

J. Baum¹ · K. Züchner² · U. Hölscher³ · B. Sievert¹ · H.-G. Stanke¹ · T. Gruchmann³

J. Rathgeber⁴

¹Krankenhaus St. Elisabeth-Stift Damme · ²Georg-August-Universität Göttingen · ³Fachhochschule Münster, Steinfurt · ⁴Albertinen-Krankenhaus, Hamburg

Klimatisierung von Narkosegasen bei Einsatz unterschiedlicher Patientenschlauchsysteme

Zusammenfassung

Fragestellung. Die Klimatisierung der Narkosegase wird in erheblichem Maß vom Frischgasfluss beeinflusst und ist bei Durchführung von Niedrigflussnarkosen besser als bei hohem Flow. Feuchte und Wärme der Gase werden darüber hinaus aber auch von den Wärmeverlusten und entsprechender Wasserkondensation in den Atemschläuchen beeinflusst, die ihrerseits vom technischen Design und den Materialeigenschaften der Atemschläuche abhängen. Mit dieser prospektiven Studie sollte untersucht werden, 1. inwiefern bei Durchführung von Niedrigflussnarkosen die Klimatisierung der Narkosegase im klinischen Routinebetrieb durch das technische Design der Schlauchsysteme beeinflusst wird. Des weiteren sollte 2. untersucht werden, ob bei Einsatz des Schlauchsystems, mit dem optimale Klimatisierungseffekte erreicht werden, diese sich auch bei Erhöhung der Frischgasflows noch realisieren lassen.

Methodik. Drei unterschiedliche Schlauchsysteme, das konventionelle Doppelschlauchsystem, ein koaxiales Schlauchsystem und ein Doppelschlauchsystem mit beheizten Schläuchen wurden bei der Durchführung von Minimal-flow-Anästhesien mit einem Frischgasfluss von 0,5 l/min an einem Träger Cicero EM Narkosegerät eingesetzt. Die Atemgastemperatur und die absolute Feuchte im Inspirationsschenkel des jeweiligen Schlauchsystems wurden sowohl Atemsystem- als auch tubuskonnektornah gemessen. Die besten Klimatisierungseffekte wurden bei Einsatz der beheizten Schläuche erreicht. Mit diesem Schlauchsystem wurden

deshalb weitere Messungen der inspiratorischen Atemgasfeuchte und -wärme mit Frischgasflows von 1,0, 2,0 und 4,4 l/min durchgeführt. Die Messungen in allen Gruppen erfolgten während der Durchführung von Inhalationsnarkosen von zumindest 45 min Dauer an jeweils acht Arbeitstagen. **Ergebnisse.** Bei der Durchführung von Minimal-flow-Narkosen wurden gleichermaßen während des Ablaufs der Arbeitstage mit allen Schlauchsystemen tubuskonnektornah Feuchtwerte zwischen 17 und 30 mgH₂O/l erreicht. Nur während der ersten Narkosen zu Beginn der Arbeitstage wurde eine kurze zeitliche Verzögerung von 15 bis 30 min bis zum Erreichen einer Feuchte von zumindest 17 mgH₂O/l beobachtet. Bei Einsatz der beheizten Schlauchsysteme wurden gehäuft auch Feuchtwerte über 30 mgH₂O/l gemessen. Die tubuskonnektornah gemessenen Atemgastemperaturen waren bei Einsatz des konventionellen und des koaxialen Schlauchsystems während der Durchführung von Minimal-flow-Narkosen mit Werten zwischen 23 und 30°C in einem akzeptablen Bereich. Bei Einsatz der beheizten Schläuche aber waren die inspiratorischen Atemgastemperaturen mit Werten zwischen 28 bis 32°C deutlich höher und nahezu optimal. Während der Durchführung von Minimal-flow-Narkosen waren somit bei Einsatz beheizter Schlauchsysteme die beste Klimatisierung der Atemgase zu erreichen. Mit diesem Atemsystem wurden deshalb weitere Messreihen mit zunehmenden Frischgasflows von 1,0, 2,0 und 4,4 l/min durchgeführt. Während bei einem Frischgasfluss von 1,0 l/min die Atemgasklimatisierung weiterhin optimal ist, fällt bei weiterer Steigerung

des Frischgasflows auf 2,0 l/min die Feuchte drastisch auf Werte unter 17 mgH₂O/l, bei einem Flow von 4,4 l/min sogar auf Werte um nur 10 mgH₂O/l ab. Dagegen erwiesen sich die Atemgastemperaturen bei Einsatz beheizter Schläuche als weitestgehend flowunabhängig und lagen immer, auch bei einem Flow von 4,4 l/min, um 28–32°C. **Schlussfolgerungen.** Mit konventionellen und koaxialen Schlauchsystemen wird bei der Durchführung von Minimal-flow-Anästhesien eine zwar nicht optimale, aber ausreichende Atemgasklimatisierung erreicht. Der Einsatz koaxialer Systeme scheint im Vergleich zum konventionellen Doppelschlauchsystem nur bei langdauernden Narkosen zu einer weiteren Verbesserung der Klimatisierung zu führen. Während des klinischen Routinebetriebs sind beide Systeme bezüglich der Klimatisierungseffekte als gleichwertig anzusehen. Bei Einsatz beheizter Schläuche ist unter den Bedingungen der Minimal-flow-Anästhesie die Klimatisierung der Atemgase deutlich besser als bei Einsatz konventioneller oder koaxialer Schlauchsysteme. Es werden nicht nur ausreichende, sondern gar optimale Feuchte- und Wärmewerte erreicht. Diese optimale Klimatisierung wird aber nur bei Durchführung von Niedrigflussverfahren realisiert, dann also, wenn der Frischgasflow nicht größer als 1 l/min ist. Bei höheren Frischgasflows nimmt die Feuchte der Atemgase drastisch

Prof. Dr. J. Baum
Abteilung für Anästhesie und Intensivmedizin, Krankenhaus St. Elisabeth-Stift, Lindenstraße 3–7, 49401 Damme
E-Mail: j.baum.damme@t-online.de

ab, während die Atemgastemperaturen hoch bleiben. Es ist anzunehmen, dass die Beatmung mit warmem und trockenem Atemgas zu verstärkter Austrocknung des Atemwegsepithels der unteren Atemwege führt. Beheizte Schläuche sollten deshalb nur bei Durchführung von Niedrigflussnarkosen eingesetzt werden. Während die Feuchte der Atemgase im wesentlichen von der Frischgasflussrate bestimmt wird, hängt die Atemgastemperatur im wesentlichen vom Wärmeverlust am Inspirationsschenkel des Patientenschlauchsystems ab.

Schlüsselwörter

Atemgasklimatisierung ·
Beheizte Patientenschläuche ·
Koaxiales Patientenschlauchsystem ·
Minimal-flow-Anästhesie ·
Niedrigflussnarkosen

J. Baum · K. Züchner · U. Hölscher
B. Sievert · H.-G. Stanke · T. Gruchmann
J. Rathgeber

Climatisation of anaesthetic gases using different breathing hose systems

Abstract

Background. During general anaesthesia gas climate significantly is improved by performance of low flow techniques. Gas climatisation, however, markedly also will be influenced by the temperature loss at, and corresponding water condensation within the hoses, factors which are related to the technical design and material of the patient hose system. The objective of this prospective study was to investigate 1. how anaesthetic gas climatisation during minimal flow anaesthesia is influenced by the technical design of different breathing hose systems in clinical practice. 2. to investigate, whether a sufficient gas climatisation also can be gained with higher fresh gas flows if that hose system is used, proven beforehand to optimally warming and humidifying the anaesthetic gases.

Methods. Three different systems, a conventional two-limb hosing consisting of smooth silicone hoses, a coaxial hosing, and a hosing consisting of actively heated breathing hoses, attached to a Dräger Cicero EM anaesthesia machine, were used during minimal flow anaesthesia with a fresh gas flow of 0.5 l/min. Gas temperature and absolute humidity were measured at the tapered connection between the inspiratory limb and the breathing system as well as at its connection to the endotracheal tube. The best gas climatisation was observed if heated breathing hoses were used. Thus, using this hosing, additionally gas temperature and humidity in the inspiratory limb were taken at fresh gas flow rates of 1.0, 2.0 and 4.4 l/min respectively. Measurements were performed in all groups at all general anaesthetics lasting at least 45 minutes during the lists of eight different days each.

