennarkosen in der Gruppe mit Meßzeiten <30 min. zurückzuführen. Dieses Ergebnis wird durch eine andere Untersuchung bestätigt (Bohne-Matusall und Rasmussen 1991b).

Ein Einfluß der **Art der Erfassung** der Narkosen auf die Höhe der N<sub>2</sub>O-Meßwerte konnte kaum gezeigt werden. Die Lagemaße der vier Gruppen *Voll-, Teil-,*

*Mischerfassung* und *keine Angabe* unterschieden sich geringfügig, allein das 75%-Perzentil der Vollerfassungen lag etwas höher als das der anderen Gruppen. Da ein Unterschied zwischen den Gruppen kaum feststellbar war, konnten in dieser Untersuchung alle Arten der Erfassung in die Analysen miteinbezogen werden, obwohl es methodisch korrekter gewesen wäre, nur Vollerfassungen zu untersuchen.

Die Betrachtung der einzelnen **Jahre** zeigte, daß sich zu Beginn der Messungen in Hamburg, Ende der achtziger Jahre, auf die halogenierten Inhalationsanästhetika konzentriert wurde, während N<sub>2</sub>O selten gemessen wurde. Dies ist wahrscheinlich darauf zurückzuführen, daß erst im Verlauf des Jahres 1988 Richtwerte für Inhalationsanästhetika in Hamburg erlassen wurden. Vorher existierte allein für Halothan ein MAK-Wert. N<sub>2</sub>O rückte erst mit der Zeit in den Mittelpunkt des Interesses. Dies hat seine Berechtigung im Verhältnis applizierte Konzentration/Grenzwert, aufgrund dessen N<sub>2</sub>O den Grenzwert eher überschreiten wird als ein halogeniertes Inhalationsanästhetikum. Es war im Verlauf der Jahre, während der die Messungen der Arbeitsplatzbelastung durchgeführt wurden, keine wesentliche Reduktion der Belastung erkennbar, was als ein wichtiges Ergebnis dieser Untersuchung festzuhalten ist. Dies überrascht, weil durch die den Messungen nachfolgenden Maßnahmen eine Reduktion für einzelne Krankenhäuser (z.B. durch Einbau einer Raumlüftungsanlage im Krankenhaus 1) durchaus erreicht wurde. Derartige technische Verbesserungen schienen sich allerdings nur in der Senkung der Maxima im Verlauf der Jahre auszuwirken. Das hieße, daß die nach wie vor beachtliche Anzahl von Ausreißern und Extremwerten auf mangelnde Sorgfalt und/oder unerfahrene Anästhesistinnen und Anästhesisten zurückzuführen war. Die Postulierung einer stattgefundenen Sensibilisierung gegenüber dem Arbeits- und Gesundheitsschutz in Hinsicht auf Gefahrstoffe (Deitenbeck 1994) wird dadurch in Frage gestellt.

Hinsichtlich der **Krankenhausträger** bestätigte sich die auch schon anderenorts festgestellte (Deitenbeck 1994) höhere Belastung durch N<sub>2</sub>O in privaten Krankenhäusern. In der vorliegenden Erhebung war dies auf das dort prozentual häufigere Fehlen von Raumlüftungsanlagen und Narkosegasabsaugungen

zurückzuführen. Die Forderung des Einbaus von leistungsfähigen Raumlüftungsanlagen und Narkosegasabsaugungen wird somit erneut gerechtfertigt.

Die Mediane von  $N_2O$  in den verschiedenen **Krankenhäusern** variierten z.T. erheblich. Das kann zum einen an der in den einzelnen Krankenhäusern unterschiedlichen Anzahl von Messungen gelegen haben. Zum anderen zeigte die Analyse der Lagemaße einzelner Krankenhäuser mittels Kreuztabellen mit anderen Einflußfaktoren, daß Unterschiede sowohl durch Raumlüftungsanlagen und Narkosegasabsaugungen bedingt sein können, als auch weitere Faktoren dies beeinflussen müssen. Hier sind z.B. Maskeneinleitungen und Maskennarkosen zu nennen, die zu den hohen Meßergebnissen in den Krankenhäusern 5 und 15 beitrugen.

In einigen operativen Fächern, wie z.B. der Ophthalmologie (Pothmann et al. 1991) und HNO-Heilkunde ist z.T. mit einer höheren Arbeitsplatzbelastung durch Inhalationsanästhetika zu rechnen, wenn dort bei Maskennarkosen aufgrund der Tätigkeit am Kopf eine dichte Haltung der Maske schwierig ist. Studien von Wegner et al. und Sass-Kortsak et al. erbrachten höhere Belastungen in der HNO-Heilkunde (Sass-Kortsak et al. 1992, Wegner et al. 1990). In der Studie von Wegner et al. fehlte in den Räumen der HNO-Abteilung eine Raumlüftungsanlage, ebenso wurden in den dortigen OP-Räumen z.T. Maskeneinleitungen durchgeführt, was in den anderen Fachgebieten weniger häufig der Fall war. Es muß dementsprechend davon ausgegangen werden, daß die höhere Belastung dort auf die fehlende Raumlüftungsanlage und den höheren Anteil von Maskeneinleitungen zurückzuführen war. Sass-Kortsak et al. führten die höhere Belastung u.a. in den HNO-OPs gegenüber der Orthopädie auf die Anzahl und Dauer der Narkosen zurück. Ein derartiger Einfluß von mehreren Ein- und Ausleitungen wäre möglich, aber eher bei Maskeneinleitungen und Maskennarkosen zu erwarten, über deren Verteilung in den Gruppen jener Studie nichts berichtet wurde. Eine weitere mögliche Erklärung wäre, daß selbst bei gleichen Anteilen von Maskeneinleitungen und Maskennarkosen verschiedene Anästhesistinnen und Anästhesisten die Maske unterschiedlich dicht halten (Gilly et al. 1991, Meier et al. 1993), und sich das in Studien unkontrolliert auswirken könnte. Die Ergebnisse dieser Untersuchung erbrachten kaum höhere  $N_2O$ -Meßwerte für bestimmte operative Fachgebiete, was vermutlich auf das Studiendesign bzw. die Methodik zurückzuführen war. Die zwei Werte von 29 und 213 ppm  $N_2O$  während einer Thoraxoperation erklären sich dadurch, daß eine Geräteleckage vorlag und außerdem bronchoskopiert wurde.

In der N<sub>2</sub>O-Belastung je nach Funktion der **Räume** ergab sich ein unterschiedliches Bild: Während die Meßwerte in Aufwachräumen sehr niedrig waren, und auch in OP- und Einleitungsräumen den Grenzwert relativ selten überschritten, war die Arbeitsplatzbelastung in Poliklinik-Räumen erheblich größer. Die Höhe der Werte in Poliklinik-Räumen war auf einen großen Anteil von Maskennarkosen und häufig fehlende Raumlüftungsanlagen zurückzuführen.

Die Belastung in Einleitungsräumen, die gesamten Meßwerte betrachtet, war überraschend niedrig, was wahrscheinlich durch gute räumlich-technische Bedingungen und den nur geringen Anteil von Maskeneinleitungen verursacht wurde. Wenn man allerdings nur die personenbezogenen Meßergebnisse der Anästhesistinnen und Anästhesisten, sowie die stationären Meßergebnisse des Anästhesiearbeitsplatzes herausgriff, ergab sich ein 75%-Perzentil in Einleitungsräumen von 109 ppm N<sub>2</sub>O. Dies war somit deutlich höher als der entsprechende Wert von 37 ppm in Einleitungsräumen bei Betrachtung aller Meßwerte. Hier wird deutlich, daß durch stationäre Messungen und Messungen anderer Personen in Einleitungsräumen die Belastung der Anästhesistinnen und Anästhesisten in der Gesamtbetrachtung niedriger erscheint, als sie in Wirklichkeit für diese Berufsgruppe in diesen Räumen ist.

In Aufwachräumen war die Arbeitsplatzbelastung durch Inhalationsanästhetika durchweg niedrig, wie dies auch andere Messungen ergeben haben (Bohne-Matusall und Rasmussen 1991b, Hoerauf et al. 1995). Hoerauf et al. führten die niedrige Belastung in ihrer Studie auf die gute Klimatisierung, das große Raumvolumen, die Zeitverzögerung zwischen Extubation und Ankunft im Aufwachraum und die zweistündige Verweildauer der Patientinnen und Patienten im Aufwachraum zurück. Diese Einflüsse und die Belegungsfrequenz konnten in dieser Untersuchung nicht analysiert werden, da diese Faktoren nur z.T. erhoben wurden, bzw. werden konnten. In anderen Studien wurde der Einfluß einer Raumlüftungsanlage auf die Höhe der Meßwerte belegt (Berner 1978b, Davenport et al. 1980). Dies konnte in dieser retrospektiven Untersuchung vermutlich deshalb nicht gezeigt werden, da nicht erhobene Einflußfaktoren auf die Höhe der Belastung sich evtl. ungleich auf beide Vergleichsgruppen verteilten.

Untersuchungen, welche **Personen** am stärksten mit Inhalationsanästhetika belastet sind, zeigten, daß die Anästhesistinnen und Anästhesisten am stärksten exponiert sind (Gray 1989, Linde und Bruce 1969, Rajhans et al. 1989, Sass-Kortsak et al. 1992, Tran

et al. 1994, Wegner et al. 1990). Dies wird nach dem sogenannten Raumzonenkonzept zurückgeführt auf die größere räumliche Nähe zu den Orten der Leckagen, seien es Geräteleckagen oder undicht gehaltene Masken etc. (Berner 1978a, Meier et al. 1993, Pothmann et al. 1991). Auch in dieser Untersuchung zeigte sich, daß die Anästhesistinnen und Anästhesisten am höchsten belastet waren, allerdings waren die Unterschiede zu Anästhesieschwestern und -Pflegerinnen, sowie Operateurinnen und Operateuren nicht sehr groß. Die geringe Differenz zwischen Anästhesistinnen und Anästhesisten auf der einen und Operateurinnen und Operateuren auf der anderen Seite erklärt sich dadurch, daß 16 von 20 Messungen in der Gruppe der Operateurinnen und Operateure in den operativen Fächern Ophthalmologie, ZMK- und HNO-Heilkunde stattfanden, wo eine große Nähe zu Leckageorten bestand. Eine weitere Erklärungsmöglichkeit könnte in der allgemein niedrigen Arbeitsplatzbelastung durch Inhalationsanästhetika in dieser Untersuchung liegen. Denn bei allgemein niedrigem Niveau der Meßergebnisse verkleinern sich die Unterschiede zwischen verschiedenen Berufsgruppen, während diese Differenzen bei hoher Belastung hingegen deutlicher hervortreten. Noch eine Erklärungsmöglichkeit lieferten Davenport et al., die eine nur geringe Mehrbelastung der Anästhesistinnen und Anästhesisten darauf zurückführten, daß die Exposition eher von individuellen Arbeitsmustern und Bewegungen abhänge als von bestimmten Regionen (Davenport et al. 1980). Eine weitere mögliche Erklärung für Differenzen zu anderen Studien besteht auch darin, daß bspw. in der Studie von Rajhans et al. Schichtmittelwerte verwendet wurden und chirurgisches ärztliches Personal in jener Studie nur etwa ein Viertel der Zeit im OP verbrachte, die die Anästhesistinnen und Anästhesisten sich dort aufhielten. Derartige Angaben konnten für die vorliegende Untersuchung nicht erhoben werden, außerdem wurden hier die tatsächlichen Meßergebnisse einer zugehörigen Meßzeit zugrunde gelegt.

Nachdem es bis zu diesem Punkt hauptsächlich um eine erhöhte Arbeitsplatzbelastung in bestimmten Bereichen und für bestimmte Personen ging, die durch andere Einflüsse verursacht ist, soll es im folgenden jetzt um diese **kausalen Faktoren** gehen:

In der vorliegenden Untersuchung führten **Geräteleckagen** über 100 ml/min. bei guter Klimatisierung kaum zu einer erhöhten Arbeitsplatzbelastung durch N<sub>2</sub>O. **Iatrogene Leckagen** hingegen verursachten einen etwas größeren Anstieg der Belastung. Es ist anzunehmen, daß etliche iatrogene Leckagen nicht angegeben und deshalb in die andere

Gruppe ohne iatrogene Leckage eingeordnet wurden, was vermutlich diesen Effekt noch verwischt hat. Die Tatsache, daß iatrogene Leckagen zu einem stärkeren Anstieg der N<sub>2</sub>O-Belastung führten als Geräteleckagen über 100 ml/min., sollte nicht dazu verleiten letztere als irrelevant zu betrachten. Dies deutet vielmehr darauf hin, daß iatrogene Leckagen zumeist gravierende Kontaminationsquellen darstellen, wenn bspw. vergessen wird die Narkosegasabsaugung anzuschließen oder das Beatmungssystem vom Tubus diskonnektiert wird etc. Der Verursachung einer erhöhten Arbeitsplatzbelastung mit Inhalationsanästhetika durch *iatrogene Leckagen* wurde bislang zuwenig Aufmerksamkeit geschenkt. Es ist zu betonen, daß dieses Problem nur durch überprüftes Handling und ausreichende Sorgfalt des Anästhesie-Personals zu lösen ist.

Es wurde wiederholt belegt, daß sowohl eine **Narkosegasabsaugung** (Davenport et al. 1980, Gardner et al. 1989, Henry und Primosch 1991, Lauven und Stoeckel 1982, Mehta et al. 1975) als auch eine **Raumlüftungsanlage** (Gardner et al. 1989, Mehta et al. 1975, Sass-Kortsak et al. 1992, Wegner et al. 1990, Whitcher et al. 1971) die Belastung durch Inhalationsanästhetika deutlich reduziert. Die effektive Senkung der Belastung wurde durch diese Untersuchung erneut bestätigt. Wenn man den Einfluß einer Narkosegasabsaugung auf die Arbeitsplatzbelastung durch Inhalationsanästhetika isoliert betrachtete, zeigte sich, daß bei nicht vorhandener Narkosegasabsaugung der in Hamburg zur Beurteilung angewandte Wert von 50 ppm N<sub>2</sub>O nur in ca. 25% der Fälle eingehalten wurde. Bei alleinigem Fehlen einer Raumlüftungsanlage wurde dieser Wert auch nur in fast der Hälfte der Fälle eingehalten. Es wird hier klar, daß ohne diese beiden Schutzvorrichtungen der Richtwert für N<sub>2</sub>O schnell überschritten wird.

