

# Einfluss einer „modifizierten Open-Lung-Concept“ Beatmung mit unterschiedlichen Sauerstoffkonzentrationen auf die intra- und postoperative Lungenfunktion des Pferdes während der Allgemeinanästhesie

Sabine Schulte-Bahrenberg<sup>1</sup>, Klaus Hopster<sup>1</sup>, Sabine B. Kästner<sup>2</sup>, Karl Rohn<sup>3</sup> und Bernhard Ohnesorge<sup>1</sup>

Klinik für Pferde<sup>1</sup>, Klinik für Kleintiere<sup>2</sup> und Institut für Biometrie, Epidemiologie und Informationsverarbeitung<sup>3</sup>, Tierärztliche Hochschule Hannover

## Zusammenfassung

Ziel der Studie war die Untersuchung des Einflusses der Sauerstoffkonzentration des Trägergases auf die intra- und postoperative Lungenfunktion bei Beatmung nach einem modifizierten „Open-Lung-Concept“ während der Allgemeinanästhesie. Hierzu wurden 36 Warmblutpferde, die auf Grund akuter Kolik vorgestellt und einem Risikoeingriff in Rückenlage unterzogen wurden, in drei Gruppen zu je 12 Tieren eingeteilt. Einteilungskriterium war der Sauerstoffanteil des Trägergases während der Allgemeinanästhesie, welcher 35% (A<sub>35%</sub>), 55% (B<sub>55%</sub>) oder 90% (C<sub>90%</sub>) betrug. Die Narkoseprämedikation (0,04-0,08 mg/kg KGW Romifidin i.v.), Einleitung (0,05 mg/kg KGW Diazepam i.v. und 2,2 mg/kg KGW Ketamin i.v.) und Aufrechterhaltung (Inhalationsnarkose mit Isofluran) erfolgte in allen Gruppen identisch. Unmittelbar nach Beginn der Inhalationsnarkose wurden die Pferde nach einem modifizierten „Open-Lung-Concept“ beatmet. Intraoperativ wurden Herzfrequenz, mittlerer arterieller Blutdruck, Atemfrequenz, endexpiratorische Kohlendioxidkonzentration und die in- und expiratorische Isofluran- und Sauerstoffkonzentration gemessen sowie der Oxygenierungsindex und der alveoläre Totraum berechnet. Intra- und postoperativ wurden arterielle Blutgaswerte ermittelt. Des Weiteren wurde die Dauer der Aufwach- und Aufstehphase gemessen und deren Qualität mittels Score beurteilt. Im Vergleich der drei Gruppen lagen die Mittelwerte des PaO<sub>2</sub> der Gruppe C<sub>90%</sub> während des gesamten Narkoseverlaufs signifikant über denen der Gruppen A<sub>35%</sub> und B<sub>55%</sub>. Die Gruppen A<sub>35%</sub> und B<sub>55%</sub> unterschieden sich zu keinem Zeitpunkt signifikant. Die Werte des Oxygenierungsindex der Gruppe C<sub>90%</sub> lagen über den Werten der Gruppen A<sub>35%</sub> und B<sub>55%</sub>, wobei nur der Unterschied zwischen Gruppe C<sub>90%</sub> und B<sub>55%</sub> signifikant war. Bei Probanden der Gruppen A<sub>35%</sub> und B<sub>55%</sub>, insbesondere bei Probanden mit einer Erkrankung des Dickdarms, lagen signifikant häufiger arterielle Sauerstoffpartialdrücke <60mmHg vor als bei den Probanden der Gruppe C<sub>90%</sub>. Der zeitliche Verlauf der Aufstehphase, die Anzahl der Aufstehversuche und die Qualität der Aufstehversuche waren in den drei Gruppen identisch. In der vorliegenden Studie konnte gezeigt werden, dass eine Beatmung nach einem modifizierten „Open-Lung-Concept“ mit reduzierten Sauerstoffkonzentrationen im Trägergas zwar möglich ist, jedoch durch die Reduzierung keine Verbesserung des Oxygenierungsindex als Indikator des Ventilations-Perfusions-Verhältnisses erreicht werden kann. Bei Probanden mit Erkrankungen des Dickdarms war das Risiko einer Hypoxämie zu Beginn der Allgemeinanästhesie bei reduzierten Sauerstoffanteilen deutlich erhöht. Die Aufwach- und Aufstehphase wurde durch die intraoperativ gewählte Sauerstoffkonzentration nicht beeinflusst.