Results. In minimal flow anaesthesia, with all hose systems likewise, generally an absolute humidity between 17 to 30 mgH₂O/l is reached at the endotracheal tube's connector during the course of the list. Only in the first cases of the day there was a short delay of 15 to 30 minutes before reaching a humidity of at least 17 mgH₂O/l. Only with heated hoses, however, humidity frequently even exceeded 30 mgH₂O/l. If conventional or coaxial hosings were used, during minimal

flow anaesthesia gas temperatures in an acceptable range between 23 to 30 °C were measured at the tube connector. With heated hoses, however, warming of the gases was excellent with gas temperatures between 28 to 32 °C. In minimal flow anaesthesia climatisation of the anaesthetic gases proved to be best if heated hoses were used. Thus, using heated hose systems another three trials with increasing fresh gas flow rates of 1.0, 2.0 and 4.4 l/min respectively were performed. Whereas climatisation of the anaesthetic gases still was found to be optimal with a fresh gas flow of 1.0 l/min, the humidity dropped drastically to values lower than 17 mgH₂O/l at 2.0 l/min and even down to 10 mgH₂O/l at a flow rate of 4.4 l/min. Gas temperatures, however, turned out to be independent of the flow and remained at 28–32 °C, even at a flow as high as 4.4 l/min. **Conclusions.** Using conventional hose systems and coaxial hosings acceptable, but not optimal climatisation of the anaesthetic gases can be gained if minimal flow anaesthesia is performed. The use of a coaxial hose system seems to lead to improved climatisation in long lasting procedures only. In routine clinical practice, however, conventional and coaxial hose systems are similar in respect to the climatisation of breathing gases. Heated breathing hoses performed markedly better in terms of climatisation of the breathing gas than the coaxial and the conventional hose system. With this hosing not only sufficient but optimal moisture and temperature values are realized. Optimal climatisation, however, only can be gained if low flow anaesthetic techniques with fresh gas flows equal or less than 1 l/min are performed. With higher fresh gas flow rates the humidity decreases markedly while high gas temperatures are maintained. It seems justified to assume, that ventilation with warm but dry gases may result in increasingly drying out of the respiratory epithelium of the lower air ways. Heated hoses only should be used if low flow anaesthetic techniques are performed. While moisture content of the breathing gases mainly is influenced by the fresh gas flow rate, temperature mainly is depending on the convectional loss of heat at the inspiratory limb of the hosing.

Keywords

Anaesthetic gas climatisation ·
Coaxial hose system ·
Heated breathing hoses ·
Low flow anaesthesia ·
Minimal flow anaesthesia

Die gute Anfeuchtung und Anwärmung der Narkosegase ist einer der anerkannten Vorteile der Narkoseführung mit niedrigem Frischgasfluss [1,3,8,10]. Es ist aber davon auszugehen, dass die Klimatisierung der Atemgase darüber hinaus erheblich vom technischen Design und vom Material des Patientenschlauchsystems beeinflusst wird, beides Faktoren, die letztlich die Wärmeabgabe über die Oberfläche der Schlauchwandung bestimmen. Um den Einfluss des technischen Designs der Atemschläuche auf die Klimatisierung der Narkosegase zu überprüfen, wurden Messungen der Feuchte und der Temperatur an drei unterschiedlichen Patientenschlauchsystemen durchgeführt: einem konventionellen Doppelschlauchsystem, einem koaxialen Schlauchsystem und einem elektrisch beheizten Doppelschlauchsystem. Während der Einsatz der konventionellen Doppelschlauchsysteme in Deutschland die Regel ist, werden in den skandinavischen Ländern zunehmend koaxiale Systeme (Abb. 1) eingesetzt. Beheizte Schläuche hingegen werden erst seit kurzer Zeit und nur für bestimmte Narkosegeräte angeboten. Im Gegensatz zu vielen Arbeiten, die dem Thema der Atemgasklimatisierung gewidmet sind, wurde diese Untersuchung bewusst im klinischen Routinebetrieb durchgeführt. Entsprechend den unbeeinflussten Vorgaben der jeweiligen Operationsprogramme wurden bei allen Inhalationsnarkosen von zumindest 45 min Dauer die Atemgastemperatur und -feuchte im zeitlichen Ablauf des gesamten Programms an jeweils 8 Arbeitstagen gemessen.

Methodik

Narkosegerät und Patientenschlauchsysteme

Alle Messungen wurden an einem Cicero-EM Narkosegerät (Dräger Medizintechnik, Lübeck) durchgeführt, das mit einem beheizten Kompaktatemsystem ausgestattet ist. Es standen drei unterschiedliche Schlauchsysteme zur Verfügung: konventionelle Doppelschlauchsysteme (ISO-Faltenschläuche Silikon, 150 cm, Rüschi, Waiblingen), koaxiale Patientenschlauchsysteme (Koaxial-Schlauchset 150 cm lang, Fa. Beatmungs-Produkte B+P, Neunkirchen-Seelscheid) und beheizte Doppelschlauchsysteme

(Heizbare Schläuche Erwachsene, 150 cm, Dräger Medizintechnik, Lübeck). Die bei dieser Untersuchung eingesetzten beheizten Schläuche sind über eine Schnittstelle elektrisch mit dem Thermostaten verbunden, der die Anwärmung des Kompaktatemsystems des Cicero-Narkosegeräts regelt. Die Atemgastemperatur kann maximal 40°C bei einer Umgebungstemperatur von 35°C betragen, die Oberflächentemperatur der Schläuche wird vom Hersteller mit maximal 40 °C angegeben. Direkt am Y-Stück wurde ein routinemäßig bei jedem Patienten erneuerter Bakterienfilter (Barr-Vent S, Medisize, Fa. Beatmungs-Produkte B+P, Neunkirchen-Seelscheid) eingesetzt, der dann über eine kurze „Gänsegurgel“ (Silikon-Spiralschlauch, 130 mm, Fa. W. Droh, Mainz) mit dem Tubuskonnektor verbunden war. Auf eine korrekte Trennung zwischen dem mit der Messeinrichtung versehenen Patientenschlauchsystem und den Atemwegen des Patienten mittels eines Bakterienfilters konnte aus Gründen der Hygiene nicht verzichtet werden. Ein Austausch von Wärme und Feuchte an diesem Filter war nicht auszuschließen, beeinträchtigt aber nicht die Bewertung der Messergebnisse im Gruppenvergleich.

Messung von Temperatur und Feuchte im Atemsystem

Die Temperatur wurde mit Thermoelementen sehr kurzer Ansprechzeit (Ni-CrNi Thermoelemente, Testo 451 Systemmessgerät) mit einer Zeitkonstanten $\tau=180$ ms gemessen, so dass eine atemphasensynchrone Auflösung der

Temperaturschwankungen möglich war. Gemessen wurden die inspiratorischen Spitzentemperaturen gerätenah – unmittelbar an dem Konnektor, an dem der Inspirationssschlauch des Patientenschlauchsystems an das Atemsystem angeschlossen wird, sowie patientennah – unmittelbar am Übergang des Inspirationssschlauchs zum Y-Stück. Gerätenah an gleicher Position, patientennah aber zwischen dem Y-Stück und dem Bakterienfilter, somit wiederum am Ein- und am Ausgang des Inspirationssschlauchs, waren desweiteren über spezielle Konnektoren zwei beheizte, hochauflösende kapazitive Feuchtesensoren (Lohmann Industrie Elektronik, Schwalmatal) in den Atemgasstrom eingebracht, mit denen der Wasserdampfpartialdruck, dargestellt als absolute Feuchte in $\text{mgH}_2\text{O/l}$ gemessen wurde. Die zur Messung eingesetzten Hybrid-Sensoren bestanden aus der Kombination eines kapazitiven Feuchtesensors mit einem Heizelement. Sie folgten einer Sprungantwort mit einem Zeitverhalten 1. Ordnung, wobei bei der gewählten Temperatur des Sensors von 40°C die Zeitkonstante $\tau=230$ ms betrug. Der absolute Fehler (Kalibrationsfehler) betrug 0,6 $\text{mgH}_2\text{O/l}$. Die Messeinrichtung erlaubte wiederum die atemphasensynchrone Auflösung des Messsignals, so dass die während der Inspirationsphasen erreichte maximale Feuchtigkeit an beiden Messpunkten bestimmt werden konnte. Die Messung der Raumtemperatur erfolgte mit einem Digitalthermometer (Thermometer Voltcraft 500, Conrad Elektronik), wobei das Thermoelement 50 cm über dem Patientenschlauchsystem angebracht war.