Während die Konzentration des N<sub>2</sub>O im applizierten Gasgemisch durchaus einen Effekt auf die Höhe der Arbeitsplatzbelastung durch Stickoxydul hat (Henry und Primosch 1991), sind die Ergebnisse bisheriger Studien in Bezug auf den **N<sub>2</sub>O-Flow** widersprüchlich. Eine lineare Korrelation zwischen eingestelltem Stickoxydul-Flow und der Belastung durch N<sub>2</sub>O war weder in dieser Untersuchung nachweisbar, noch konnten andere dies zeigen (Rajhans et al. 1989). Auch bei Bildung verschiedener Gruppen für den Stickoxydul-Flow ergaben sich keine höheren N<sub>2</sub>O-Meßergebnisse bei höherem Flow. Daß keine erhöhte Arbeitsplatzbelastung bei höherem N<sub>2</sub>O-Flow gefunden wurde, ist folgerichtig, da sich der Druck im System durch einen höheren Flow nicht ändert.

Ein hoher Frischgasflow kann allerdings bei Überlastungen der Narkosegasweiterleitungen zu Leckagen und erhöhter Arbeitsplatzbelastung durch Inhalationsanästhetika führen (Drüge und Pothmann 1995).

Die Applikation von Inhalationsanästhetika mittels einer Maske bringt eine erhöhte Arbeitsplatzbelastung mit sich, dies wurde häufig gezeigt (Bohne-Matusall und Rasmussen 1991b, Gilly et al. 1993, Gray 1989, Lauven und Stoeckel 1982, Meier et al. 1993, Sarma und Leman 1990, Sass-Kortsak et al. 1992, Schweres und Hagemann 1988, Wood et al. 1992). Insofern verwundert es nicht, daß auch in dieser Untersuchung eine **Maskeneinleitung**, verglichen mit einer **iv-Einleitung**, eine erhöhte Belastung durch N<sub>2</sub>O für die Anästhesistinnen und Anästhesisten bedeutete. Es ist zu kritisieren, daß in Hamburg während Maskeneinleitungen nur selten Messungen durchgeführt wurden. Ca. die Hälfte der Meßwerte während Maskeneinleitungen befand sich unter 25 ppm N<sub>2</sub>O. Gute technische Voraussetzungen und eine geübte und dichte Haltung der Maske, sowie sorgfältige Arbeitsweise einzelner Anästhesistinnen und Anästhesisten können die Belastung offensichtlich derartig reduzieren (Gilly et al. 1991). Durch Einsatz einer absaugenden **Doppelmaste** kann die N<sub>2</sub>O-Belastung weiter reduziert werden, worauf diese Untersuchung aufgrund ihrer Methodik und geringer Fallzahlen nur Hinweise geben konnte. Bisherige Studien zu Doppelmasten unter definierten technischen Bedingungen (Pothmann 1993) belegten deren Wirksamkeit, was die Forderung nach ihrem vermehrtem Einsatz bei Maskeneinleitungen und Maskennarkosen unterstreicht. In der vorliegenden Untersuchung bestätigte sich auch erneut die höhere Belastung durch Inhalationsanästhetika bei **Maskennarkosen** im Vergleich zu **Intubationsnarkosen** für die Anästhesistinnen und Anästhesisten.

Bezüglich des **Alters der Patientinnen und Patienten** bestätigten die vorliegenden Ergebnisse die Thesen anderer Studien (Gray 1989, Sonander et al. 1985), daß Kinder- und Kleinkindernarkosen die Anästhesistinnen und Anästhesisten einer erhöhten Konzentration der Inhalationsanästhetika aussetzen. Dies ist, außer dem Einsatz einer Maske an sich, auch auf die teils mangelnde Kooperation vor allem nicht prämedizierter Kinder und Kleinkinder zurückzuführen.

Zusammenfassend läßt sich feststellen, daß die Bedeutung dieser Untersuchung vor allem darin liegt über 7-8 Jahre erfolgte Messungen der Arbeitsplatzbelastung durch

Inhalationsanästhetika ausgewertet und auf diese Art und Weise ein Belastungsprofil mit einer großen Anzahl von Messungen erstellt zu haben. Bei der Untersuchung einzelner Faktoren für die Höhe der Belastung stellten sich eine fehlende Narkosegasabsaugung, eine fehlende Raumlüftungsanlage, Leckagen, Maskeneinleitungen, Maskennarkosen, sowie Kinder- und Kleinkindernarkosen als Risikofaktoren für eine erhöhte Arbeitsplatzbelastung heraus. Diese ursächlichen Faktoren können dann im Kontext einer Gesamtkonstellation (Meier et al. 1993) eine erhöhte Belastung durch Inhalationsanästhetika zu bestimmten Zeitpunkten, an bestimmten Orten und für bestimmte Personen bewirken. Die hier vorliegenden Ergebnisse sind aufgrund der unter 5.6.1 geäußerten Kritik vorsichtig zu beurteilen. Eine *Gewichtung* einzelner Einflußfaktoren konnte aufgrund häufig fehlender Angaben in dieser Untersuchung nicht vorgenommen werden. Dies bleibt weiteren prospektiven Studien oder Simulationsuntersuchungen unter definierten Bedingungen vorbehalten.

Diese Untersuchung bestätigte die bisherigen Ergebnisse zu Einflußfaktoren für eine erhöhte Arbeitsplatzbelastung durch Inhalationsanästhetika und ergab insgesamt relativ niedrige Meßergebnisse. Dies war auf die in vielen Fällen ausreichenden technischen Bedingungen zurückzuführen, wenngleich auch in diesem Punkt, wie gezeigt, häufig Mängel bestanden. Diese Untersuchung liefert als wichtiges Ergebnis aber auch die Erkenntnis, daß eine befriedigende baulich-technische Ausstattung allein nicht ausreichend ist. Gute technische Voraussetzungen können mangelnde Sorgfalt des Anästhesie-Personals nicht kompensieren. Es wurde postuliert, daß durch die Messungen der Spurenkonzentrationen von Inhalationsanästhetika, die seit 1987 in Hamburger Krankenhäusern durchgeführt werden, die Sensibilität für den Arbeits- und Gesundheitsschutz in Hinsicht auf Gefahrstoffe gestiegen ist (Deitenbeck 1994). Diese Annahme ließ sich mit der vorliegenden Untersuchung durch eine Senkung der Maxima und leicht rückläufige Anzahl von Ausreißern und Extremwerten nur eingeschränkt verifizieren, da die Lagemaße der Arbeitsplatzbelastung durch Inhalationsanästhetika im Verlauf der Jahre nicht gesunken sind. Dennoch ist als Erfolg festzuhalten, daß Krankenhäuser durch die Messungen angeregt wurden technische Verbesserungen vorzunehmen. So wurden z.B. im Krankenhaus 45, um eines beispielhaft herauszugreifen, seit 1989 in drei OP-Trakten Raumlüftungsanlagen und in zwei OP-Trakten Narkosegasabsaugungen eingebaut. Darüberhinaus wird dort inzwischen während Maskeneinleitungen bei Kindern und Kleinkindern die Doppelmaske

verwendet. In drei OP-Räumen und zwei Aufwachräumen ist eine lokale Narkosegasabsaugung installiert worden.

## 5.5 Mögliche Verbesserungen und Alternativen

Es ist zunächst hinzuweisen auf das *Merkblatt für den Umgang mit Narkosegasen* des AfA Hamburg, welches im Anhang unter 7.1 zusammengefaßt wiedergegeben ist. Hier sollen nun Möglichkeiten und Vorschläge für die Reduktion der Belastung durch Inhalationsanästhetika zusammengefaßt werden, die in der Literatur erörtert wurden.

Eine **Narkosegasabsaugung** wird seit den 70er Jahren als Standard empfohlen. Es existieren Systeme mit Direktabsaugung und mit Sammelbeutel oder integriertem Puffervolumen. Die Leistung einer Narkosegasabsaugung soll nach Angaben der Gerätehersteller bei Systemen ohne Sammelbeutel für Überschußgase 40-60 l/min. betragen. Bei Systemen mit integriertem Puffervolumen ist eine Mindestleistung von 25 l/min. nicht ausreichend (Lex et al. 1991). Bei einer Leistung von weniger als 30 l/min. sinkt die Effektivität der Narkosegasabsaugung, eingestelltes Minuten- und Hubvolumen der Beatmung haben hingegen kaum einen Einfluß auf die Effektivität einer Narkosegasabsaugung (Wetterhahn et al. 1986). Eine optische Funktionskontrolle und Anzeige der Absaugrate würde eine sinnvolle Verbesserung von Narkosegasabsaugungen darstellen (Bohne-Matusall und Rasmussen 1991b; Gilly 1993).

Eine **Raumlüftungsanlage** sollte vorhanden sein, um die mittlere Raumkonzentration zu senken. Die Angaben zur empfohlenen Mindestleistung liegen zumeist höher als der in Hamburg vorgeschriebene 5-6 fache Luftwechsel pro Stunde. Es ist zu bedenken, daß Raumlüftungsanlagen bisher primär die Keimzahl im Operationsgebiet reduzieren sollen. In Räumen, die für Operationen am Körperstamm und den Extremitäten konzipiert sind, kann der Anästhesiearbeitsplatz deshalb schlecht belüftet sein. Aber auch weitere Faktoren sind zu beachten, durch die Zonen niedriger oder hoher Konzentration der Inhalationsanästhetika entstehen können: Gespannte OP-Tücher, Ausrichtung des OP-Tisches (Höder 1994), Luftströmung (Piziali et al. 1976), offenstehende Türen (Male 1978), Nähe zu Leckageorten (Pothmann 1993) etc. Dies kann mittels Infrarot-Kamera auch visualisiert werden (Carlsson et al. 1981). Die

Leistungsprüfung einer Raumlüftungsanlage sollte deshalb unter (simulierten) OP-Bedingungen vorgenommen werden. Es wäre sinnvoll, die deckseitigen Öffnungen der Raumlüftungsanlagen so zu plazieren, daß eine Klimatisierung des Anästhesiearbeitsplatzes sichergestellt ist, soweit dies den Erfordernissen keimarmen Operierens nicht entgegensteht. Für Neuplanungen wird dies auch vom AfA Hamburg gefordert (AfA Hamburg 1997). Raumlüftungsanlagen mit einem hohen Anteil rezirkulierender Raumluft können nicht empfohlen werden (Schulte am Esch 1993; Wegner et al. 1990), da sie zu einer permanenten Arbeitsplatzbelastung durch Inhalationsanästhetika durch die Zuluft führen.

Zur Überwachung von Leckagen im gesamten N<sub>2</sub>O-Hochdrucksystem würde sich ein in der zentralen Stickoxydul-Versorgung montiertes **Flußmeter** eignen. Nach Beendigung aller Narkosen dürfte dort dann kein Fluß von N<sub>2</sub>O abzulesen sein.

Die Narkosegeräte sollten vorgeschriebene Mindeststandards bezüglich Dichtigkeit einhalten. Obwohl dies für die Geräte an sich, auch für ältere Geräte, die in Alltagsgebrauch waren, exemplarisch nachgewiesen wurde (Leuenberger et al. 1992), ist festzustellen, daß durch den täglichen Aufbau erhebliche Leckagen, z.B. im Bereich der CO<sub>2</sub>-Absorber, vorliegen können (Pothmann et al. 1991; Rajhans et al. 1989). Deshalb sollten regelmäßig **Dichtigkeitstests** vor Inbetriebnahme durchgeführt werden. Die Befüllung von Vaporen ist eine weitere mögliche Kontaminationsquelle und sollte mittels Sicherheitsbefüllsystem und unter dem Abzug erfolgen (Bohne-Matusall und Rasmussen 1991b; Carlsson et al. 1981).

Die Belastung durch Inhalationsanästhetika für das Personal steigt, je nach Art des Atemwegzugangs, in der Reihenfolge Intubation - Larynxmaske - Maske. Hier können hinsichtlich der **Narkosedurchführung** einige Regeln beachtet werden: Die Applikation der Inhalationsanästhetika sollte erst nach dem Blocken des Tubus erfolgen und vor dem endotrachealen Absaugen und der Extubation sollte eine gewisse Zeit mit 100% Sauerstoff beatmet werden (Lauven und Stoeckel 1982). Mit Einsatz der Larynxmaske, bei einem Beatmungsdruck von 30 cm H<sub>2</sub>O, läßt sich der Wert von 50 ppm für N<sub>2</sub>O in 78% der Fälle einhalten (Füllekrug et al. 1993), unter Spontanatmung ergeben sich Werte, die einer Intubationsnarkose vergleichbar sein können (Pothmann und Füllekrug 1994; Sarma und Leman 1990). Bei Kindernarkosen sollte anstatt einer

Maskeneinleitung eine iv-Einleitung mit vorher applizierter lokalanästhetisierender Salbe erwogen werden (Wood et al. 1992).