**Schlüsselwörter:** Kolikpatient, Allgemeinanästhesie, Beatmung, Open-Lung-Concept, Raumluft-Sauerstoff-Gemischen, Narkose

## Influence on horse's pulmonary function using a modified "Open-Lung-Concept"-Ventilation with different oxygen-concentration during general anaesthesia

The aim of this study was the evaluation of the influence of three different concentrations of inspired oxygen on the pulmonary function of horses in dorsal recumbency during general anaesthesia, and the recovery period. Thirty-six warmblood horses weighing at least 400 kg were included in the study. All horses were presented to the clinic for colic symptoms and underwent an emergency surgical procedure in dorsal recumbency. The horses were randomly allocated to one of three groups. Group A<sub>35%</sub> was ventilated with an inspired oxygen fraction (FiO<sub>2</sub>) of 35%, group B<sub>55%</sub> with 55% and group C<sub>90%</sub> with 90% using the open-lung-concept. Premedication (0.04-0.08 mg/kg romifidine i.v.), induction (0.05 mg/kg diazepam i.v. and 2.2 mg/kg ketamine i.v.), maintenance (inhalation: isoflurane) and hemodynamic pharmacological support (dobutamine and intravenous fluids) were identical in all horses. Arterial partial oxygen pressure (PaO<sub>2</sub>), arterial partial carbon dioxide pressure (PaCO<sub>2</sub>), arterial pH, PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> ratio, heart rate, arterial blood pressure, respiratory rate, end-expiratory rate of carbon dioxide (EtCO<sub>2</sub>), alveolar dead space, as well as inspiratory and end-expiratory concentration of isoflurane were analysed. Intra- and postoperatively arterial blood gases and acid-base status were measured. The quality and duration of the anaesthetic recovery period was scored. Included were the number of attempts to rise, time to first movement, time to sternal recumbency, time to standing position and the quality of recovery. The PaO<sub>2</sub> arterial oxygenation was significantly higher in horses of group C<sub>90%</sub> than in horses of group A<sub>35%</sub> or B<sub>55%</sub>. However, there was no significant difference between the oxygenation of horses in group A<sub>35%</sub> or B<sub>55%</sub>. In the intra- and postoperative period, the PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> ratio of group C<sub>90%</sub> was higher than those of group A<sub>35%</sub> and B<sub>55%</sub>, with group B<sub>55%</sub> having even lower values than group A<sub>35%</sub>. At least one measurement during the anaesthetic period revealed arterial hypoxemia (PaO<sub>2</sub> <60 mmHg) in 33% of the horses in group A<sub>35%</sub>, 50% of horses in group B<sub>55%</sub> and only in 8% of horses in group C<sub>90%</sub>. Arterial hypoxemia was observed particularly at the beginning of anaesthesia and mainly in horses with large intestinal distension. In the postanesthetic period the PaO<sub>2</sub> was highest in horses of group C<sub>90%</sub>, followed by those of group A<sub>35%</sub>. There was no significant difference in timing of events during the recovery period, except for an earlier regain of the swallowing reflex of horses in group B<sub>55%</sub> compared to horses in group A<sub>35%</sub>. The number of attempts to rise, the over-all manner as well as the balance and coordination during the recovery period was equal in all groups. In conclusion, using lower concentrations of oxygen for modified open-lung-concept-ventilation during anaesthesia is possible, even in the critically ill equine patient. There was no improvement of the ventilation-perfusion mismatch when using lower oxygen concentrations. In horses with large intestinal distension, decreased concentrations of FiO<sub>2</sub> are accompanied with a high risk of hypoxemia. The oxygen concentration did not influence the duration or quality of the recovery period.