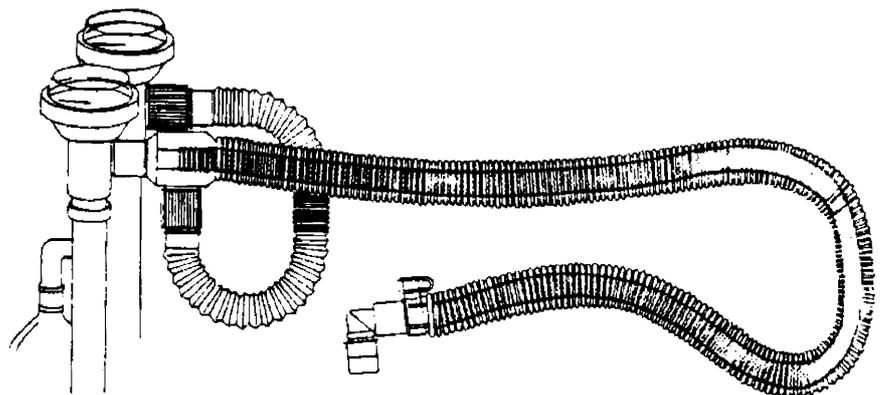


Abb. 1 ▲ Koaxiales Schlauchsystem: Die Inspirationsluft strömt im Binnenschlauch zum Patienten, die Ausatemluft wird über den Außenschlauch zum Atemsystem geführt

Tabelle 1

Untersuchungskollektive. Die in Klammern gesetzten Buchstaben beziehen sich auf die Kennzeichnung der jeweiligen Gruppe in den Abbildungen

Gruppe A	Konventionelles Doppelschlauchsystem	Frischgasflow 0,5 l/min
Gruppe B	Koaxiales Schlauchsystem	Frischgasflow 0,5 l/min
Gruppe C	Beheiztes Doppelschlauchsystem	Frischgasflow 0,5 l/min
Gruppe D	Beheiztes Doppelschlauchsystem	Frischgasflow 1,0 l/min
Gruppe E	Beheiztes Doppelschlauchsystem	Frischgasflow 2,0 l/min
Gruppe F	Beheiztes Doppelschlauchsystem	Frischgasflow 4,4 l/min

Aufnahme der Messwerte

Die Messungen der Feuchte und der Temperatur erfolgten nach standardisiertem Schema: Nach routinemäßiger Einleitung der Inhalationsnarkosen im Einleitungsraum folgte der Wechsel an das mit der Messapparatur vorbereitete Narkosegerät im Operationssaal. An der Gasdosiereinrichtung wurde ein Frischgasfluss von 4,4 l/min (1,4 l/min O₂, 3,0 l/min N₂O) eingestellt. Die Dosierung der Inhalationsanästhetika erfolgte entsprechend den klinischen Erfordernissen. Es wurde eine Normoventilation mit expiratorischen Kohlendioxidpartialdrücken zwischen 35 bis 40 mmHg angestrebt. Exakt 10 min nach dem Wechsel in den Operationssaal wurden die ersten Messwerte erhoben, dann der Frischgasfluss entsprechend dem routinemäßig geübten Schema der Minimal-flow-Anästhesie auf 0,5 l/min reduziert (0,3 l/min O₂, 0,2 l/min N₂O). Weitere Messungen erfolgten 5 und 15 min nach der Flowreduktion, dann während der 1. Stunde in 15 min, in der 2. und allen folgenden Stunden in 30-min-Intervallen. Die letzte Messung erfolgte unmittelbar vor Beginn der Ausleitungsphase und Erhöhung des Frischgasflows.

Die Feuchte- und Temperaturmessungen wurden unter 6 unterschiedlichen Untersuchungsbedingungen (Tabelle 1) durchgeführt:

- Gruppe A (Darstellung der Messergebnisse: Abb. 2, 3, 4a): konventionelles Doppelschlauchsystem, Minimal-flow-Anästhesie.
- Gruppe B (Darstellung der Messergebnisse: Abb. 2, 3, 4b): koaxiales Schlauchsystem, Minimal-flow-Anästhesie.
- Gruppe C (Darstellung der Messergebnisse: Abb. 2, 3, 4c): beheiztes Doppelschlauchsystem, Minimal-flow-Anästhesie.

- Gruppe D (Darstellung der Messergebnisse: Abb. 2, 3, 4d): beheiztes Doppelschlauchsystem, 10 min nach dem Wechsel vom Einleitungs- in den Operationsraum: Änderung des Frischgasflows von initial 4,4 auf 1,0 l/min entsprechend dem Konzept der Low-flow-Anästhesie.
- Gruppe E (Darstellung der Messergebnisse: Abb. 2, 3, 4e): beheiztes Doppelschlauchsystem, 10 min nach dem Wechsel vom Einleitungs- in den Operationsraum: Änderung des Frischgasflows von initial 4,4 auf 2,0 l/min.
- Gruppe F (Darstellung der Messergebnisse: Abb. 2, 3, 4f): beheiztes Doppelschlauchsystem, hoher Frischgasfluss von 4,4 l/min über den gesamten zeitlichen Ablauf der Narkosen, erste Messung 10 min nach dem Wechsel vom Einleitungs- in den Operationsraum, weitere Messungen entsprechend dem vorgegebenen Zeitschema.

Die Patientenschlauchsysteme wurden jeweils über einen gesamten Arbeitstag

am Narkosegerät belassen und erst nach Beendigung des Operationsprogramms abgenommen, in der Waschmaschine gereinigt und thermodesinfiziert. Die koaxialen Systeme wurden als Einmalmaterialien nach einem Arbeitstag verworfen. Bei jedem Patienten wurde zwischen Y-Stück und Tubuskonnektor ein neuer Bakterienfilter eingesetzt. Einmal wöchentlich wurde das gesamte Atemsystem und die gasführenden Teile des Narkosebeatmungsgerätes autoklaviert und die Atemkalkfüllung des Absorberkanisters gewechselt. Die Reinigungs- und Desinfektionsroutinen entsprachen damit den Regeln der an der Abteilung geltenden Hygienerichtlinien zur Aufbereitung von Anästhesiematerialien.

Die Messungen wurden bei allen Inhalationsnarkosen von zumindest 45 min Dauer durchgeführt, wobei deren Reihenfolge im zeitlichen Ablauf des Arbeitstags durch den jeweiligen Operationsplan vorgegeben war. So wechselten sich, entsprechend der klinischen Praxis, kürzer- und längerdauernde Narkosen mit Messpausen ab, in denen sehr kurze Allgemein- oder Regional- und Lokalanästhesien durchgeführt wurden. In allen Gruppen wurden die Messungen jeweils an acht Arbeitstagen während orthopädischer sowie unfall- und abdominalchirurgischer Eingriffe durchgeführt. Die Messwertregistrierung erfolgte primär auf einem Messprotokoll, die Messwerte wurden dann – beginnend mit dem 15 min nach Flowreduktion aufgenommenen Messwert – entsprechend der Uhrzeit, zu der sie erfasst wurden, in ein Datenblatt übertragen. Die statistische Auswertung der Er-

Tabelle 2

Demographische Daten, Narkosedauer und Raumtemperatur: Mittelwerte und Standardabweichung. Die in Klammern gesetzten Buchstaben beziehen sich auf die Kennzeichnung der jeweiligen Gruppe in den Abbildungen

	Gruppe A	Gruppe B	Gruppe C	Gruppe D	Gruppe E	Gruppe F
n	26	31	32	28	23	20
Gewicht [kg]	76,7 ± 13,1	77,9 ± 20,7	79,7 ± 17,7	81,1 ± 17,3	74,9 ± 12,9	72,1 ± 19,1
Grösse [cm]	172,5 ± 10,5	169,9 ± 12,3	168,6 ± 13	169,9 ± 11,1	167,7 ± 6,0	168 ± 9,8
Alter [Jahre]	50 ± 17,2	50,5 ± 22,7	55 ± 18,6	47,6 ± 16,9	46,5 ± 14,7	46,2 ± 16,8
Narkosedauer [min]	65,8 ± 52,8	49,2 ± 46,3	46,7 ± 46,2	47 ± 28,6	53 ± 22,7	68,9 ± 53,6
Raumtemp. [°C]	23,9 ± 1,7	23,3 ± 1,4	22,9 ± 1,2	22,7 ± 0,8	22,2 ± 0,8	22,5 ± 1,2