Es ist offensichtlich, daß in einigen Bereichen die geltenden Grenzwerte nicht immer eingehalten werden können. Hier sind eine erhöhte Arbeitsplatzbelastung durch Bronchoskopien mit dem starren Bronchoskop (Schweres und Hagemann 1988; Sörensen und Thomsen 1987) und in der Pädiatrie durch Maskeneinleitungen, Maskennarkosen und ungeblockte Tuben (Becker 1981; Pothmann et al. 1991; Schweres und Hagemann 1988; Sonander et al. 1985; Wood et al. 1992) zu nennen. Entsprechend dem Raumzonenkonzept werden hier die Werte für das Personal, welches diesen Leckagequellen am nächsten ist, höher liegen. Dies betrifft in erster Linie Anästhesistinnen und Anästhesisten, aber auch die Operateure und Operateurinnen in Fachgebieten, wo in unmittelbarer Leckagenähe gearbeitet wird wie in der Augen-, ZMK- und HNO-Heilkunde. In diesen Fällen können lokale Absaugungen eine signifikante Reduktion der Arbeitsplatzbelastung ergeben (Sonander et al. 1985). Es wurden seit den 80er Jahren v.a. in Skandinavien verschiedene Methoden entwickelt, darunter z.B. die absaugende Doppelmaske und andere, die von Pothmann beschrieben wurden (Pothmann 1993; Pothmann und Drüge 1995). Für Arbeitsplätze, an denen bestimmte Narkoseformen und Operationstechniken zum Einsatz kommen, ist die Installation **lokaler Absaugsysteme** in Hamburg vorgeschrieben (AfA Hamburg 1997).

Unabhängig von den bisher genannten Möglichkeiten sollten **Low- und Minimal-Flow Techniken** genutzt werden, um die Belastung der Umwelt durch Inhalationsanästhetika zu reduzieren (Baum 1992). Denn die Narkosegasabsaugung entläßt die Inhalationsanästhetika ins Freie. Die Umweltbelastung kann also durch Narkosen mit niedrigem N<sub>2</sub>O-Flow und -Verbrauch reduziert werden. Außerdem führen diese Techniken zu einer stärkeren Beachtung der Dichtigkeit der Narkosegeräte. Diese Techniken wären mit den meisten der in der Bundesrepublik routinemäßig genutzten Narkosegeräte machbar (Baum und Schneider 1983). Dies trifft im Gegensatz hierzu für die Closed-circuit-Anästhesie nicht zu, die zur Zeit im klinischen Betrieb nur mit einem neueren Narkosegerät möglich ist (Rolly und Versichelen 1992).

Es sollten regelmäßig **Fortbildungen** für betroffenes Personal stattfinden, um für das Thema Arbeitsplatzbelastung durch Inhalationsanästhetika zu sensibilisieren. Für diesen

Zweck wurden als didaktische Methoden bereits die Verwendung von Infrarot-Kameras (Allander et al. 1981) und die Produktion von Videos vorgeschlagen (Kole 1992). Auch die Mitteilung der Ergebnisse von Messungen an die Adresse der Anästhesistinnen und Anästhesisten, sowie ein Online-Monitoring von N<sub>2</sub>O hätte in diesem Sinne evtl. einen positiven Effekt (Gilly 1993; Whitcher und Siukola 1979) und könnte eine objektive Selbstkontrolle der eigenen Technik und Achtsamkeit darstellen. Auf Online-Monitoring wird unter 5.6.3 näher eingegangen. Die Wichtigkeit dieser Maßnahmen als zweite Komponente neben guten baulich-technischen Voraussetzungen wurde durch die Ergebnisse dieser Untersuchung betont.

Schlußendlich ist ein **partieller Verzicht auf Inhalationsanästhetika** unter vermehrtem Einsatz von Leitungsanästhesien und TIVA-Narkosen immer wieder zu erwägen. Ein genereller Verzicht erscheint jedoch bis heute mangels Alternativen nicht denkbar. Mit kurzwirksamen Sedativa und Analgetika stehen zwar mehrere intravenös applizierbare Medikamente zur Verfügung, sie können die Inhalationsanästhetika u.a. aufgrund ihrer schlechteren Steuerbarkeit jedoch nicht völlig ersetzen. Die heutzutage geringe Komplikationsrate in der Anästhesie wird u.a. auf die Pharmakokinetik der halogenierten Inhalationsanästhetika zurückgeführt (Hagemann 1993). Für die Inhalationsanästhetika sprechen auch die relativ gute Steuerbarkeit der Hämodynamik und das Fehlen einer postoperativen Atemdepression.

Das seltene Edelgas **Xenon** wäre zukünftig im Rahmen einer Minimal-Flow Anästhesie oder Closed-circuit Anästhesie evtl. eine denkbare Alternative zu N<sub>2</sub>O, da es nach dem heutigen Stand des Wissens nicht toxisch ist und sogar eine höhere analgetische Potenz besitzt (Lachmann et al. 1990; Luttrupp et al. 1991).

## **5.6 Kontrollstrategien**

### **5.6.1 Kritik der bisherigen Messungen in Hamburg**

Betreffs der in Hamburg im Zeitraum 1987-1995 durchgeführten Messungen der Arbeitsplatzbelastung durch Inhalationsanästhetika stellt sich die Frage der Qualität der Messungen. Die Beantwortung dieser Frage ist von Bedeutung für die Interpretation der Meßergebnisse und die Diskussion über Kontrollstrategien. Aus diesem Grunde werden hier Überlegungen und einige Kritikpunkte an den bisherigen Narkosegasmessungen in

Hamburger Krankenhäusern dargestellt, die sich bei der Auswertung des Materials ergeben haben.

Die Arbeitsbereichsanalysen und Kontrollmessungen müssen von den einzelnen Krankenhäusern als Unternehmer finanziert werden. Insbesondere im Rahmen der sogenannten Kostendämpfungsgesetze haben die Krankenhäuser ein Interesse daran, verschiedene Kostenfaktoren zu minimieren. Hier kann auch hinsichtlich des Gesundheitsschutzes des Personals ein Konflikt bestehen. Denn je höher das vorangehende Meßergebnis war, desto eher muß erneut gemessen werden. Es müßten also niedrige Meßergebnisse erzielt werden, damit der nach den TRGS festgelegte Zeitraum bis zur nächsten Kontrollmessung verlängert würde. Messungen der Arbeitsplatzbelastung durch Inhalationsanästhetika können durch verschiedene Möglichkeiten manipuliert werden: Eine OP-Plan-Gestaltung, die Narkosen, welche vermeintlich eine hohe Arbeitsplatzbelastung verursachen, vermeidet; erfahrene Anästhesistinnen und Anästhesisten für Maskeneinleitungen und Maskennarkosen einzuteilen; Hinweis auf und Durchführung von Dichtigkeitstests der Narkosegeräte am Morgen des Meßtages, die sonst vielleicht unterbleiben würden etc. Diese Maßnahmen zur Reduktion der Arbeitsplatzbelastung wurden evtl. nur für die Meßtage, nicht aber im sonstigen Alltag wahrgenommen. Hinweise auf Manipulationen von Messungen gab es, da in Einzelfällen eine niedrigere N<sub>2</sub>O-Konzentration als üblich angewendet wurde, die nicht erklärlich war und in weiteren Fällen während TIVA- und Leitungsanästhesien gemessen wurde. Es ist darüberhinaus zu bedenken, daß die einzelne Anästhesistin oder der einzelne Anästhesist sich der Messungen bewußt ist, und deshalb bemüht sein wird keine hohen Konzentrationen von Inhalationsanästhetika im OP-Raum zu verursachen (Sonander et al. 1985). Schon deshalb ist also Vorsicht geboten, derartige Messungen der Arbeitsplatzbelastung durch Inhalationsanästhetika als typisch für Routinebedingungen zu deklarieren.

Die TRGS 402 schreibt für die Arbeitsbereichsanalyse verschiedene Schritte vor, die den eigentlichen Messungen voranzugehen haben (siehe Abb.1 auf S.10). Deren Einhaltung durch die bisher erfolgten Messungen in Hamburg soll hier überprüft werden. Der erste Schritt besteht in der **Erfassung aller Gefahrstoffe**, die im Arbeitsbereich verwendet werden. Dies wurde für die Inhalationsanästhetika eingehalten, weitere Gefahrstoffe aber wurden meist nicht mit aufgeführt.

Beim zweiten Schritt handelt es sich um die **Beschaffung des Grundwissens**, womit u.a. eine Beschreibung der Tätigkeiten, Anlagenart, Verfahrensweise, Druck, Schutzeinrichtungen, Emissionsorte, Aufenthaltsdauer und Lüftungseinrichtungen gemeint sind. Diese Erfordernisse wurden von den Meßstellen häufig nicht erfüllt. Es sollen hier einige Beispiele genannt werden: Angaben zur Narkosegasabsaugung und Raumlüftung wurden in vielen Fällen nicht gemacht, obwohl bereits seit den 70er Jahren die Wichtigkeit einer Narkosegasabsaugung (Davenport et al. 1980, Gardner 1989, Gilly 1993, Gilly et al. 1991, Lauven und Stoeckel 1982) und einer Raumlüftungsanlage (Bernier 1978b, Fancourt-Smith et al. 1993, Korn et al. 1992, Mehta et al. 1975, Wegner et al. 1990) für die Höhe der Arbeitsplatzbelastung durch Inhalationsanästhetika wiederholt belegt wurde. Da spätestens seit den 80er Jahren eine Narkosegasabsaugung und Raumlüftungsanlage als Standard empfohlen wird, kann angenommen werden, daß das Vorhandensein von beidem als selbstverständlich vorausgesetzt wurde. Tatsächlich war aber nicht in jedem Fall beides vorhanden und es stellt einen eklatanten Mangel eines Meßberichts dar, wenn Angaben zu diesen beiden wichtigen Faktoren fehlen. Nach Vorgabe des *Merkblatts für den Umgang mit Narkosegasen* des AfA Hamburg von 1991 sollten vollständige Angaben zu diesen Faktoren gemacht werden. Für diese Auswertung mußten allerdings in 22 Krankenhäusern Angaben zu diesen zwei Faktoren nachgefragt werden, jedoch war von vier Krankenhäusern trotz wiederholter Nachfrage keine Antwort zu erhalten. Für ein Krankenhaus wurden 1990 und 1992 von den Meßstellen sich widersprechende Angaben gemacht: Während eine Meßstelle 1990 angab, es wären eine Narkosegasabsaugung und Raumlüftungsanlage vorhanden, war dem Bericht einer anderen Meßstelle 1992 zu entnehmen, daß weder eine Narkosegasabsaugung noch eine Raumlüftungsanlage vorhanden gewesen wären. Außer einer Angabe zu den Schutz- und Lüftungseinrichtungen fehlten häufig auch Angaben zu Anteilen bestimmter Tätigkeiten und der Aufenthaltsdauer von Personalgruppen in diesen mit Inhalationsanästhetika belasteten Arbeitsbereichen.

Im Schritt 3 geht es um die **Beschaffung der Vorinformation**, womit Expositionsmessungen, sonstige Messungen, vergleichbare Anlagen oder Tätigkeiten und Berechnungen gemeint sind. Auf diese Möglichkeiten wurde selten zurückgegriffen. Vielmehr wurde z.T. vorschnell gemessen, ohne aber über fundiertes Wissen zu dem Thema *Messungen der Arbeitsplatzbelastung durch Inhalationsanästhetika* zu verfügen. Dies wird durch die nachfolgende Kritik belegt.

Im vierten Schritt der Arbeitsbereichsanalyse geht es um die **Festlegung des Meßverfahrens** für die Kontrollmessungen. Da in dieser Untersuchung Messungen im Rahmen der Arbeitsbereichsanalyse, ebenso wie Kontrollmessungen ausgewertet wurden, sollen sich die folgenden kritischen Bemerkungen auf die Messungen und deren Befundung im allgemeinen beziehen.

Die Meßstrategien, die angewandt wurden, sind sehr unterschiedlich. Häufig wurden weder Luftwechsel- und Leckagemessungen, noch eine Überprüfung der Leistung der Narkosegasabsaugung durchgeführt. Es ist fraglich, ob die Übernahme der theoretischen Leistung einer Raumlüftungsanlage ausreichend ist. Die theoretischen Angaben und tatsächlichen Leistungen können sich signifikant unterscheiden (Male 1978). Auch eine Messung der Grundbelastung durch  $N_2O$  am Morgen vor OP-Beginn unterblieb häufig. Die Meßverfahren 1, 2 und 3 wurden durcheinander personen- und ortsbezogen eingesetzt. Die Sammelzeiten der Diffusionssammler variierten im gesamten Material zwischen fünf und 3344 Minuten. Es ist dabei zu berücksichtigen, daß z.B. für den *Lachgas-Diffusionssammler* von Dräger bei einer erwarteten Konzentration von 50 ppm eine Probenahmezeit zwischen 30 Minuten und acht Stunden empfohlen wird. Wenn bei Meßzeiten von mehr als acht Stunden der Diffusionssammler über Nacht offen liegen gelassen wird, kann Stickoxydul durch Wasserdampf verdrängt werden, was zu einem Minderbefund führt. Der Meßort und die Meßperson wurden z.T. während des Meßvorgangs gewechselt, z.B. wurde in einem Krankenhaus 1992 während der Einleitungsphase stationär am Anästhesiearbeitsplatz, während der Operation dann aber personenbezogen der Operateur gemessen. Bemerkungen, die in den Meßberichten z.T. auftauchten, waren, daß zu Demonstrationszwecken patientennah am Tubus gemessen worden wäre, oder eine Leckagesuche mit dem Meßfühler während der Messung durchgeführt worden wäre. Messungen, die in dieser Art und Weise vorgenommen wurden, können nicht repräsentativ sein, wie es in der TRGS 402 gefordert wird.