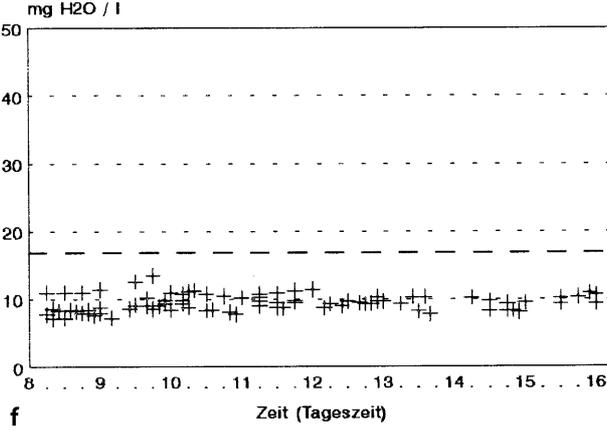
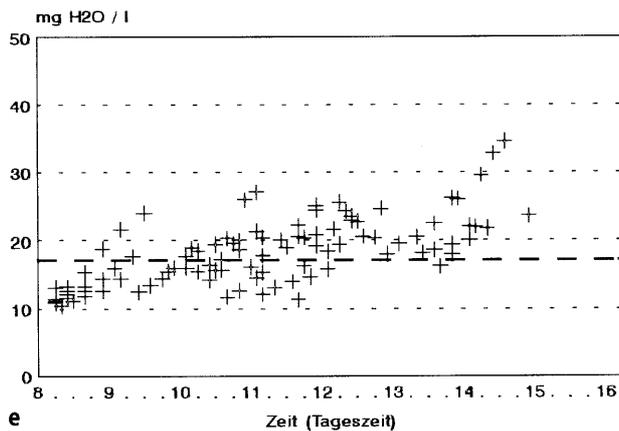
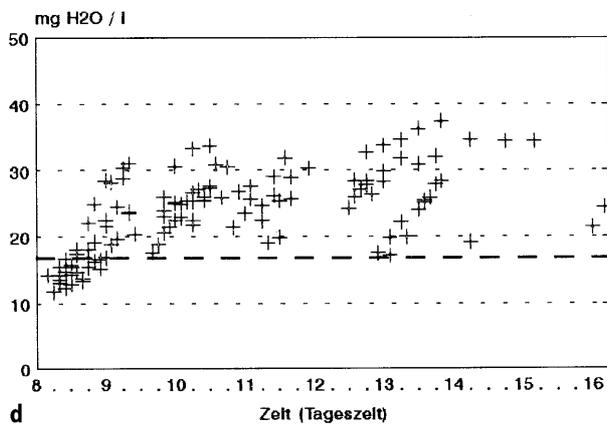
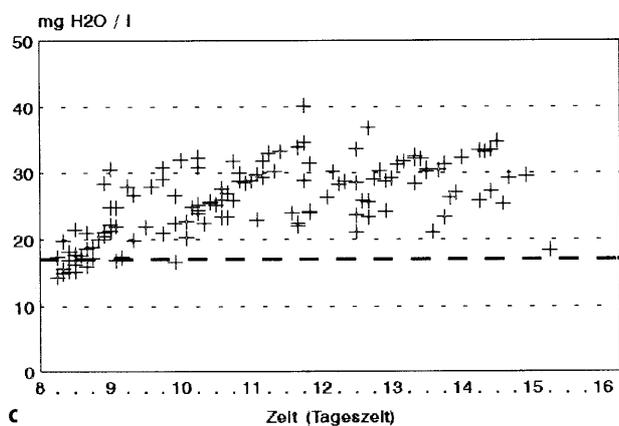
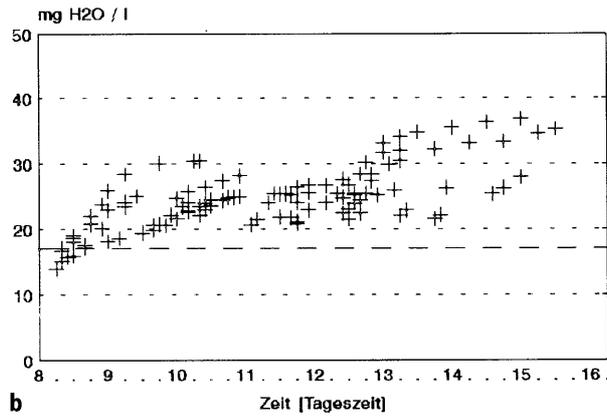
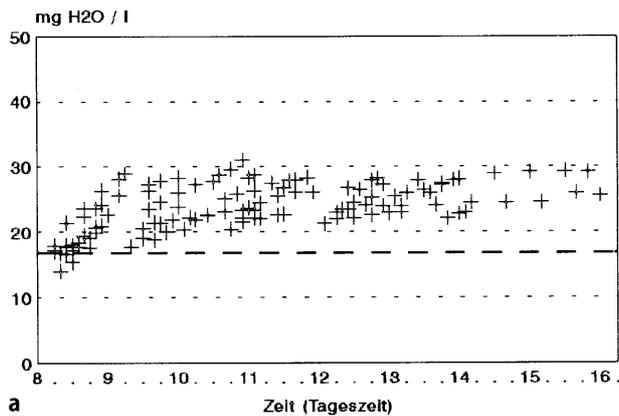


Abb. 2a-f ▲ Absolute Feuchte der Inspirationsluft, tubuskonnektornah gemessen.
Gestrichelte Linie: Gesonderte Kennzeichnung einer absoluten Feuchte von 17 mgH₂O/l

gebnisse erfolgte nach Beratung mit einem Statistiker rein deskriptiv.

Ergebnisse

Die demographischen Daten der Patienten, Narkosedauern und Raumtemperaturen aller sechs Kollektive sind in Tabel-

le 2 dargestellt. Die während der Durchführung der Untersuchungen gemessenen Raumtemperaturen waren trotz Klimatisierung der Operationsräume während der Hochsommerzeit (Gruppe A bis C) höher als bei den später im Jahr durchgeführten Messungen. Die Ergebnisse dieser während des klinischen Routine-

betriebs durchgeführten Untersuchung sind dennoch eindeutig und werden hierdurch in ihrer Aussage nicht beeinflusst.

Absolute Feuchte am Tubuskonnektor (Abb. 2)

Feuchtwerte unter 17 mgH₂O/l wurden in den Gruppen A bis C nach Reduktion des Frischgasflows auf 0,5 l/min nur bei den Patienten gemessen, die in der Reihenfolge des OP-Programms morgens als erste

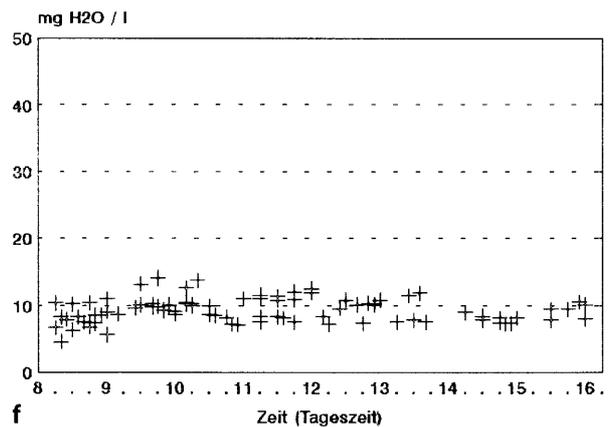
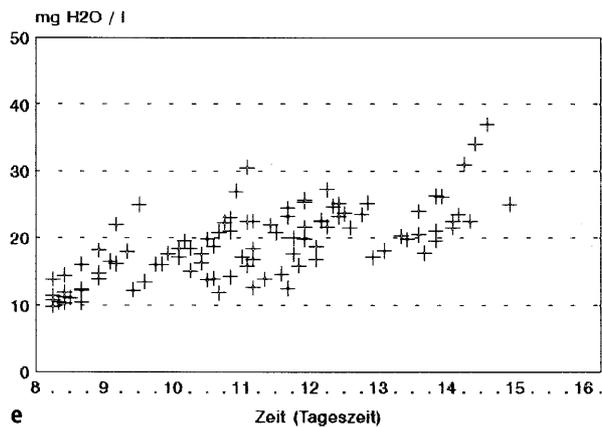
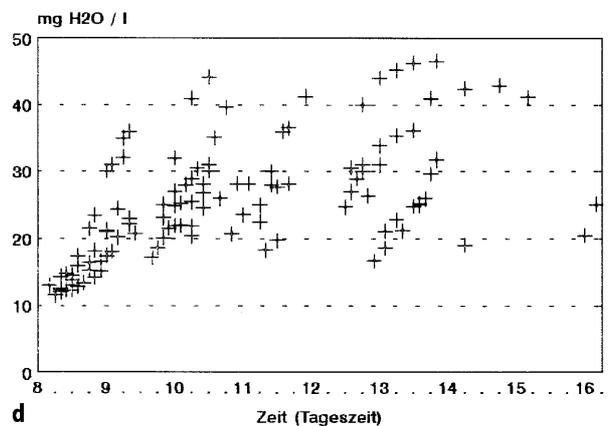
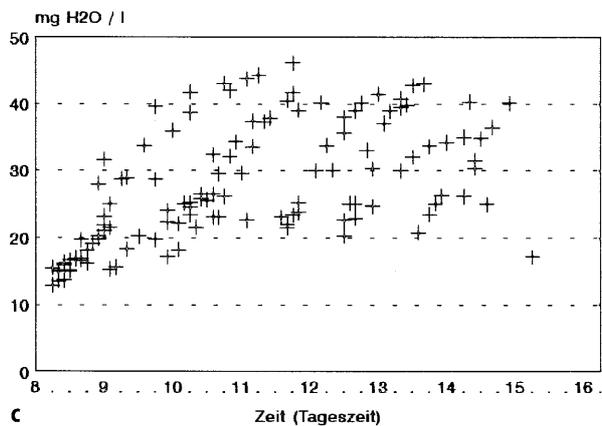
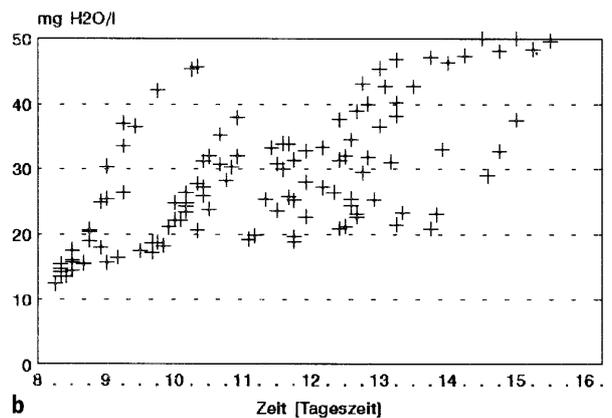
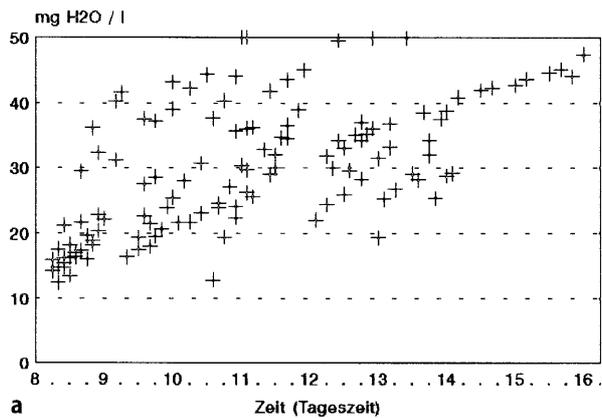


Abb. 3a-f ▲ Absolute Feuchte der Inspirationsluft, atemsystemnah gemessen

operiert wurden (Abb. 2a-c). 15 bis spätestens 30 min nach Verminderung des Flows nahm die Feuchte in allen Fällen auf Werte größer als 17 mgH₂O/l zu. Dies gilt gleichermaßen für die Gruppe D (Abb. 2), bei der mit beheizten Schläuchen und der Low-flow-Technik, also mit einem Frischgasfluss von 1,0 l/min gearbeitet wurde. In aller Regel lagen die Feuchtwerte in einem Bereich zwischen 17 und 35 mgH₂O/l, wobei in der Gruppe C – Einsatz von be-

heizten Schläuchen und Minimal-flow-Anästhesie – die Messwerte gehäuft über 30 mgH₂O/l liegen (Abb. 2c). In der Gruppe F bei Hochflussnarkosen mit einem Frischgasfluss von 4,4 l/min wurden trotz des Einsatzes von beheizten Schläuchen nur Feuchtwerte gemessen, die 10 mgH₂O/l kaum überschritten (Abb. 2f). Während bei der Durchführung von Low-flow-Narkosen mit einem Frischgasfluss von 1,0 l/min und beheizten Schläuchen

(Abb. 2d) die Verteilung der Messwertwolke weitestgehend noch der bei Minimal-flow-Narkosen entspricht (Abb. 2c), liegen bei einem Frischgasfluss von 2,0 ml/min trotz des Einsatzes von beheizten Schläuchen die Messwerte vielfach unter 17 mgH₂O/l (Abb. 2e).

Absolute Feuchte am Atemsystem (Abb. 3)

Die unmittelbar am Inspirationsausgang des Atemsystems gemessenen Feuchte-

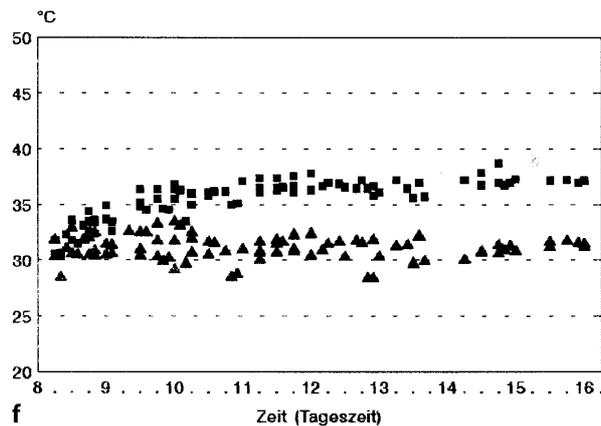
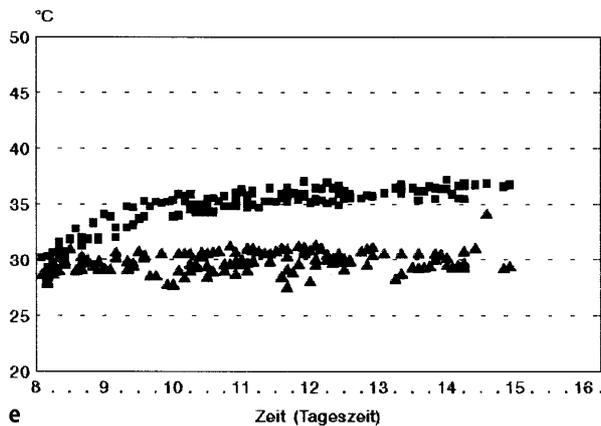
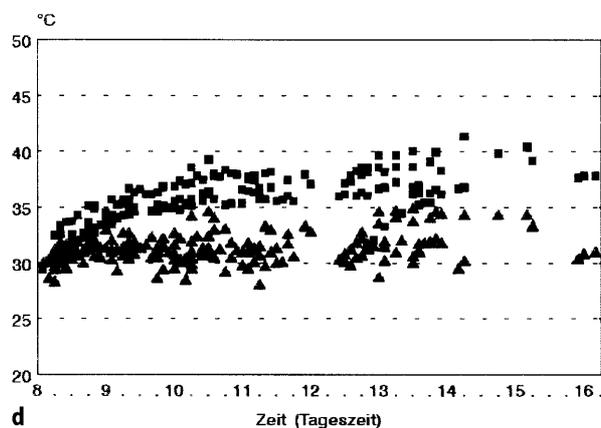
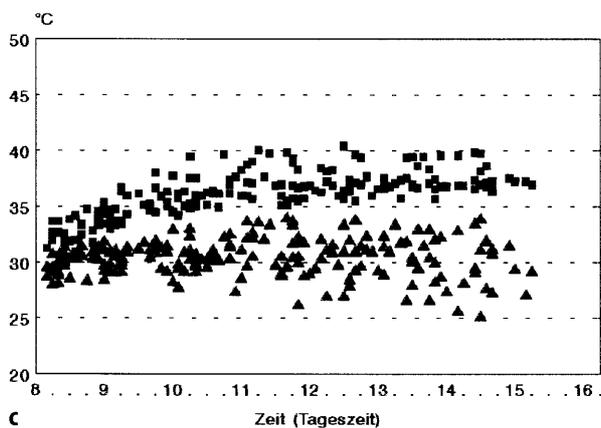
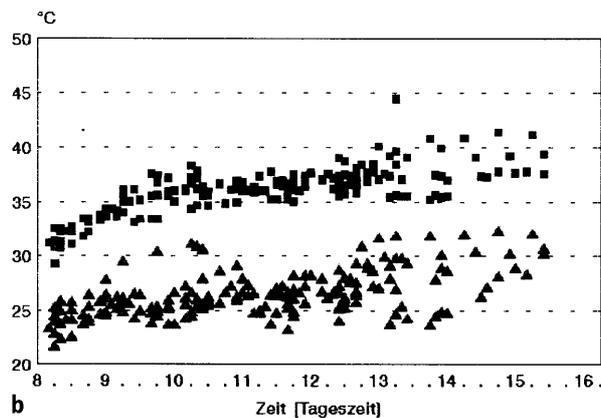
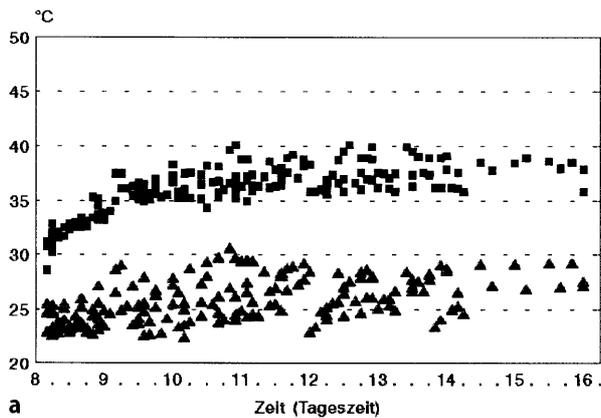