Es wurden nur in 20,4% der Fälle ganze Narkosen mit einer Messung erfaßt. In 15,4% der Fälle handelte es sich um Teilerfassungen und in 34,3% der Fälle um ein Meßergebnis, welches sich auf zwei oder mehr Narkosen bezog (Mischerfassung). In 29,9% war aus den Meßberichten keine derartige Einordnung möglich. Mit Teil- und Mischerfassungen ist es zwar möglich, ein repräsentatives Meßergebnis für einen bestimmten Meßzeitraum zu erhalten und damit auf die Höhe der durchschnittlichen

Exposition zu schließen. Einzelne Einflußfaktoren auf die Höhe der Arbeitsplatzbelastung durch Inhalationsanästhetika gewichten und Vorhersagen treffen zu wollen ist jedoch, genau genommen, nur durch Meßergebnisse, mit denen ganze Narkosen erfasst werden, möglich. Aber auch die Aussage repräsentative Meßergebnisse erhalten zu haben, wie die TRGS es fordert, wäre nur dann möglich, wenn genaue Angaben über weitere Einflußfaktoren auf die Höhe der Arbeitsplatzbelastung durch Inhalationsanästhetika gemacht würden. Dies war aber nicht der Fall, es wurden nicht immer Angaben bspw. zu Anteilen verschiedener Anästhesietechniken, zu den Räumen, zum Ort der Operation, zum Patientenalter etc. gemacht. Nach Anhang 1 zu der TRGS 402 ist Voraussetzung für die Beurteilung von Meßergebnissen, daß Expositionsbedingungen sich langfristig wenig ändern, d.h. die Art und Weise wie eine Tätigkeit ausgeführt wird, und die Häufigkeit eines bestimmten Arbeitvorgangs, sich von Schicht zu Schicht wenig ändern. Das würde bei evtl. unterschiedlich häufigem Einsatz von unerfahrenen Anästhesistinnen und Anästhesisten bei Maskennarkosen nicht zutreffen, erforderte also eine Erörterung im Meßbericht, die dort aber nicht immer zu finden war.

Die Repräsentativität der Meßergebnisse war also nicht immer zu beurteilen, bzw. war nicht immer gegeben. Es wurden somit z.T. die TRGS 402 und die Hamburger Vorschriften nicht erfüllt, die eine repräsentative Aussage durch Erfassung aller in dem Arbeitsbereich üblichen Operationsarten und Narkosetechniken fordern (AfA Hamburg 1997). Gleiches wurde sinngemäß auch im *Merkblatt für den Umgang mit Narkosegasen* in der Fassung von 1991 gefordert.

Hinsichtlich der Häufigkeit der in Hamburg erfolgten Messungen ist festzustellen, daß sie sich zwischen den einzelnen Krankenhäusern unterscheidet. Von neun Krankenhäusern lagen für den Zeitraum 1987-1994 nur Meßergebnisse aus einem einzigen Jahr vor. Bei diesen Krankenhäusern handelte es sich ausschließlich um private und gemeinnützige Krankenhäuser. Es ist allerdings möglich, daß häufiger gemessen wurde und dies dem AfA Hamburg nicht mitgeteilt wurde. In einigen anderen Krankenhäusern wurde fast jährlich gemessen. Es ist insofern festzustellen, daß die gesetzlichen Fristen einer Kontrollmessung, die längstens 64 Wochen betragen kann, in vielen Fällen von den Krankenhäusern nicht eingehalten wurden. Jedoch ist auch zu berücksichtigen, daß das AfA Hamburg bei Überschreitung von Richtwerten aufgrund

technischer Mängel von den Krankenhäusern entsprechende bauliche Verbesserungen einforderte, anstatt sie zu wiederholten Messungen zu drängen.

Aufgrund ungenügender Angaben und der unterschiedlichen Meßstrategien, sowie der zu Anfang dieses Abschnitts angestellten Überlegungen, ist es somit fraglich, ob diese Meßergebnisse vergleichbar und repräsentativ sind. Das AfA Hamburg arbeitet inzwischen daran, Anforderungen an innerbetriebliche Meßstellen genauer zu fassen. Es ist das Ziel, für die Zukunft die Durchführung qualitativ guter und repräsentativer Messungen der Arbeitsplatzbelastung durch Inhalationsanästhetika zu erreichen (siehe auch Abb.1). Durch die „*Richtlinien für die Akkreditierung von außerbetrieblichen Meßstellen*“ sind bereits geeignete Vorschriften formuliert.

Es bleibt zusammenfassend festzustellen, daß unbeschadet der Erfolge der Messungen in Hamburg ihre Vollständigkeit, Qualität und Repräsentativität in mancherlei Hinsicht fragwürdig war und auch nicht in jeder Hinsicht den Erfordernissen der TRGS und Vorschriften in Hamburg entsprachen. Die dargestellte Kritik relativiert die unter 4. präsentierten Ergebnisse und die unter 5.2 bis 5.4 geführte Diskussion. Eine Verallgemeinerung dieser Ergebnisse ist nur unter Vorbehalt dieser hier angestellten Überlegungen und diskutierten Kritikpunkte denkbar.

### **5.6.2 Ausstieg aus den Kontrollmessungen**

Um die Exposition des Personals gegenüber Inhalationsanästhetika niedrig zu halten, werden zur Zeit in Hamburg regelmäßig Kontrollmessungen durchgeführt. Diese Kontrollstrategie wurde auch anderenorts in den letzten Jahren bekräftigt (Gilly et al.1991, Gray 1989, Kole 1992, Rajhans et al. 1989, Tran et al. 1994), wobei die Vorschläge sich in Ausmaß und Zeitabstand unterscheiden. Die Effektivität dieser Kontrollmessungen im Sinne einer Senkung der Belastung wurde postuliert (Bohne-Matusall und Rasmussen 1991a), doch sind die unter 5.6.1 geäußerten Kritikpunkte und Einschränkungen zu bedenken, weil sie z.T. auch für andere Länder gelten könnten.

Nach der TRGS 402 kann auf Kontrollmessungen verzichtet werden, wenn die dauerhaft sichere Einhaltung der Grenzwerte auch für die Zukunft sichergestellt ist. Diese Situation soll z.B. gegeben sein, wenn Meßwerte ermittelt wurden, die weit unter dem Grenzwert liegen. Dies würde aber auch Messungen erfordern, die den

Anforderungen der TRGS an Arbeitsbereichsanalysen und Kontrollmessungen in jeder Hinsicht entsprechen. Das trifft auf die Messungen in Hamburg in mancherlei Hinsicht nicht zu, wie unter 5.6.1 dargestellt wurde. Hinzuzufügen ist die Feststellung des AfA Hamburg im *Merkblatt für den Umgang mit Narkosegasen*, daß der Befund „dauerhaft sichere Einhaltung von Luftgrenzwerten“ in der Regel nicht erhoben werden könne (AfA Hamburg 1997).

Es wurde trotzdem versucht Modelle zu entwerfen, die gewisse Vorhersagen bezüglich der Höhe der Arbeitsplatzbelastung durch Inhalationsanästhetika erlauben (Male 1978). In zwei Publikationen, die auf demselben Datenmaterial beruhen, wurde der Versuch gemacht, derartige Formeln zu überprüfen (Borm et al. 1990, Kant et al. 1990). Abgesehen von der nicht ausreichenden Überprüfung, ist ein praktischer Nutzen dieser Modelle aber fraglich: Sie fußen auf zwei Grundannahmen, wovon die eine im besten Fall für den OP-Pfleger oder die OP-Schwester gilt, und die andere in der Praxis eben nicht konstant und berechenbar ist. Die erstere besteht in der Voraussetzung einer hundertprozentigen Durchmischung der Raumlufte im OP-Raum. Hier räumen die Autoren selbst ein, daß dies erstens nicht adhoc geschehe, sondern es etwas Zeit bräuche, bis sich dieses Gleichgewicht einstelle, und zweitens diese Annahme höchstens für das zirkulierende OP-Personal zuträfe. Die zweite Voraussetzung ist die Bekanntheit der Größe der Leckagen, d.h. der Kontaminationsquellen. Doch es wäre gerade von Interesse, diese Größe vorhersagen zu können, da sie in der Praxis stark variieren kann. Der praktische Nutzen dieses Modells besteht also darin, den Effekt einer Raumlüftungsanlage, also einen Teil der „baulichen Sicherheit“ hinsichtlich der Arbeitsplatzbelastung durch Inhalationsanästhetika, abschätzen zu können.

Ein Verzicht auf eine meßtechnische Überwachung im OP-Bereich ist (bei ausgeschlossenen technischen Leckagen) nur denkbar, wenn Narkosen ohne Inhalationsanästhetika durchgeführt werden. Denn es handelt sich bei Anästhesien nicht um stabile technische Anlagen, sondern um Tätigkeiten, wo der menschliche Faktor eine große Rolle spielt. Insofern sollte eine sinnvolle meßtechnische Überwachung gewährleistet werden. Kontrollmessungen der Arbeitsplatzbelastung durch Inhalationsanästhetika können hier einen Beitrag leisten. Mit qualitativ guten Meßergebnissen unter festgehaltenen oder definierten Bedingungen wären eine Gewichtung einzelner Einflußfaktoren auf die Höhe der Arbeitsplatzbelastung durch Inhalationsanästhetika und gewisse Vorhersagen evtl. auch besser machbar. Das war mit

dem vorliegenden Datenmaterial nur begrenzt möglich. Es kann insofern trotz der in dieser Untersuchung durchschnittlich niedrigen Arbeitsplatzbelastung durch Inhalationsanästhetika nicht auf eine dauerhaft sichere Einhaltung von Grenzwerten im Alltag geschlossen werden. Wenn Vorhersagen bis zu einem gewissen Grade überhaupt machbar sind, erforderte es dafür vielmehr weitere Studien, in denen die vielen möglichen Einflußfaktoren auf die Höhe der Arbeitsplatzbelastung durch Inhalationsanästhetika akkurat protokolliert würden. Ein Entwurf für einen Erfassungsbogen für die Messung der Arbeitsplatzbelastung durch Inhalationsanästhetika findet sich im Anhang unter 7.2.

### **5.6.3 Online-Monitoring**

Mit der Einführung von Narkosegasabsaugungen und Raumlüftungsanlagen war in den 70er Jahren die Hoffnung verbunden, die Exposition gegenüber Inhalationsanästhetika auf Null reduzieren zu können (Berner 1978a). Diese Hoffnung erfüllte sich nicht. Es stellte sich heraus, daß durch Leckagen immer eine Belastung des Arbeitsplatzes erfolgen kann und in bestimmten Bereichen durch die Form der Narkose auch mit einer höheren Belastung zu rechnen ist.

Kontrollmessungen können zur meßtechnischen Überwachung der Arbeitsplatzbelastung durch Inhalationsanästhetika einen Beitrag leisten. Sie können jedoch mögliche Schwierigkeiten z.B. während Maskeneinleitungen und Maskennarkosen bei Kindern und Kleinkindern, sowie unvermittelt auftretende Leckagen im Hoch- und Niederdrucksystem (Berner 1973, Rajhans et al. 1989) nicht engmaschig erfassen. Dies gilt auch für die Kommentare, die häufig aus den hier ausgewerteten Meßberichten ersichtlich waren, und die darauf hindeuten, daß auch durch weitere Faktoren (iatrogene Leckagen), wie sie z.B. von Pothmann et al. beschrieben worden sind, Emissionen erfolgen: Unerfahrene Anästhesistinnen und Anästhesisten, beim endotrachealen Absaugen, wenn vergessen wird die Narkosegasabsaugung anzuschließen etc. (Pothmann et al. 1991). Die häufig vorhandenen Ausreißer und Extremwerte in dieser Untersuchung stützen diese These. Es sollen hier beispielhaft einige Kontaminationsquellen, die aus den Meßberichten ersichtlich waren, sinngemäß wiedergegeben werden:

- Diskonnektion des Patienten beim Umlagern

- Atembeutel abgefallen
- Narkosegasabsaugung defekt
- es wurde vergessen die Narkosegasabsaugung anzuschließen
- Volumeter wurde gewechselt
- Verdampfer wurde gewechselt
- es wurde vergessen die Inhalationsanästhetika nach Narkoseende ganz abzustellen
- Schwierigkeiten im Umgang mit der Atemmaske
- Kind wehrte sich bei Narkoseeinleitung, akzeptierte Maske nicht
- Maske war undicht
- Leckage am Y-Stück
- MedicVent-Absaugung wurde ausgestellt, bevor die Inhalationsanästhetika abgestellt wurden
- Halothan wurde nachgefüllt
- defekte Maske mußte während der Operation erneuert werden
- Drehung des OP-Tisches (Diskonnektion)

Gemeinsam ist all diesen Quellen, daß sie nicht vorhersagbar sind. Es ist also kaum möglich diese Situationen durch das grobe Raster der Kontrollmessungen zu erfassen. Insofern erscheint der Vorschlag für ein Online-Monitoring von Inhalationsanästhetika folgerichtig, wie er in den letzten Jahren gemacht wurde (Gilly 1993, Gilly et al. 1991). Für ein ortsfestes Dauermonitoring käme der Anästhesiearbeitsplatz als Ort in Frage, der die höchsten Belastungen durch Inhalationsanästhetika aufweist. N<sub>2</sub>O würde sich als zu erfassendes Inhalationsanästhetikum anbieten, da es rein rechnerisch den Grenzwert eher überschreiten wird als die halogenierten Inhalationsanästhetika (Sonander et al. 1985). Ein Online-Monitoring böte den Vorteil eines permanenten Lerneffekts. Die Anästhesistin oder der Anästhesist würden parallel zu einer anästhesiologischen Tätigkeit die Arbeitsplatzbelastung durch Stickoxydul ablesen können und würden so gegebenenfalls sofort auf mangelnde Sorgfalt aufmerksam gemacht. Sollte eine erhöhte Belastung nicht auf ein bestimmtes Anästhesieverfahren oder Mängel im Handling zurückzuführen sein, würde dies auf eingetretene Leckagen im Hoch- oder Niederdrucksystem hinweisen, wodurch diese schnell behoben werden könnten.

Die TRGS 402 ließe ein solches Dauermonitoring anstatt Kontrollmessungen zu, formuliert allerdings folgende Bedingung: Bei Erreichen des MAK-Wertes muß ein Voralarm ausgelöst werden und zusätzlich muß ein Hauptalarm existieren, dessen Höhe

frei wählbar wäre. Bei Erreichen des Hauptalarms müssen die Beschäftigten den Arbeitsbereich verlassen und dürfen ihn während derselben Schicht nicht mehr betreten.