Abb. 4a-f ▲ Temperatur der Inspirationsluft, tubuskonnektor- und atemssystemnah gemessen. (Dreiecke Temperatur tubusnah, Quadrate Temperatur atemssystemnah)

werte zeigten in allen Gruppen eine weit-aus größere Streuung als die tubuskonnektornah gemessenen Werte. Während bei den ersten Minimal- oder Low-flow-Narkosen eines Arbeitstags die Werte nach Flowreduktion auf 0,5 oder 1,0 l/min noch zwischen 12 und 20 mgH₂O/l liegen, nehmen sie während der im jeweiligen Operationsprogramm folgenden Niedrigflussnarkosen in der überwiegenden

Zahl Werte zwischen 20 und 50 mgH₂O/l an (Abb. 3a-d). Bei einem Frischgasfluss von 2,0 l/min werden hingegen trotz der aktiven Anwärmung des Cicero-Kreisteils Werte gemessen, die in der Mehrzahl niedriger als 20 mgH₂O/l sind und kaum einmal den Wert von 30 mgH₂O/l überschreiten (Abb. 3e). Bei Hochflussnarkosen liegen die Messwerte in der überwiegenden Mehrzahl sogar noch unter

10 mgH₂O/l, und kaum einmal über 11 mgH₂O/l (Abb. 3f).

Temperatur am Tubus (Abb. 4)

Die am Tubuskonnektor gemessenen Temperaturen liegen trotz der drastischen Flowreduktion von 4,4 auf 0,5 l/min in den Gruppen A und B, in denen ein konventionelles Doppelschlauchsystem oder ein koaxiales Schlauchsystem eingesetzt wurde, in einer Messwertwolke, die sich im Bereich

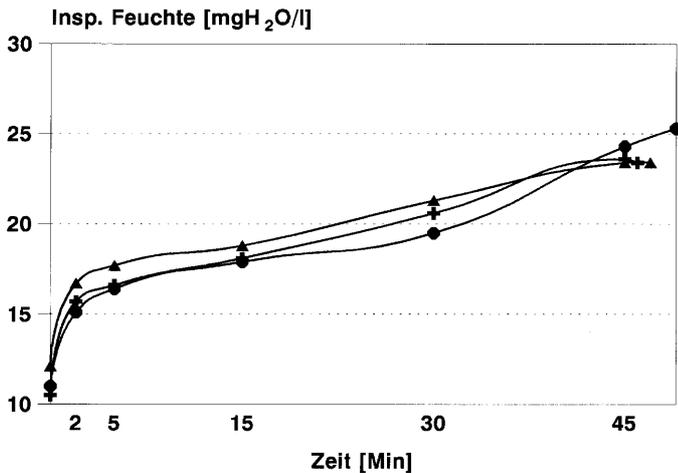


Abb. 5 ▲ Tubusnah gemessene inspiratorische Feuchte (Mittelwerte) der Atemgase während der ersten Narkosen eines jeden Arbeitstages: Messwertaufnahme unmittelbar vor und über einen Zeitraum von 45 min nach Frischgasflowreduktion von 4,4 auf 0,5 l/min. Nach 6 min liegen die Mittelwerte über 17 mgH₂O/l, nach 30 min über 20 mgH₂O/l. (Kennzeichnung: Kreuze normale Schläuche, Dreiecke koaxiale Schläuche, Punkte beheizte Schläuche)

zwischen 23 und 30°C verdichtet (Abb. 4a, b). Messwerte über 30°C werden eher selten und nur bei längerer Dauer einer Narkose gemessen. Beim Einsatz beheizter Schläuche hingegen – und das völlig unabhängig von Frischgasfluss – liegen fast alle Messwerte vom Beginn des Arbeitstages an in einem Temperaturbereich zwischen 28 und 35°C (Abb. 4c–f).

Temperatur am Atemsystem (Abb. 4)

In allen Gruppen wird einheitlich, unabhängig von der Art des Schlauchsystems und der Frischgasflussrate, am Morgen zu Beginn des OP-Programms eine Initialtemperatur am Atemsystem von etwa 30°C gemessen, die in den folgenden 60 bis 90 min auf 35°C (Abb. 4a–f), und im weiteren Ablauf des Tages auf Werte zwischen 35 und 40°C ansteigt. Während bei Einsatz des konventionellen Doppelschlauch- und des koaxialen Schlauchsystems die Differenz zwischen der am System und der am Tubus gemessenen Temperatur bei etwa 10°C liegt (Abb. 4a,b), beträgt die Differenz bei Einsatz der beheizten Schläuche, und das unabhängig vom jeweiligen Frischgasfluss, im Mittel nur etwa 5°C (Abb. 4c–f).

Diskussion

Eine Klimatisierung der Atemgase, wie sie in der Intensivbeatmung selbstver-

ständiglich ist, sollte auch während der Narkosebeatmung angestrebt werden. Nicht nur die Verminderung von Feuchte- und Wärmeverlusten über Lunge und Atemwege [6], sondern auch die Protektion der morphologischen Integrität und der physiologischen Funktion des Ciliarepithels [4,8,9,13,14] wird mittels adäquater Klimatisierung der Atemgase erreicht. Der Erhalt der mukoziliären Clearance ist ein wichtiger Beitrag zur Vermeidung von Mikroateletkaten und postoperativer pulmonaler Komplikationen [9].

Einer ausreichenden Klimatisierung der Atemgase auch während der Durchführung von Narkosen wird deshalb heute zunehmend Beachtung geschenkt. Neben dem Einsatz von Geräten zur aktiven Anwärmung und Anfeuchtung der Atemgase, für die es spezifische Indikationen gibt [15], werden passive Wärme- und Feuchteaus-tauscher (HME, „heat and moisture exchanger“) angewandt, die unmittelbar auf den Tubuskonnek-tor aufgesetzt werden [7,13]. Alternativ ist aber auch allein durch die adäquate Nutzung der an allen Narkosegeräten zur Verfügung stehenden Rückatemsysteme eine signifi-kante Verbesserung der Atemgasklima-tisierung zu erreichen [1,3,8,10]. Rück-atemsysteme werden nur bei Durchfüh-rung von Niedrigflussnarkosen adäquat genutzt: Durch die Zunahme des Rück-atmungsanteils, also des Anteils der Atemgase, der bereits bei vorangegan-

ner Lungenpassage angefeuchtet und angewärmt wurde, und die bei erhöhtem Rückatemanteil gesteigerte Kohlendioxidabsorption am Atemkalk nehmen die Feuchte und die Temperatur der Atemgase zu.