Diese Vorschrift wäre im OP-Bereich selbstverständlich nicht umsetzbar. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt kann diese Kontrollstrategie die Kontrollmessungen also ergänzen, aber nicht ersetzen, denn das müßte mit der zuständigen Behörde abgesprachen, bzw. durch sie genehmigt werden.

## 5.7 Problematik der Grenzwerte

In diesem Abschnitt sollen einige Fragen aufgeworfen werden, anhand derer die Legitimität eines Grenzwertkonzeptes überprüft wird.

Die behördliche Festlegung von Grenzwerten für schädliche Stoffe am Arbeitsplatz gehört seit den 50er Jahren fest zum Repertoire des Arbeitsschutzes. Das Grenzwertkonzept entstand aber schon im vorigen Jahrhundert zur Zeit der sich entwickelnden Industriegesellschaft und sollte einen Ausgleich divergierender Interessen des Schutzes der menschlichen Gesundheit einerseits und der Industrie nach ungestörter Entwicklung andererseits darstellen. Im Laufe dieser gesellschaftlichen Auseinandersetzung geriet der Gesundheitsschutz in die Defensive und die gewerblichen Interessen setzten sich vermehrt durch (Milles 1988). Bis heute obliegt die Beweislast für eine schädigende Wirkung von bestimmten Substanzen eher der Seite des Gesundheitsschutzes als der Industrie oder dem Gewerbe.

In der Diskussion um MAK-Werte wird zumeist von der Annahme ausgegangen, daß Schwellenkonzentrationen für Schadstoffe existieren, bei deren Unterschreitung keine Wirkung auf den Menschen festzustellen sei. Diese Betrachtungsweise ist problematisch, weil, biologisch gesehen, schon bei der Interaktion zwischen einem Molekül und einem Organismus von Wirkung gesprochen werden kann. Diese umfassende Sichtweise wird selten rezipiert. So wird in der Toxikologie z.T. vernachlässigt, daß *bestimmte* Wirkungen mit *bestimmten* Methoden in einer *bestimmten* Zeit untersucht werden. Es ist jedoch anzunehmen, daß in der Zukunft mit anderen und erweiterten Methoden die Nachweisgrenzen verschoben werden und damit Effekte meßbar werden, die heute nicht erfassbar erscheinen. Es ist auch denkbar, daß bei der

Untersuchung und Messung von Effekten eine Wirkung schlichtweg übersehen oder vernachlässigt wird und dies erst später erkannt wird. Demnach sollte nicht von einer Wirkungslosigkeit oder einem *no-effect-level* (NEL) gesprochen werden, sondern jeweils nur von einem „*no-observed-adverse-effect-level*“ (NOAEL) (Grimme et al. 1988).

Für mutagene und kanzerogene Wirkungen kann kein Schwellenwert angenommen werden, für allergische Reaktionen besteht nicht einmal eine Dosis-Wirkungs-Beziehung. D.h. MAK-Werte für Schadstoffe, bei denen diese Wirkungen festgestellt wurden, würden einer Grundlage entbehren. Deshalb existieren für kanzerogene Substanzen *Technische Richtkonzentrationen*, bei deren Einhaltung das Risiko einer Beeinträchtigung der Gesundheit der Beschäftigten vermindert, aber nicht ausgeschlossen ist. Für Inhalationsanästhetika sind mutagene und kanzerogene Wirkungen zwar sehr unwahrscheinlich, aber nicht ganz sicher auszuschließen. Allergische Reaktionen auf halogenierte Inhalationsanästhetika sind bekannt (Hagemann 1993).

MAK-Werte werden in der Regel aufgefaßt als wissenschaftlich bewiesene Schwellenkonzentrationen. Es gibt jedoch zwei Einwände, aufgrund derer nur eingeschränkt von Wissenschaftlichkeit gesprochen werden kann:

- MAK-Werte gelten für gesunde Personen. Dabei bleiben vorgeschädigtes Personal, sowie ältere und empfindlichere Personen, unberücksichtigt (Huber 1993). Auch bei der Übertragung einer Schwellenkonzentration aus dem Tierversuch auf den Menschen besteht Unsicherheit. Um dieses Problem zu lösen, wurden Sicherheitsfaktoren eingeführt, um deren Betrag die im Tierversuch ermittelte Schwellenkonzentration vermindert wird. Es kann beispielsweise ein Sicherheitsfaktor gleich 100 gesetzt werden, unter der Vermutung, daß der Mensch zehnmal empfindlicher als eine Tierspezies reagieren kann und um durch einen weiteren Faktor von zehn Unterschiede zwischen Gruppen von Menschen aufzufangen. Obwohl in den letzten Jahrzehnten sicherlich viel Erfahrung im Umgang mit diesen Sicherheitsfaktoren dazugewonnen wurde, beinhaltet dieses Vorgehen ein gewisses Maß an Willkürlichkeit. Auch die Tatsache, daß Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen Angaben zu Schwellenkonzentrationen machen, die sich z.T. um mehrere Größenordnungen voneinander unterscheiden, unterstreicht dies.

- Grenzwerte werden für einzelne Schadstoffe festgelegt. Um der Tatsache Rechnung zu tragen, daß im Arbeitsalltag eine Exposition gegenüber einem Gemisch von Schadstoffen und weiteren schädigenden Faktoren besteht, hat der Ausschuß für Gefahrstoffe, vor allem auf Druck der Gewerkschaften, eine Regelung zur Grenzwertfindung bei Vorliegen eben solcher Gemische getroffen (Beyersmann 1988): Die Summe aus den Quotienten der einzelnen Schadstoffkonzentrationen und dem jeweils korrespondierenden Grenzwert darf nicht größer als eins sein. Diese Regelung erfolgte nicht aufgrund wissenschaftlicher Untersuchungen über Auswirkungen von Stoffgemischen, sondern weil es eines pragmatischen Bewertungskonzeptes bedurfte. Gedanklich liegt dem gewählten Vorgehen die *Annahme* einer additiven Wirkung der Schadstoffe zugrunde. Eine Toxizität durch mögliche Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Substanzen ist damit nicht ausgeschlossen. Dies gilt auch für Inhalationsanästhetika, die am Arbeitsplatz zusammen mit anderen schädigenden Substanzen wie Desinfektionsmitteln etc. auf die Beschäftigten einwirken. Weitere Faktoren neben den Schadstoffen werden mit dieser Regelung nicht einmal berücksichtigt.

Diese die Grenzwerte begleitenden Unsicherheiten und Unwägbarkeiten vergrößern den Spielraum für die Beeinflussung der Höhe von Grenzwerten durch politische und wirtschaftliche Interessen. Dies wird bereits deutlich an der unterschiedlichen Höhe von Grenzwerten in verschiedenen Ländern (Huber 1993). Ebenso ist bemerkenswert, daß Substanzen von großer ökonomischer Bedeutung zumeist höhere Grenzwerte als in diesem Sinne weniger bedeutsame Schadstoffe erhalten (Beyersmann 1988).

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß Grenzwerte berechtigterweise kritisiert werden. Ungeachtet dessen ist die Ansicht, daß bei Einhaltung von MAK-Werten keine schädlichen Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit zu befürchten sind, weitverbreitet. Die hier aufgeworfenen Fragen machen aber die Grenzen dieser Sichtweise deutlich. Demnach kann nicht von allgemeingültigen und verlässlichen Schwellenkonzentrationen ausgegangen werden, die auch künftig von Bestand sein werden.

Dennoch sind Grenzwerte ein Instrument im Gesundheitsschutz der Beschäftigten, mit dem Belastungen durch Schadstoffe reduziert werden können. Man sollte sich aber der

Geschichte, des Charakters und der Funktion von Grenzwerten bewußt sein, die auch in Beruhigung und Befriedung politischer Konflikte gesehen werden muß. Vom Standpunkt des Gesundheitsschutzes aus sollten Grenzwerte und deren Höhe als vorläufige Regelung betrachtet und entsprechend dem Stand der Technik gesenkt werden. Dabei dürfen Grenzwerte als pragmatischer Handlungsrahmen die Diskussion über langfristige Lösungen, die auch Vermeidungsstrategien beinhalten, nicht behindern.

## **5.8 Multifaktorielle Belastung des Personals im OP**

Mit Grenzwerten wird hauptsächlich die Möglichkeit körperlicher, und begrenzt auch psychischer, Schäden betrachtet (Müller 1988). Da die Gesamtheit von sozialem, psychischem und körperlichem Wohlbefinden nicht miteinbezogen wird, stellt die alleinige Berücksichtigung des Grenzwertekonzepts einen reduzierten Gesundheitsbegriff dar. Die Exposition gegenüber Inhalationsanästhetika muß also eingeordnet werden in eine multifaktorielle Belastungsstruktur. Die Betrachtung sollte sowohl um andere Belastungsfaktoren, als auch um positive Gestaltungsmöglichkeiten für Arbeit, erweitert werden, wie sie z.B. für räumliche, Licht- und Klimaverhältnisse definiert sind. Nur so wird eine angemessene Bewertung der Arbeitsplatzbelastung durch Inhalationsanästhetika möglich sein.

Zum einen sind in diesem Zusammenhang der multifaktoriellen Belastung andere potentielle Gefahrstoffe wichtig, wie sie vielerorts erwähnt wurden (Korn und Geisel 1991; Lauven und Stoeckel 1982; Winter et al. 1987). Die Belastung durch einige dieser Schadstoffe wie Ethylenoxid und Dämpfe von Knochenzement, sowie radioaktive Strahlung, scheint aber, was das OP-Personal betrifft, sehr gering zu sein (Sass-Kortsak 1992).

Zum anderen sind weitere Einflüsse zu nennen wie Bereitschafts- und Nachtdienste (Pröll und Streich 1984), sowie Infektionsgefährdung, psychische Stressfaktoren und Tätigkeiten mit Nothilfecharakter (Peretzki-Leid 1988). Eine differenzierte Darstellung der multifaktoriellen Belastungsstruktur des Arbeitsplatzes Anästhesie beinhaltet die Arbeitsaufgabe, die Arbeitsorganisation, die Arbeitsplatzgestaltung und die Arbeitsumgebung. Um diese Struktur durchschaubarer zu machen, wird die Parallelerfassung von Exposition gegenüber Inhalationsanästhetika, offener Befragung

und Befundung von Beschwerden, biologischem und neurophysiologischem Monitoring vorgeschlagen (Hagemann und Winter 1994). Bei Hagemann und Winter bleiben allerdings wichtige Belastungsfaktoren wie Angst vor Verlust des Arbeitsplatzes, Leistungsdruck (Müller 1988), Hierarchie und mangelnder sozialer Kontakt untereinander (Bittersohl 1993) unberücksichtigt, Faktoren, deren Ausmaß gar nicht abzuschätzen ist.

Um eine Reduzierung der Belastung zu erreichen, sind Korrekturen im Bereich der Arbeitsplatzgestaltung und Arbeitsumgebung möglich (Hagemann und Winter 1994). Dazu gehört eine weitere Reduzierung der Belastung durch Inhalationsanästhetika. Jedoch ist die humanere Gestaltung der Arbeitsorganisation und Personalplanung durch entsprechende Verbesserungen sicher noch wichtiger. Ebenso müssen berufliche Benachteiligungen, sowie wirtschaftliche und soziale Nachteile durch eine Elternschaft vor allem für Frauen, aber auch für Männer, verhindert werden. Eine ausreichende Finanzierung, die zur Zeit nicht bereitgestellt wird, und ein Umdenken, vor allem der Männer, sind gefordert (Peretzki-Leid 1988). Einen Gesundheitsschutz in diesem umfassenderen Sinne, der rein wirtschaftlichen Gründen nicht untergeordnet werden darf, fordert auch die Rahmenrichtlinie (89/391/EWG) *„Sicherheit und Gesundheitsschutz der Arbeitnehmer bei der Arbeit“* (Seeger 1995). Die sich stellende Frage, ob die Verwirklichung dieser Ansprüche nicht grundlegende gesellschaftliche Umwälzungen erfordert, muß an anderer Stelle beantwortet werden.

## 6. Zusammenfassung

Es wurden retrospektiv die Messungen der Arbeitsplatzbelastung durch Inhalationsanästhetika in 41 Hamburger Krankenhäusern von 1987-1995 ausgewertet. Die Messungen wurden von Meßstellen, die durch die Krankenhäuser beauftragt waren, in verschiedenen Funktionsräumen und Fachgebieten durchgeführt. Mittels direktanzeigender Infrarot-Spektroskopie und aktiver, sowie passiver Probenahme von N<sub>2</sub>O auf Molekularsieb, und der halogenierten Inhalationsanästhetika Halothan, Enfluran und Isofluran auf Aktivkohle, wurde personenbezogen und stationär gemessen.

Die rechtlichen Grundlagen - die *Gefahrstoffverordnung* und die *Technischen Regeln für Gefahrstoffe* - wurden zusammengefaßt wiedergegeben.

In der Gesamtbetrachtung bewegten sich die Lage- und Dispersionsmaße der Inhalationsanästhetika auf sehr niedrigem Niveau, wenngleich Ausreißer und Extremwerte häufig vorhanden waren. Der in Hamburg angewandte Beurteilungswert von 50 ppm für N<sub>2</sub>O wurde von 13%, der nationale Grenzwert (100 ppm) von 7,4% aller N<sub>2</sub>O-Meßwerte überschritten. Den MAK-Wert von 5 ppm für Halothan überschritten 9% aller Werte. Die in Hamburg angewandten Beurteilungswerte von jeweils 10 ppm für Enfluran und Isofluran wurden bei Enfluran von 1,8% und bei Isofluran von 0,6% aller Werte überschritten.

Bei der Untersuchung einzelner Faktoren für die Höhe der Belastung durch Inhalationsanästhetika stellten sich eine fehlende Narkosegasabsaugung, eine fehlende Raumlüftungsanlage, Leckagen, Maskeneinleitungen, Maskennarkosen, sowie Kinder- und Kleinkindernarkosen als Risikofaktoren für eine signifikant erhöhte Arbeitsplatzbelastung heraus.