In der Literatur finden sich sehr diffe-rente Angaben darüber, mit welchen Werten eine ausreichende Klimatisierung der Atemgase während der Durchfüh-rung von Narkosen sichergestellt werden kann [13]. Es werden absolute Feuchten der Inspirationsluft zwischen 15 und 30 mgH₂O/l und Atemgastemperaturen zwischen 28 und 32°C angegeben [2,7,8,9]. Branson et al. geben eine abso-lute Feuchte von 12–15 mgH₂O/l als aus-reichendes Minimum an [4]. In Analogie zur physiologischen Atemgasklimatisie-rung wird von Rathgeber hingegen erst eine Atemgastemperatur zwischen 30 und 37°C und eine absolute Feuchte der Narkosegase zwischen 30 und 35 mgH₂O/l als ausreichend angesehen [13,14].

Der Optimierung der Atemgasklima-tisierung steht die Tatsache entgegen, dass während der Passage der Atemgase durch die Atemschläuche erhebliche Wärmeverluste auftreten, die zu einem erheblichen Abfall der Atemgastempe-ratur mit entsprechendem Niederschlag von Wasserkondensat an der Schlauch-wandung führen [11]. Durch Verminde-rung der Wärmeverluste der Atemgase im Inspirationsschenkel der Patienten-schlauchsysteme müsste somit eine Ver-besserung der Klimatisierung zu errei-chen sein. Unter diesem Aspekt wurden drei in ihrem technischen Design völlig unterschiedliche Patientenschlauchsys-teme untersucht.

Beim klassischen Doppelschlauch-system wird die Inspirationsluft auf dem Weg zum Patienten – in Abhängigkeit von der Isolation und spezifischen Wär-meleitfähigkeit des jeweiligen Schlauch-materials – der Umgebungstemperatur ausgesetzt und durch Wärmeverluste abgekühlt. Dagegen wird beim koaxialen Schlauchsystem die Inspirationluft im zentralen Innenschlauch zum Patien-ten geführt, während die Ausatemluft durch den umhüllenden Außenschlauch strömt. Die Inspirationsluft wird also nicht nur durch den Außenschlauch von der Umgebungstemperatur isoliert, son-dern darüber hinaus durch die im Ge-genstrom zum Atemsystem zurückströ-mende Ausatemluft angewärmt [4, 12], was einem Gegenstromwärmetauscher

entspricht. Bei den beheizten Schläuchen hingegen werden die Wärmeverluste durch aktives Aufheizen der Schlauchwand vermindert [10].

Im Kontext zur Literatur können die Ergebnisse der Untersuchung wie folgt bewertet werden:

Die bei Durchführung von Minimal-flow-Narkosen, also mittels adäquater Nutzung der Rückatmungstechnik erreichten Feuchtwerte liegen in aller Regel in dem nach Bengtson et al. [3] ausreichenden Bereich zwischen 17 und 30 mgH₂O/l (Abb. 2a–c). Nur bei den ersten Narkosen eines Arbeitstags werden über einen Zeitraum zwischen 5 bis maximal 15 min nach Flowreduktion Feuchtwerte kleiner als 17 mgH₂O/l gemessen, nach 30 min wird im Mittel eine Feuchte von 20 mgH₂O/l erreicht (Abb. 5). Die Latenzzeit bis zum Erreichen ausreichender Atemgasfeuchte ist somit deutlich kürzer als die von Kleemann angegebenen 60–120 min [8].

Beim Einsatz konventioneller Doppelschlauch- und koaxialer Schlauchsysteme erreichen die mit den oben genannten Feuchtwerten korrelierenden Atemgastemperaturen nur bei längerdauernden Minimal-flow-Narkosen oder nach längerem Einsatz des Narkosegeräts die nach Bengtson et al. [2] oder Kleemann [8,9] ausreichenden Werte zwischen 28 und 32°C (Abb. 4a, b). Die hohen Wärmeverluste an den 1,5 m langen Schläuchen führen zu erheblichem Temperatur- und damit auch Feuchteabfall der am Atemsystem noch optimal temperierten Atemgase.

Das koaxiale Patientenschlauchsystem, das sich im Vergleich zum konventionellen Doppelschlauchsystem deutlich besser handhaben lässt, bietet bezüglich der Atemgasklimatisierung bei klinischem Routineeinsatz bei wechselnder Narkosedauer keine eindeutigen Vorteile (Abb. 2,4a, b). Die von anderen Autoren beobachtete Verbesserung der Atemgasklimatisierung beim Einsatz koaxialer Schlauchsysteme um etwa 25% gegenüber den konventionellen Schlauchsystemen [4,5,12] konnte so allgemein nicht bestätigt werden. Entsprechend der eigenen Beobachtungen (Abb. 2,4a, b: 12.00–15.30 Uhr) kann höchstens gemutmaßt werden, dass der Einsatz koaxialer Systeme bei längerdauernden Narkosen im späteren Ablauf des Arbeitstags eine solche Verbesserung der Klimatisierung mit sich bringt.

Bei Einsatz beheizter Patientenschläuche werden bei Durchführung von Niedrigflussnarkosen – Minimal- und Low-flow-Anästhesie – nicht nur in der Regel Feuchtwerte zwischen 17 und 30 mgH₂O/l, sondern in eindeutiger Häufung auch Werte größer als 30 mgH₂O/l erreicht, die als optimal gelten (Abb. 2c, d). Dies korreliert mit der durch die Schlauchbeheizung erreichten Verminderung der Wärmeverluste aus dem Inspirationsgas, so dass die Atemgastemperaturen – unabhängig vom Frischgasfluss – in der Regel zwischen 28 und 32°C, vielfach sogar im Optimalbereich über 30 °C liegen (Abb. 4c–f). Die Latenzzeiten bis zum Erreichen optimaler Klimatisierung der Atemgase wird durch den Einsatz beheizter Schläuche nochmals verkürzt [10]. Die Differenz zwischen der atemsystemnah und der tubuskonnectornah gemessenen Atemgastemperatur beträgt nur etwa 5°C (Abb. 4c–f), wohingegen diese Differenz bei Einsatz unbeheizter Schläuche auf etwa 10 °C zunimmt (Abb. 4a, b). Aus dem geringeren Absinken der Gastemperatur im Inspirations-schenkel des beheizten Patientenschlauchsystems erklärt sich natürlich auch der geringere Verlust an Feuchte durch Kondensation und damit die höhere Feuchte der Atemgase bei Durchführung von Niedrigflussnarkosen.

Demgegenüber ist die Anfeuchtung der Atemgase – trotz des Einsatzes von beheizten Schläuchen – absolut unzureichend, wenn mit hohem Frischgasfluss von 4,4 l/min gearbeitet wird (Abb. 2f). Die Feuchtwerte liegen dann im Mittel nur zwischen 9 und 10 mgH₂O/l. Selbst bei einem Frischgasfluss von nur 2,0 l/min ist die Anfeuchtung der Atemgase deutlich vermindert und erreicht vielfach nicht einmal die geforderte minimale Feuchte von 17 mgH₂O/l (Abb. 2e). Die unzureichende Feuchte der Atemgase am Tubuskonnector ist darauf zurückzuführen, dass schon die Feuchte der inspirationsseitig aus dem Atemsystem austretenden Narkosegase bei Frischgasflüssen $\geq 2,0$ l/min eindeutig niedriger ist als bei Niedrigflussnarkosen (Abb. 3e, f). Die Temperatur der inspirationsseitig aus dem Atemsystem austretenden Narkosegase ist hingegen, unabhängig vom eingesetzten Patientenschlauchsystem und dem Frischgasfluss, in allen untersuchten Gruppen identisch und liegt nach etwa 11/2 stündigem Ein-

satz des Narkosegeräts bei etwa 35–40°C (Abb. 4a–f).

Die Verminderung der Wärmeverluste am Inspirationsschenkel des Schlauchsystems führt zwar – völlig unabhängig vom Frischgasfluss – zu einer Erhöhung der Atemgastemperatur, eine dieser Temperatur entsprechende adäquate Anfeuchtung der Gase wird aber nur unter den Bedingungen der Niedrigflussnarkose, also bei Frischgasflows $\leq 1,0$ l/min gewährleistet. Bei Frischgasflows $> 1,0$ l/min werden die Patienten bei Einsatz beheizter Schläuche mit warmen, aber trockenen Narkosegasen beatmet. Dies mag zu schneller und verstärkter Austrocknung des Atemwegsepithels der unteren Atemwege führen [11, 14]. Dieser „Föhn-“ oder „Saharaeffekt“ sollte unter diesem Aspekt zwingend vermieden werden. Für die energetische Gesamtbilanz – Energieverluste, die sich aus der Anwärmung und Anfeuchtung der Inspirationsluft auf die Klimawerte der Ausatemluft ergeben – scheint es hingegen von nebengeordneter Bedeutung, ob mit kaltem trockenem oder warmem trockenem Atemgas beatmet wird. Die Anwärmung des Atemgases ist nur mit 18% an dem Gesamtenergiebedarf zur Klimatisierung beteiligt.

Folgende Aussagen zur Methodik und den Resultaten der Arbeit sollen an dieser Stelle noch kritisch angemerkt werden:

- Die inspiratorischen Klimawerte entsprechen nicht exakt den Werten der Atemgase, mit denen die Patienten letztendlich beatmet wurden. Der Bakterienfilter, die Gänsegurgel und der Endotrachealtubus selbst wirken als Wärme- und Feuchteaus-tauscher. Aus praktischen, hygienischen und technischen Gründen konnte jedoch auf den Einsatz dieser Geräte nicht verzichtet werden.
- Die Temperaturmessung erfolgte in allen Gruppen tubusnah im Inspirationsschenkel des Atemsystems – geräteseitig vom Y-Stück. Die Koaxialsysteme wurden angebohrt, um den Temperaturfühler in den Inspirationsschenkel einbringen zu können. Optimal hätte der Feuchtesensor auch an gleicher Stelle positioniert werden müssen. Es war aber technisch nicht möglich, den Feuchtesensor mit seinem Gehäuse in den Inspirationsschenkel des Koaxialsystem-

stems einzufügen. Um identische Messbedingungen für alle Gruppen sicherzustellen musste dieser Sensor deshalb in den oszillierenden Atemgasstrom zwischen Y-Stück und Bakterienfilter eingesetzt werden.

- Die Messungen erfolgten während des Sommers bei vergleichsweise hohen, von den Untersuchern nicht beeinflussbaren Raumtemperaturen. Es ist davon auszugehen, dass bei tieferen Umgebungstemperaturen niedrigere Atemgasfeuchten und -temperaturen zu erwarten sind.
- Alle Untersuchungen erfolgten unter den Bedingungen eines völlig identischen Messaufbaus. Fehler in der Messung gehen also in gleicher Weise in die Messergebnisse aller Gruppen ein.
- Die Koautoren Gruchmann, Hölscher und Züchner haben diese Untersuchung von technischer Seite mitgeplant und begleitet und stehen für die technische Eignung der Messgeräte für die Feuchte- und Temperaturmessungen unter den gegebenen Untersuchungsbedingungen ein. Die Plausibilität der Messwerte – Stimmigkeit des gemessenen inspiratorischen Wassergehaltes bei der jeweils gleichzeitig bestimmten inspiratorischen Atemgastemperatur – wurde während der ganzen Untersuchung in Stichproben laufend überprüft. Eine umfangreiche technische Beschreibung und Validierung des Feuchtesensors findet sich in der Arbeit von Rathgeber ([13]: S. 24–37).

Schlussfolgerungen

Beheizte Patientenschläuche sind bezüglich der Klimatisierung der Narkosegase dem koaxialen Schlauch- und dem konventionellen Doppelschlauchsystem deutlich überlegen. Am Narkosegerät Cicero können mit diesen Schläuchen Feuchte- und Temperaturwerte im Atemgase erreicht werden, die als optimal zu bezeichnen sind. Allerdings wird die Optimierung des Atemgasklimas nur dann realisiert, wenn Niedrigflussnarkosen durchgeführt werden, also mit einem Frischgasfluss ≤ 1 l/min gearbeitet wird. Bei hohen Frischgasflows sind die Atemgase zwar warm aber trocken, was eine Austrocknung des Atemwegsepithels der unteren Atemwege begünstigt. Während die Feuchte der Atemgase bei Austritt aus dem Atemsystem im wesentlichen vom Frischgasflow beeinflusst wird, wird deren Temperatur entscheidend von den Wärmeverlusten am Inspirationsschenkel des Patientenschlauchsystems bestimmt. Auch beim Einsatz nicht beheizter Schlauchsysteme wird eine ausreichende Klimatisierung erreicht, wenn Narkosen mit einem Frischgasfluss von 0,5 l/min entsprechend der Technik der Minimal-flow-Narkosen durchgeführt werden. Eine im Vergleich zum konventionellen Doppelschlauchsystem verbesserte Atemgasklimatisierung bei Einsatz eines koaxialen Schlauchsystems wird scheinbar nur bei längerdauernden Narkosen realisiert. Im klinischen Routinebetrieb sind die Klimatisierungseffekte beider Schlauchsysteme gleichwertig. Allgemein bleibt festzustellen, dass die Klimatisierung der Atemgase bei Durchführung von Niedrigflussnarkosen umso besser ist, je länger die Narkosedauer und je länger die Einsatzzeit des Atemsystems ist. Die Latenzzeit bis zum Erreichen einer ausreichender Atemgasklimatisierung bei Durchführung von Niedrigflussnarkosen kann durch die aktive Beheizung des Atemsystems und den Einsatz beheizter Atemschläuche verkürzt werden.

Die Autoren haben Herrn Prof. Dr. Hilgers, Abteilung Medizinische Statistik, Georg-August-Universität Göttingen für seine Beratung, und Herrn Uwe Lohmann, Lohmann Industrie-Elektronik, Schwalmatal, für die Überlassung des Messsystems, die Beratung bei der Durchführung der Feuchtemessungen sowie die Durchführung erforderlicher Eichungen zu danken.

Literatur

1. Baum J (1998) **Verbesserung des Narkosegasklimas**. In: Baum J (Hrsg) Die Inhalationsnarkose mit niedrigem Frischgasfluss. 3. Aufl. Thieme, Stuttgart, S 70–73
2. Bengtson JP, Sonander H, Stenqvist O (1987) **Preservation of humidity and heat of respiratory gases during anaesthesia – a laboratory investigation**. Acta Anaesthesiol Scand 31: 127–131
3. Bengtson JP, Bengtson A, Stenqvist O (1989) **The circle system as a humidifier**. Br J Anaesth 63: 453–457
4. Branson RD, Campbell RS, Davis K, Porembka DT (1998) **Anaesthesia circuits, humidity output, and mucociliary structure and function**. Anesth Intensive Care 26: 178–183
5. Chalon J, Patel C, Ramanathan S, Turndorf H (1978) **Humidification of the circle absorber system**. Anesthesiology 48: 142–146
6. Gebhardt R, Weiser UK (1999) **Die Niedrigflussnarkose bei Neugeborenen – Vorteile und Risiken**. Anaesthesiol Reanimat 24: 42–46
7. Henriksson BÅ, Sundling J, Hellmann A (1997) **The effect of heat and moisture exchangers on humidity in a low-flow anaesthesia system**. Anaesthesia 52: 144–149
8. Kleemann PP (1989) **Tierexperimentelle und klinische Untersuchungen zum Stellenwert der Klimatisierung anästhetischer Gase im Narkosekreissystem bei Langzeiteingriffen**. Wiss Verlagsabteilung Abbott GmbH, Wiesbaden, S 84–85
9. Kleemann PP (1994) **Humidity of anesthetic gases with respect to low flow anaesthesia**. Anaesth Intens Care 22: 396–408
10. Kleemann PP, Schickel BK, Jantzen JPAH (1993) **Heated breathing tubes affect humidity output of circle absorber systems**. J Clin Anaesth 5: 463–467
11. Kuhn I (1995) **Temperatur- und Feuchteprofil der Narkosegeräte Ohmeda Modulus CD/CV, Dräger Cicero und Stimotron PhysioFlex**. Inaugural-Dissertation, Johann Wolfgang Goethe – Universität, Frankfurt a M, S 36–38
12. Ramanathan S, Chalon J, Turndorf H (1976) **A compact well humidified breathing circuit for the circle system**. Anesthesiology 44: 238–241
13. Rathgeber J (1997) **Konditionierung der Atemgase bei intubierten Patienten in Anästhesie und Intensivmedizin [Habilitationsschrift]**. Georg-August-Universität, Göttingen, S 105 und 118–122
14. Rathgeber J (1999). **Atemgaskonditionierung in der Intensivmedizin**. In: Rathgeber J (Hrsg) **Grundlagen der maschinellen Beatmung**. Aktiv Druck & Verlag, Ebelsbach, S 161–173 und 322–323
15. Strauß JM, Hausdörfer J, Hagemann H, Schröder D (1992) **Klimatisierung anästhetischer Gase während Säuglingsnarkosen mit dem „Anästhesiarbeitsplatz Cicero“**. Anaesthesist 41: 534–538