Eine chronische Toxizität der Inhalationsanästhetika in subnarkotischen Konzentrationen durch karzinogene und reproduktionstoxische Wirkungen kann nicht ausgeschlossen werden. Die Sichtweise von Grenzwerten als wissenschaftlich bewiesenen Schwellenkonzentrationen ist problematisch, da z.B. eine Exposition gegenüber einem Gemisch von Schadstoffen und dadurch mögliche Wechselwirkungen ungenügend berücksichtigt werden. Dennoch sind Grenzwerte ein Instrument im Gesundheitsschutz der Beschäftigten, mit dem Belastungen durch Schadstoffe reduziert

werden können. Um dies zu erreichen, sind einerseits technische Maßnahmen (leistungsfähige Raumlüftungsanlagen und Narkosegasabsaugungen, regelmäßige Gerätewartung und lokale Absaugsysteme), und andererseits eine achtsame Arbeitsweise der Anästhesistinnen und Anästhesisten (incl. Dichtigkeitstests) notwendig.

Die Erfolge der Messungen der Arbeitsplatzbelastung durch Inhalationsanästhetika in Hamburg sind darin zu sehen, daß in einzelnen Krankenhäusern nach vorgenommenen Messungen Raumlüftungsanlagen und Narkosegasabsaugungen eingebaut wurden, und daß z.T. lokale Absaugsysteme, wie die Doppelmaske, eingesetzt wurden.

Die bisherige meßtechnische Überwachung ist aber gleichzeitig zu kritisieren, da die gesetzlichen Anforderungen, die u.a. durch die Technischen Regeln für Gefahrstoffe formuliert sind, z.T. nicht eingehalten wurden. Dazu gehört, daß die gesetzlich vorgeschriebene Arbeitsbereichsanalyse von den Meßstellen z.T. nur mangelhaft durchgeführt wurde, da Einflußfaktoren auf die Höhe der Belastung, wie z.B. Anteile und Häufigkeiten bestimmter Anästhesieverfahren, sowie Vorhandensein und Leistung einer Raumlüftungsanlage und Narkosegasabsaugung, nicht immer erfaßt wurden. Auch aufgrund unterschiedlicher Meßstrategien (unterschiedliche Meßzeiten und nur z.T. Erfassung kompletter Anästhesien/Operationen) war die Vergleichbarkeit und Repräsentativität der Meßergebnisse fraglich. Durch die bisherige meßtechnische Überwachung erfolgte also keine systematische Erfassung. Es wurde deshalb dargelegt, was bei Messungen der Arbeitsplatzbelastung durch Inhalationsanästhetika beachtet und protokolliert werden sollte. Desweiteren wurde ein Online-Monitoring von Stickoxydul als eine sinnvolle Kontrollstrategie vorgeschlagen, welche die Kontrollmessungen ergänzen kann. Auch das *Merkblatt für den Umgang mit Narkosegasen* des Amtes für Arbeitsschutz Hamburg gibt in diesem Zusammenhang wertvolle Hinweise.

Die alleinige Berücksichtigung des Grenzwertekonzepts trägt zu einer reduzierten Betrachtungsweise der Problematik bei. Die Arbeitsplatzbelastung durch Inhalationsanästhetika muß deshalb in eine multifaktorielle Belastungsstruktur eingeordnet werden. Ein Gesundheitsschutz in einem umfassenden Sinne ist erforderlich.

## 7. Anhang

### 7.1 Merkblatt für den Umgang mit Narkosegasen des Amtes für Arbeitsschutz Hamburg

Das *Merkblatt für den Umgang mit Narkosegasen* des AfA Hamburg wurde erstmals 1991 herausgegeben. Seit 1997 liegt die dritte überarbeitete und erweiterte Auflage vor, deren Inhalt hier kurz wiedergegeben wird, soweit dieser die *GefStoffV* und die *TRGS* spezifiziert. Die Gültigkeit des Merkblatts erstreckt sich auf alle Bereiche, in denen mit Inhalationsanästhetika gearbeitet wird. Es ist das Ziel des Merkblatts die Einhaltung von Grenzwerten gemäß den TRGS 900, TRGS 402 und TRGS 403 zu gewährleisten.

Unter 3. werden Richtwerte für Hamburg angegeben, die bereits unter 2.3 dieser Arbeit dargelegt wurden. Nachdem unter 4. *Begriffsbestimmungen* vorgenommen wurden, die hier vorausgesetzt werden, geht es unter 5. um *Sicherheitstechnische Maßnahmen und ihre Überwachung*. Druckgaszentralen und Aufstellräume für Druckgasflaschen müssen ausreichend belüftet sein, die Dichtigkeit der Druckgasflaschen muß nach jedem Flaschenwechsel überprüft werden. Das Hochdruckleitungssystem für N<sub>2</sub>O muß jährlich einem Dichtigkeitstest unterzogen werden, die alleinige Kontrolle der Geräteanschlußdosen genügt dabei nicht. Wandbuchsen für N<sub>2</sub>O-Anschlüsse müssen jährlich auf Dichtigkeit überprüft werden, die Hochdruckteile der Narkosegeräte hingegen halbjährlich. Niederdrucksysteme müssen vor jeder Narkose auf Dichtigkeit kontrolliert werden, wobei eine Leckage größer 100 ml/min. nicht belassen werden darf. Bei neuen Geräten ist die technisch erreichbare minimale Leckage einzuhalten. Narkosegasabsaugungen ohne Puffersysteme müssen mindestens eine Absaugleistung von 40-60 l/min. erbringen, die mindestens halbjährlich überprüft werden muß. Dies ist zu dokumentieren. Gase von Nebenstrommeßgeräten müssen in die Narkosegasabsaugung geleitet oder in das Kreissystem zurückgeführt werden.

Bei bestimmten Narkoseformen (Säuglingsnarkosen mit dem Kuhn-System, Maskeneinleitungen, Maskennarkosen, Narkosen mit cufflosen oder ungeblockten Tuben, Narkosen mit *high frequency jet ventilation* und Einsatz des starren Bronchoskops unter Verwendung von Inhalationsanästhetika) müssen die Grenzwerte durch zusätzliche lokale Absaugsysteme eingehalten werden.

Technische Messungen, d.h. Grundpegelmessungen von N<sub>2</sub>O und Leckageprüfungen des Hoch- und Niederdrucksystems des Narkosegerätes, sind einmal jährlich oder vor jeder Kontrollmessung durchzuführen.

Punkt 6. schreibt einen mindestens 5-6 fachen Luftwechsel/Stunde in allen Räumen vor, in denen Narkosen mit Inhalationsanästhetika durchgeführt werden. Unter Verweis auf die DIN 1946, Teil 4, muß in Aufwächerräumen mindestens ein Luftwechsel/Stunde von 10-12 gegeben sein. Falls Raumlüftungsanlagen mit einem Anteil rezirkulierender Raumluft betrieben werden, muß der Umluftanteil so gewählt werden, daß Grenzwerte und Indices sicher eingehalten werden. Bei Neuplanungen muß eine wirksame Belüftung des Anästhesiearbeitsplatzes mitbedacht werden.

Punkt 7. regelt die *meßtechnische Überwachung*. Hier wird zunächst festgestellt, daß die Messung von N<sub>2</sub>O als Leitkomponente bei den der Arbeitsbereichsanalyse nachfolgenden Kontrollmessungen ausreichend ist. Der Befund *dauerhaft sichere Einhaltung von Luftgrenzwerten* kann in OP-Räumen in der Regel nicht erhoben werden, es sei denn, es handelt sich um Aufwächerräume oder Intubationsnarkosen bei Erwachsenen. Der Meßaufwand darf verringert werden, indem statt zufälliger, gezielte Messungen in Bereichen und während Narkoseformen vorgenommen werden, die erwartungsgemäß am höchsten belastet sind. Die Einhaltung von Kurzzeitgrenzwerten ist vor allem während Narkosen mit vermutlich höherer Kontamination zu gewährleisten.

Mittels aktiver Probenahme aller Inhalationsanästhetika (und weiterer Gefahrstoffe) als Standard müssen personenbezogen die Anästhesistin oder der Anästhesist, sowie eine Person des OP-Personals gemessen werden. Chirurgisches ärztliches Personal muß in die Messungen dann miteinbezogen werden, wenn es sich um Fachgebiete handelt, wo in Nähe zu Leckageorten der Inhalationsanästhetika operiert wird (z.B. HNO-Heilkunde). Die Expositionsmessungen sollen so durchgeführt werden, daß alle üblichen Operationsarten und Narkosetechniken erfasst werden. D.h., es ist unter Umständen über mehrere Tage zu messen, damit eine repräsentative Aussage möglich ist.

Um den Befund *dauerhaft sichere Einhaltung von Luftgrenzwerten* erheben zu können, wird eine ausreichende Anzahl von repräsentativen Meßergebnissen mit einem Bewertungsindex <25% gefordert. Darüberhinaus müssen die Bedingungen, die zu diesem Befund geführt haben, regelmäßig überprüft werden:

- ständige Wirksamkeit der Narkosegasabsaugung und lokaler Absaugsysteme
- Dichtigkeit des Hoch- und Niederdrucksystems
- überprüfetes Handling der Anästhesistin oder des Anästhesisten

Für die dauerhaft sichere Einhaltung von Luftgrenzwerten in Aufwächrräumen gelten spezielle Bedingungen. Es muß gemäß TRGS 420 ein verfahrens- und stoffspezifisches Kriterium erstellt werden.

Eine kontinuierliche Dauerüberwachung der Kontamination durch Inhalationsanästhetika wird vom AfA Hamburg in der Form empfohlen, daß Grenzwertüberschreitungen durch optische Signale angezeigt werden sollten. Durch diese Form der Überwachung würden Leckagen ggf. sofort entdeckt und der einzelne Anästhesist und die einzelne Anästhesistin könnte ihr Handling überprüfen. Es wird ausdrücklich darauf hingewiesen, daß es sich hier nicht um eine Dauerüberwachung im Sinne des Anhangs 2 zur TRGS 402 handelt, da deren gestellte Bedingungen im OP-Bereich nicht erfüllt werden können.

Unter 9. werden *Beschäftigungsbeschränkungen* ausgesprochen: Wenn während Intubationsnarkosen und in Aufwächrräumen die Einhaltung der Grenzwerte sichergestellt ist, dürfen Schwangere dort arbeiten, sie dürfen jedoch nicht in Räumen beschäftigt werden, in denen Halothan verwendet wird, oder in der Raumluft vorhanden ist.

## 7.2 Erfassungsbogen für die Messung der Arbeitsplatzbelastung durch Inhalationsanästhetika

### 1. Allgemeines/Technische Voraussetzungen

Datum:

Krankenhaus:

Raum: Poliklinik: ja 0 nein 0

Einleitung: ja 0 nein 0

OP: ja 0 nein 0

Ausleitung: ja 0 nein 0

Aufwachraum: ja 0 nein 0

Belegung des Aufwachraumes:

Dauer des Aufenthalts der Patientinnen und Patienten: \_\_\_\_\_min.

Entfernung vom OP: \_\_\_\_\_min.

Operatives Fach:

Raumgröße: \_\_\_\_\_m<sup>3</sup>

Raumlufttechnische Anlage: ja 0 nein 0

Eingestellte Stufe:

Zusätzliche Anlage: ja 0 nein 0

Luftwechsel: \_\_\_\_\_/Stunde

Rezirkulierende Raumluft: ja 0 nein 0

Anteil: \_\_\_\_\_%

Luftströmung: laminar 0 turbulent 0

Strömungshindernisse:

Leckagen: Hochdrucksystem (Wandsteckdose bis Reduzierventil im Narkosegerät):  
\_\_\_\_\_ml/min.

Niederdrucksystem (Beatmungssystem und patientennahes Kreissystem):  
\_\_\_\_\_ml/min.

Iatrogene Leckage: ja 0 nein 0

Dauer: \_\_\_\_\_min.

N<sub>2</sub>O-Grundpegel: \_\_\_\_\_ppm

Wann gemessen:

Narkosegasabsaugung: ja 0 nein 0

Leistung: \_\_\_\_\_l/min.

Sammelbeutel: ja 0 nein 0

Narkosegasfilter: ja 0 nein 0

Lokale Narkosegasabsaugung: ja 0 nein 0

Welcher Art:

Ort der Vapornachfüllung:

Abzug: ja 0 nein 0

Narkosegerät:

Baujahr:

Aufbauten/Verbesserungen:

Letzte Wartung:

Dichtigkeitstest am Morgen: ja 0 nein 0

## **2. Anästhesiedaten**

Anästhesistin/Anästhesist:

Prämedikation:

Narkosesystem:

Balancierte Anästhesie: ja 0 nein 0

Gasnarkose: ja 0 nein 0

TIVA: ja 0 nein 0

Regionalanästhesie: ja 0 nein 0

Verschiedene Techniken während einer Narkose: ja 0 nein 0

Intravenöse Einleitung: ja 0 nein 0

Maskeneinleitung: ja 0 nein 0

Art des Atemwegzugangs: Maskennarkose: ja 0 nein 0

Maskengröße:

Larynxmaske: ja 0 nein 0

Maskengröße:

Intubation: ja 0 nein 0

Tubusgröße:

Cuff ungeblockt: ja 0 nein 0

Inhalationsanästhetika: Stickoxydul: \_\_\_\_\_% N<sub>2</sub>O-Flow: \_\_\_\_\_l/min.

Halogeniertes Inhalationsanästhetikum:

**3. Patientendaten**

Alter:

Geschlecht:

Besonderheiten, die eine dichte Haltung der Maske erschweren: ja 0 nein 0

Welcher Art:

Ort der Operation: Kopf: ja 0 nein 0

Hals: ja 0 nein 0

Körperstamm: Thorax: ja 0 nein 0

Abdomen: ja 0 nein 0

Rücken: ja 0 nein 0

Extremitäten: Arm: ja 0 nein 0

Bein: ja 0 nein 0

Patientenlagerung:

**4. Meßdaten**

Meßzeit: \_\_\_\_\_min.

Meßverfahren: IR-spektroskopisch: ja 0 nein 0

Aktive Probenahme: ja 0 nein 0

Passive Probenahme: ja 0 nein 0

Verwendetes Meßgerät:

Nachweis-, Bestimmungsgrenze und Meßfehler:

Temperatur: \_\_\_\_\_°C; Luftfeuchte: \_\_\_\_\_%rel.; Luftdruck: \_\_\_\_\_hPa

Gemessene Person:

Aufenthaltsdauer in Anästhesiebereichen: \_\_\_\_\_Stunden/Woche

Meßort:

Messung durchführende Meßstelle:

Analytische Bestimmung durch:

Meßergebnisse: N<sub>2</sub>O: \_\_\_\_\_ppm

Halogeniertes Inhalationsanästhetikum: \_\_\_\_\_: \_\_\_\_\_ppm

**5. Bemerkungen**

## 8. Literaturverzeichnis

Allander C, Carlsson P, Hallen B, Ljungquist B, Norlander O (1981) Thermocamera, a macroscopic method for the study of pollution with nitrous oxide in operating theatres. *Acta Anaesthesiol. Scand.* 25: 21-24

American Society of Anesthesiologists (1974) Report of an adhoc committee on the effect of trace anesthetics on the health of operating room personnel. Occupational disease among operating room personnel: a national study. *Anesthesiology* 41 (4): 321-340

Axelsson G, Rylander R (1982) Exposure to anaesthetic gases and spontaneous abortion: Response bias in a postal questionnaire study. *Int. J. Epidem.* 11 (3): 250-256

Amt für Arbeitsschutz Hamburg (1997) Merkblatt für den Umgang mit Narkosegasen. Freie und Hansestadt Hamburg. Behörde für Arbeit, Gesundheit und Soziales.

Baden JM, Rice SA (1994) Metabolism and toxicity. In: Miller RD (ed) Anesthesia, fourth edition, volume 1. *Churchill Livingstone*, New York Edinburgh London Madrid Melbourne Milan Tokyo: 157-183

Baum J, Schneider U (1983) Die Brauchbarkeit verschiedener Narkosebeatmungsgeräte für die Minimal-Flow-Anästhesie. *Anästh. Intensivmed.* 24: 263-269

Baum J (1992) Ein Plädoyer für die Niedrigflußnarkose. Bemerkungen zur Arbeit von H. Gilly et al. Narkosegasbelastung im OP - ein ungelöstes Problem? *Anaesthesist* 41 (8): 503-505

Becker MJ (1981) The effect of an airway leak on nitrous oxide contamination of the operating room. *Anesthesiology Suppl.* 55 (3): A 335

Bentin S, Collins GI, Adam N (1978) Decision-making behaviour during inhalation of subanaesthetic concentrations of Enflurane. *Br. J. Anaesth.* 50: 1173-1178

Berner O (1973) Anaesthetic apparatus leakages. A possible pollution source. *Acta Anaesth. Scand.* 17: 1-7

Berner O (1978a) Concentration and elimination of anaesthetic gases in operation theatres. Influence of anaesthesia apparatus leakages. *Acta Anaesthesiol. Scand.* 22: 46-54

Berner O (1978b) Concentration and elimination of anaesthetic gases in recovery rooms. *Acta Anaesthesiol. Scand.* 22: 55-57

Beyersmann D (1988) Zum Verhältnis von Wissenschaft und Politik bei der Grenzwertsetzung für Arbeitsstoffe. In: Kortenkamp A, Grahl B, Grimme LH (Hrsg.) *Die Grenzenlosigkeit der Grenzwerte*. Müller, Karlsruhe: 149-158

Bittersohl G (1993) Zur Risikobeurteilung reproduktionstoxischer Wirkungen von Halothan und Lachgas. In: Schweres M (Hrsg.) Probleme der Exposition von Operationsteams durch Narkosegase. *IADM-Mitteilungen 11*, 2. Auflage, IADM-Verlag, Duisburg-Rheinhausen: 33-60

Bohne-Matusall R, Rasmussen HU (1991a) Narkosegase im Griff? Senkung der Exposition nach regelmäßigen Kontrollmessungen. *Krankenhaustechnik* 17 (1): 41-42

Bohne-Matusall R, Rasmussen HU (1991b) Narkosegase in Krankenhäusern, Belastungen, Maßnahmen. *Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz*, Wirtschaftsverlag NW, Bremerhaven

Borm PJA, Kant I, Houben G, Rijssen-Moll MV, Henderson PT (1990) Monitoring of nitrous oxide in operating rooms: Identification of sources and estimation of occupational exposure. *Journal of occupational medicine* 32 (11): 1112-1116

Bruce DL, Bach MJ (1976) Effects of trace anaesthetic gases on behavioural performance of volunteers. *Br. J. Anaesth.* 48: 871-876

Bruce DL, Eide KA, Linde HW, Eckenhoff JE (1968) Causes of death among anesthesiologists: A 20-year survey. *Anesthesiology* 29: 565-569

- Buring JE, Hennekens CH, Mayrent SL, Rosner B, Greenberg ER, Colton T (1985) Health experiences of operating room personnel. *Anesthesiology* 62: 325-330
- Carlsson P, Ljungqvist B, Allander C, Hallen B, Norlander O (1981) Thermocamera studies of enflurane and halothane vapours. *Acta Anaesthesiol. Scand.* 25: 315-318
- Cohen EN (1980) Anesthetic exposure in the workplace. *P.S.G. Publishing Company*, Littleton, Massachusetts
- Cohen EN, Brown BW, Wu ML, Whitcher CE, Brodsky JB, Gift HC, Greenfield W, Jones TW, Driscoll EJ (1980) Occupational disease in dentistry and chronic exposure to trace anesthetic gases. *J. Am. Dent. Assoc.* 101: 21-31
- Davenport HT, Halsey MJ, Wardley-Smith B, Bateman PE (1980) Occupational exposure to anaesthetics in 20 hospitals. *Anaesthesia* 35: 354-359
- Deitenbeck D (1994) Narkosegasmessungen in Hamburg. In: Behörde für Arbeit, Gesundheit und Soziales der Freien und Hansestadt Hamburg (Hrsg.) *Arbeits- und Gesundheitsschutz im Krankenhaus. Edition Temmen*, Bremen: 93-98
- Drüge G, Pothmann W (1995) Undichtigkeit von Narkosegeräten trotz Dichtigkeit beim Leckagetest. *Anaesthesist* 44 (Suppl. 2): S 341
- Fancourt-Smith PF, Kapnoudhis P, Brand SC (1993) Exposure to N<sub>2</sub>O (letter, comment), *Can. J. Anaesth.* 40 (4): 396-397
- Ferstandig LL (1978) Trace concentrations of anesthetic gases: a critical review of their disease potential. *Anesth. Analg.* 57: 328-345
- Füllekrug B, Pothmann W, Werner C, Schulte am Esch J (1993) The laryngeal mask airway: anaesthetic gas leakage and fiberoptic control of positioning. *J. Clin. Anesth.* 5 (5): 357-363

Gardner RJ (1989) Inhalation anaesthetics - exposure and control: A statistical comparison of personal exposures in operating theatres with and without anaesthetic gas scavenging. *Ann. Occup. Hyg.* 33 (2): 159-173

Gilly H (1993) OP-Raumluftkontamination in Wiener Spitälern. *Beitr. Anaesth. Intens. Notfallmed.* 42, Maudrich, Wien München Bern: 101-112

Gilly H, Lex C, Steinbereithner K (1991) Narkosegasbelastung im OP - ein ungelöstes Problem? Ergebnisse eigener Untersuchungen. *Anaesthesist* 40: 629-637

Gray WM (1989) Occupational exposure to nitrous oxide in four hospitals. *Anaesthesia* 44: 511-514

Greim H (Hrsg.) (1994) Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe der Deutschen Forschungsgemeinschaft: Gesundheitsschädliche Arbeitsstoffe. Toxikologisch arbeitsmedizinische Begründung von MAK-Werten (Maximale Arbeitsplatz-Konzentrationen). *VCH Verlagsgesellschaft mbH*, Weinheim

Grimme LH, Altenburger R, Bödeker W, Faust M (1988) Zu den Grenzen des Beitrags von Pharmakologie und Toxikologie bei der Festsetzung von Grenzwerten für chemische Fremdstoffe. In: Kortenkamp A, Grahl B, Grimme LH (Hrsg.) *Die Grenzenlosigkeit der Grenzwerte*. Müller, Karlsruhe: 120-147

Guirguis SS, Pelmeur PL, Roy ML, Wong L (1990) Health effects associated with exposure to anaesthetic gases in Ontario hospital personnel. *Br. J. Ind. Med.* 47 (7): 490-497

Hagemann H (1993) Problematik der MAK-Wert-Betrachtung. In: Schweres M (Hrsg.) Probleme der Exposition von Operationsteams durch Narkosegase. *IADM-Mitteilungen* 11, 2. Auflage, IADM-Verlag, Duisburg-Rheinhausen: 61-74

Hagemann H, Winter CG (1994) Narkosegasbelastungen am Arbeitsplatz Anästhesie, Differenzierungsmöglichkeiten und Belastungsstrukturen. *Anästh. Intensivmed.* 35 (6): 191-197

- Halsey MJ (1991) Occupational health and pollution from anaesthetics. A report of a seminar. *Anaesthesia* 46: 486-488
- Henry RJ, Primosch RE (1991) Influence of operatory size and nitrous oxide concentration upon scavenger effectiveness. *J. Dent. Res.* 70 (9): 1286-1289
- Henschel WF, Lehmann Ch (1975) Schädigungen des Anaesthesie-Personals durch Narkose-Gase und -Dämpfe. Bericht über den Workshop am 26. und 27. April 1974 im Städtischen Krankenhaus München-Neuperlach. *Springer*, Berlin Heidelberg New York
- Hewitt FW (1893) Anaesthetics and their administration. *Charles Griffin and Co.*, London
- Hirsch J, Kappus AL (1929) Über die Mengen des Narkoseäthers in der Luft von Operationssälen. *Z. Hyg. und Infektionskrankheiten* 110: 391-398
- Höder B (1994) Narkosegase - Gefahrstoffe im OP. In: Behörde für Arbeit, Gesundheit und Soziales der Freien und Hansestadt Hamburg (Hrsg.) Arbeits- und Gesundheitsschutz im Krankenhaus. *Edition Temmen*, Bremen: 108-115
- Hoerauf K, Koller Ch, Fröhlich D, Taeger K, Hobbhahn J (1995) Lachgasexposition des Aufwachraumpersonals unter moderner Klimatechnik. *Anaesthesist* 44: 590-594
- Hofmann A, Norporth KH, Bolt HM, Gelbke H-P (1983) MAK-Werte und Schwangerschaft. *Arbeitsmed. Sozialmed. Präventivmed.* 18: 181-185
- Huber E (1993) Gefährdung im OP-Bereich: Rechtliche Aspekte und MAK-Werte. *Beitr. Anaesth. Intens. Notfallmed.* 42, Maudrich, Wien München Bern: 69-76
- Hügin W (1964) Leberschädigung des Anaesthesisten als Berufskrankheit? *Anaesthesist* 13: 317
- Kant IJ, van Rijssen-Moll M, Borm RJA (1990) Simulation of nitrous oxide concentrations in operating and recovery rooms. *Ann. Occup. Hyg.* 34 (6): 575-583

Karmaus W (1985) Dreizehn Fehlerquellen epidemiologischer Studien. Schwierigkeiten beim Nachweis von Gesundheitsrisiken am Arbeitsplatz und in der Umwelt. In: Borgers D (Mitverf.) Umweltmedizin. *Argument-Sonderband 125*, Argument-Verlag, Berlin: 65-87

Karmaus W (1987) Unfruchtbarkeit und Schäden der menschlichen Frucht durch Schadstoffe und andere Risiken am Arbeitsplatz. *WSI-Mitteilungen* 40 (3): 171-178

Kharasch ED, Hankins DC, Thummel KE (1995a) Human kidney methoxyflurane and sevoflurane metabolism: intrarenal fluoride production as a possible mechanism of methoxyflurane nephrotoxicity. *Anesthesiology* 82: 689-699

Kirschner M (1925) Zur Hygiene des Operationssaales. *Zentralblatt für Chirurgie* 39: 2162-2165

Kole TE (1992) Reduce, reuse and recycle in the anesthesia workplace. *J. AANA* 60 (2): 109-112

Korn M, Drysch K, Gfrörer W, Ndhlovu D, Schmahl FW (1992) Narkosegasbelastung in Operationssälen und Aufwächerräumen unter Berücksichtigung von Lachgas. In: Schäcke G, Ruppe K, Vogel-Sühlig Ch (Hrsg.) Arbeitsmedizin für eine gesunde Umwelt. Tagungsband der 31. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Arbeitsmedizin, *Gentner*, Stuttgart: 545-548

Korn M, Geisel B (1991) Die Narkosegasbelastung in Operationssälen und Möglichkeiten für das Umgehungs- und Biomonitoring. *Arbeitsmed. Sozialmed. Präventivmed.* 26: 312-321

Kugel G, Letelier C, Atallah H, Zive M (1989) Chronic low level nitrous oxide exposure and infertility. *J. Dent. Res.* 68, Abstr. 1057: 313

Lachmann B, Armbruster S, Schairer W, Landstra M, Trouwborst A, Van Daal GJ, Kusuma A, Erdmann W (1990) Safety and efficacy of xenon in routine use as an inhalational anaesthetic. *Lancet* I 335: 1413-1415

Lauven PM, Stoeckel H (1982) Raumlufkonzentrationen der Inhalationsanästhetika im Operationssaal. Der Einfluß von Schutzmaßnahmen. *Anästh. Intensivmed.* 23 (1): 1-8

Leuenberger M, Feigenwinter P, Zbinden AM (1992) Gas leakage in eight anaesthesia circle systems. *Eur. J. Anaesthesiol.* 9 (2): 121-127

Lex C, Gilly H, Watzek C (1991) Anaesthetic gas scavenging buffer systems reduce spillage only negligibly. *Acta Anaesth. Scand.* 35, 218, Abstr. P 71

Luttropp HH, Rydgren G, Thomasson R, Werner O (1991) A minimal flow system for xenon anesthesia. *Anesthesiology* 75: 896-902

Male CG (1978) Theatre ventilation. A comparison of design and observed values. *Br. J. Anaesth.* 50: 1257-1263

Marrese RA (1969) A safe method for discharging anesthetic gases. *Anesthesiology* 31: 371-372

Mehta S, Cole WJ, Chari J, Lewin K (1975) Operating room air pollution: Influence of anaesthetic circuit, vapour concentration, gas flow and ventilation. *Canad. Anaesth. Soc. J.* 22 (3): 265-274

Mehta S, Burton P, Simms JS (1978) Monitoring of occupational exposure to nitrous oxide. *Canad. Anaesth. Soc. J.* 25 (5): 419-423

Meier A, Jost M, Rüeeggler M, Knutti R, Schlatter C (1993) Arbeitssicherheit bei Exposition mit Anästhesiegasen in der Schweiz. *Beitr. Anaesth. Intens. Notfallmed.* 42, Maudrich, Wien München Bern: 89-99

Milles D (1988) Grenzen natürlicher Selbstreinigung - Zur Geschichte medizinischer Grenzwertkonzepte. In: Kortenkamp A, Grahl B, Grimme LH (Hrsg.) *Die Grenzenlosigkeit der Grenzwerte.* Müller, Karlsruhe: 197-219

- Müller R (1988) Grenzwerte und ihre konkrete Umsetzung in die betriebsärztliche Praxis. In: Kortenkamp A, Grahl B, Grimme LH (Hrsg.) *Die Grenzenlosigkeit der Grenzwerte*. Müller, Karlsruhe: 159-173
- Peretzki-Leid U (1988) Das Mutterschutzgesetz und seine Auswirkungen in der Anästhesiologie - aus der Sicht der Gewerkschaft ÖTV. *Anästh. Intensivmed.* 29: 218-221
- Perthes G (1925) Schutz der am Operationstisch Beschäftigten vor Schädigung durch die Narkosegase. *Zentralblatt für Chirurgie* 16: 852-854
- Piziali RL, Whitcher C, Sher R, Moffat RJ (1976) Distribution of waste anesthetic gases in the operating room air. *Anesthesiology* 45 (5): 487-494
- Pothmann W (1993) Zur Wirksamkeit lokaler Narkosegasabsaugsysteme. *Beitr. Anaesth. Intens. Notfallmed.* 42, Maudrich, Wien München Bern: 137-146
- Pothmann W, Drüge G (1995) Reduzierung der Narkosegasbelastung durch lokale Narkosegasabsaugung. *Anaesthesist* 44 (Suppl. 1): S96
- Pothmann W, Füllekrug B (1994) Dichtigkeit und Narkosegasbelastung. *Anästhesiol. Intensivmed. Notfallmed. Schmerzther.* 29: 290-292
- Pothmann W, Shimada K, Goerig M, Fuhlrott M, Schulte am Esch J (1991) Fehler und Gefahren. Belastungen des Arbeitsplatzes durch Narkosegase. Ursachen und Prävention. *Anaesthesist* 40: 339-346
- Radke J, Fabian P (1991) Die Ozonschicht und ihre Beeinflussung durch N<sub>2</sub>O und Inhalationsanaesthetika. *Anaesthesist* 40: 429-433
- Rajhans GS, Brown DA, Whaley D, Wong L, Guirguis SS (1989) Hygiene aspects of occupational exposure to waste anaesthetic gases in Ontario hospitals. *Ann. Occup. Hyg.* 33 (1): 27-45

Rolly G, Versichelen L (1992) Modern automatic closed circuit anaesthesia is now possible. *Anesth. Analg.* 74: Abstr. S 254

Rowland AS, Baird DD, Weinberg CR, Shore DL, Shy CM, Wilcox AJ (1992) Reduced fertility among women employed as dental assistants exposed to high levels of nitrous oxide. *N. Engl. J. Med.* 327 (14): 993-997

Sarma VJ, Leman J (1990) Laryngeal mask and anaesthetic waste gas concentrations. *Anaesthesia* 45 (9): 791-792

Sass-Kortsak AM, Purdham JT, Bozek PR, Murphy JH (1992) Exposure of hospital operating room personnel to potentially harmful environmental agents. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 53 (3): 203-209

Saurel-Cubizolles MJ, Estryn-Behar M, Maillard MF, Mugnier N, Masson A, Monod G (1992) Neuropsychological symptoms and occupational exposure to anaesthetics. *Br. J. Ind. Med.* 49: 276-281

Schulte am Esch J (1993) Gefährdung durch Narkosegase - eine kritische Übersicht. *Beitr. Anaesth. Intens. Notfallmed.* 42, Maudrich, Wien München Bern: 11-24

Schweres M, Hagemann H (1988) Belastung und Beanspruchung des Anästhesiepersonals durch Narkosegase. *IADM-Mitteilungen 10*, IADM-Verlag, Duisburg-Rheinhausen

Seeger OW (1995) Sicherheit und Gesundheitsschutz der Arbeitnehmer in der Europäischen Union (EU). *Sicherheitsingenieur* 6: 24-27

Smith G, Shirley AW (1978) A review of the effects of trace concentrations of anaesthetics on performance. *Br. J. Anaesth.* 50: 701-712

Sörensen BH, Thomsen A (1987) Bronchoscopy and nitrous oxide pollution. *Eur. J. Anaesth.* 4: 281-285

Sonander H, Stenqvist O, Nilsson K (1985) Nitrous oxide exposure during routine anaesthetic work. Measurement of biologic exposure from urine samples and technical exposure by bag sampling. *Acta Anaesthesiol. Scand.* 29: 203-208

Stollery BT, Broadbent DE, Lee WR, Keen RI, Healy TEJ, Beatty P (1988) Mood and cognitive functions in anaesthetists working in actively scavenged operating theatres. *Br. J. Anaesth.* 61: 446-455

Tannenbaum TN, Goldberg RJ (1985) Exposure to anesthetic gases and reproductive outcome. A review of the epidemiologic literature. *J. Occup. Med.* 27 (9): 659-668

Tran N, Elias J, Rosenberg T, Wylie D, Gaborieau D, Yassi A (1994) Evaluation of waste anesthetic gases, monitoring strategies, and correlations between nitrous oxide levels and health symptoms. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 55 (1): 36-41

Vaisman AI (1967) Working conditions in surgery and their effect on the health of anaesthesists. *Eksperimental'naiia khirurgiia Anesteziolgiia* 3: 44-49

Vieira E, Cleaton-Jones P, Austin JC, Moyes DG, Shaw R (1980) Effects of low concentrations of nitrous oxide on rat fetuses. *Anesth. Analg.* 59 (3): 175-177

Wegner R, Rincker B, Poschadel B, Szadkowski D (1990) Zur Halothanbelastung von Operationspersonal in Abhängigkeit von raumluftechnischen Bedingungen. *Arbeitsmed. Sozialmed. Präventivmed.* 25 (6): 264-270

Wetterhahn NS, Cleaton-Jones PE, Moyes DG, Fatti LP (1986) Anaesthetic scavenger evaluation in the laboratory. *Eur. J. Anaesthesiol.* 3: 95-102

Whitcher CE, Siukola LVM (1979) Occupational exposure, education and sampling methods. (Abstr.) *Anesthesiology* 51 (3): S 336

Whitcher CE, Cohen EN, Trudell JR (1971) Chronic exposure to anesthetic gases in the operating room. *Anesthesiology* 35 (4): 348-353

Winter CG, Lamprecht E, Hamm G, Heuck U, Apel G, Fritz M, Matthies J (1987) Arbeitstoxikologische Studie zur Einschätzung des expositionellen Risikos des Operationspersonals gegenüber Inhalationsanaesthetika. *Z. gesamte Hyg.* 33 (12): 622-626

Wood C, Ewen A, Goresky G (1992) Exposure of operating room personnel to nitrous oxide during paediatric anaesthesia. *Can. J. Anaesth.* 39 (7): 682-686

## 9. Danksagung

Mein besonderer Dank gilt

Herrn Prof. Dr. med. J. Schulte am Esch, Direktor der Klinik für Anästhesiologie des Universitäts-Krankenhauses Eppendorf in Hamburg, für die freundliche Überlassung des Themas,

Herrn Dr. med. W. Pothmann aus der Klinik für Anästhesiologie des Universitäts-Krankenhauses Eppendorf in Hamburg für die kontinuierliche und gute Betreuung dieser Arbeit,

dem Amt für Arbeitsschutz Hamburg für die Einsichtnahme in das Datenmaterial,

Frau Dr. med. S. Müller-Bagehl, Frau Dr. U. Swida, Herrn Dr. B. Wüstefeld, Herrn H. Reinhold und Herrn M. Diefenbach vom Amt für Arbeitsschutz Hamburg für die freundliche Unterstützung,

Frau L. Hiller aus der Abteilung für Arbeitssicherheit des Universitäts-Krankenhauses Eppendorf in Hamburg für die freundliche Unterstützung,

Herrn J. Mosner, Herrn Mahns und Herrn Glasner, Techniker in der Klinik für Anästhesiologie des Universitäts-Krankenhauses Eppendorf in Hamburg für die freundliche Unterstützung,

Herrn Dr. med. H. Reissmann aus der Klinik für Anästhesiologie des Universitäts-Krankenhauses Eppendorf in Hamburg für die Hilfe bei der Aufarbeitung der Daten für die statistische Auswertung,

Herrn Prof. Dr. Berger, Herrn M. Supplieth und Frau Koch vom Institut für Mathematik und Datenverarbeitung in der Medizin des Universitäts-Krankenhauses Eppendorf für die statistische Beratung und die Hilfe bei der Aufarbeitung der Daten für die statistische Auswertung,

meinen Eltern Marion und Peter Dahm und meinem Onkel Dieter Dahm für die finanzielle Unterstützung,

Almut Gross, Ernst Krefft, Lars Stubbe und meinem Bruder Oliver Dahm für die mentale Unterstützung und die Durchsicht des Skripts.

## 10. Lebenslauf

### Persönliche Daten

Name	Karsten Dahm
Geburtsdatum	8.3.1966
Geburtsort	Hamburg
Eltern	Marion Dahm, geb. Wolf, Bankkauffrau Peter Dahm, Finanzbeamter
Familienstand	ledig

### Schulbildung

1972-1976	Grundschule Speckenreye, Hamburg
1976-1985	Gymnasium St. Georg, Hamburg
1985	Abitur

### Zivildienst

1985-1987	Sozialstation Alsterdorf, Hamburg
-----------	-----------------------------------

### Studium

ab 1987	Studium der Medizin an der Universität Hamburg
1990	Physikum
1992	1. Staatsexamen
seit 1994	Doktorand in der Klinik für Anästhesiologie, Universitäts-Krankenhaus Eppendorf, Hamburg
1995	2. Staatsexamen
1997	3. Staatsexamen

### Famulaturen

1991	Chirurgie, Hafenkrankenhaus Hamburg
1992	Anästhesiologie, Krankenhaus Elim, Hamburg
1993	Innere Medizin, Hospital Universitario, León, Nicaragua
1993	Thorax-, Herz- und Gefäßchirurgie, Universitäts-Krankenhaus Eppendorf, Hamburg

1994 Allgemeinmedizin, Praxis Dr. med. F. Hartmann, H. Többen,  
S. Mangold-Hartmann, Hamburg

### **Praktisches Jahr**

1996-1997 Chirurgie Hospital Universitario San Carlos, Madrid  
Innere Medizin Marienkrankenhaus, Hamburg und Hospital  
Universitario San Carlos, Madrid  
Anästhesiologie Universitäts-Krankenhaus Eppendorf, Hamburg

### **Tätigkeiten während des Studiums**

1989 Studentische Aushilfe, Elisabeth-Altenheim und Freimaurer  
Krankenhaus e.V.  
1989-1990 III. chirurgische Assistenz, Endo-Klinik, Abteilungen Hamburg und  
Wintermoor (Schneverdingen)  
1990-1993 Studentische Sitzwache, Intensivstation der Neurologischen Klinik  
am Universitäts-Krankenhaus Eppendorf, Hamburg  
seit 1991 Honorartätigkeit als Begleiter von kirchlichen Bildungsurlauben für  
Zivildienstleistende zu Gesundheitspolitik und Ethik  
1993-1997 Studentische Sitzwache, Intensivstation der Abteilung für Thorax-,  
Herz- und Gefäßchirurgie am Universitäts-Krankenhaus Eppendorf,  
Hamburg

### **Arzt im Praktikum**

seit 1998 I. Abteilung für Anästhesiologie und operative Intensivmedizin,  
Allgemeines Krankenhaus St. Georg, Hamburg

### **Sprachkenntnisse**

Kleines Latinum  
Englisch und Spanisch fließend in Wort und Schrift

### **Sonstiges**

1983 Ausbildung zum Sanitätshelfer beim Deutschen Roten Kreuz  
1998 Teilnahme am Lehrgang *Arzt im Rettungsdienst* der Akademie für  
*Ärztliche Fortbildung Niedersachsen*

## **11. Erklärung**

Ich versichere ausdrücklich, daß ich die Arbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfaßt, andere als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die aus den benutzten Werken wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen einzeln nach Ausgabe (Auflage und Jahr des Erscheinens), Band und Seite des benutzten Werkes kenntlich gemacht habe, und daß ich die Dissertation bisher nicht einem Fachvertreter an einer anderen Hochschule zur Überprüfung vorgelegt oder mich anderweitig um Zulassung zur Promotion beworben habe.