**Keywords:** colic, anaesthesia, ventilation, open-lung concept, air-oxygen-mixture

## Einleitung

Ein wichtiger Grund für die Entstehung von Hypoxämien bei Pferden in Allgemeinanästhesie ist die Entstehung von atelektatischen Lungenarealen. Drei verschiedene Ursachen für die Bildung von Atelektasen sind beschrieben. Sie können demnach entweder durch den Verlust von Surfactant während mechanischer Beatmung, durch Kompression zwerchfellnaher Lungenanteile oder durch schnelle Resorption eines sauerstoffreichen Gasgemisches entstehen (Hedenstierna 2003). Die Bildung von Resorptionsatelektasen lässt sich auf die nahezu vollständige Resorption des Sauerstoffanteils im Trägergasgemisch, insbesondere bei der Verwendung von sauerstoffreichen Gasgemischen, zurückführen (Agarwal et al. 2002). So war bei Pferden, die in Allgemeinanästhesie entweder Raumluft oder 95% Sauerstoff atmeten, bereits nach 15 Minuten eine signifikant größere Atelektasenbildung bei den 95% Sauerstoff atmeten Pferden festzustellen (Marmell et al. 2005). Im Gegensatz dazu wird für die Entstehung von Kompressionsatelektasen bei Pferden in Allgemeinanästhesie als Hauptursache vor allem der Druck der Bauchhöhlenorgane auf das Zwerchfell angenommen, der bei Kolikpatienten mit starker Füllung des Gastrointestinaltraktes und bei Pferden in Rückenlage besonders stark ausgeprägt ist (Gasthuys et al. 1990). Ein mögliche Therapie und auch Prävention dieser Kompressionsatelektasen ist eine Beatmung nach dem „Open-Lung-Concept“ (Levionnois et al. 2006, Schürmann et al. 2008, Bringewatt et al. 2010, Hopster et al. 2011). Dabei werden atelektatische Bereiche der Lunge durch Eröffnungsmanöver mit erhöhten inspiratorischen Drücken dem Gasaustausch wieder zugänglich gemacht und durch Anlegen eines positiven endexpiratorischen Drucks (PEEP) offen gehalten (Lachmann 1992). Die Anwendung eines PEEP in Kombination mit einem erhöhten endinspiratorischen Druck führt zu einer Wiedereröffnung atelektatischer Lungenbereiche und damit zu einer deutlich verbesserten Oxygenierung (Tusman et al. 1999, Levionnois et al. 2006, Whalen et al. 2006, Schürmann et al. 2008, Hopster et al. 2011). Hypoxämien stellen beim Pferd auch in der postoperativen Phase ein Problem dar und werden trotz Insufflation von Sauerstoff in der Aufwachbox beobachtet (Mason et al. 1986). Im Vergleich mit Raumluft atmenden Pferden wird die Oxygenierung durch Sauerstoffinsufflation jedoch signifikant verbessert (De Moor und Van den Hende 1972, McMurry und Cribb 1989). Es konnte bereits nachgewiesen werden, dass Pferde nach Kolikoperationen unter Beatmung mit reinem Sauerstoff nach dem modifizierten „Open-Lung-Concept“ im Vergleich mit IPPV-Beatmung nach Beendigung der Beatmung in der frühen postoperativen Phase signifikant höhere  $\text{PaO}_2$ -Werte aufweisen (Hopster et al. 2011).

Ziel dieser Studie war es zu evaluieren, ob sich durch die Reduktion des Sauerstoffanteils im Beatmungsgasgemisch während Beatmung nach einem modifizierten „Open-Lung-Concept“ analog zu Humanstudien über die Reduktion von Resorptionsatelektasen eine weitere Verbesserung der Lungenfunktion intra- und postoperativ erzielen lässt.

## Material und Methode

Die Studie wurde an 36 Warmblutpferden durchgeführt, welche in der Klinik für Pferde aufgrund einer akuten Kolik vorgestellt wurden und bei denen eine mediane Laparotomie in Rückenlage durchgeführt wurde.

Die Sedierung erfolgte bei allen Tieren mit Romifidin (Sedivet®, Boehringer Ingelheim, Ingelheim, Germany) in einer Dosierung von 0,04-0,08 mg/kg KGW i.v.; im Anschluss wurde die Narkose mit Diazepam (DiazepamAbZ® 10mg, AbZ Pharma GmbH, Blaubeuren, Germany; 0,05 mg/kg KGW i.v.) und Ketamin (Narketan® 10 Vétoquinol CHASSOT GmbH, Ravensburg, Germany; 2,2 mg/kg KGW i.v.) eingeleitet. Nach endotrachealer Intubation und Lagerung auf den Operationstisch in Rückenlage wurden die Tiere an ein Inhalationsnarkose- und Beatmungsgerät (Vet.-Tec. Modell JAVC-2000 J.D. Medical Distributing Company, Phoenix, USA, Fa. Eickemeyer) sowie an einen Überwachungsmonitor (Kardio-kap5, Datex-Ohmeda GmbH, Duisburg) angeschlossen. Die Narkose wurde mit Isofluran (Isofluran® CP, CP-Pharma, Burgdorf, Germany) in einem bestimmten Raumluft-Sauerstoff-Gasgemisch aufrecht erhalten. Während der Allgemeinanästhesie wurden die Parameter Herzfrequenz, mittlerer arterieller Blutdruck, Atemfrequenz, inspiratorische Sauerstoffkonzentration ( $\text{FiO}_2$ ) sowie expiratorische Isofluran- und Kohlendioxidkonzentration ( $\text{EtIso}$ ,  $\text{EtCO}_2$ ) permanent überwacht. Die inspiratorischen und expiratorischen Beatmungsdrücke wurden an einem Manometer am Respirator abgelesen. Im Abstand von 10 Minuten erfolgte eine arterielle Blutgasanalyse. Um die Ventilation der Lunge zwischen den Probanden unabhängig von der inspiratorischen Sauerstoffkonzentration vergleichen zu können, wurde der Oxygenierungsindex (Horovitz-Quotient) aus dem Quotienten  $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$  errechnet. Bei allen Pferden wurden während der Allgemeinanästhesie Ringer-Lösung und HES-Lösung mit einer Infusionsrate von 10-12 ml/kg/Std und 1-2 ml/kg/Std infundiert. Zusätzlich erhielten die Tiere Dobutaminlösung über eine Spritzenpumpe nach Effekt (0,5 bis 5 µg/kg/min), um den mittleren arteriellen Blutdruck über 70 mmHg zu halten.

Die Probanden wurden vor der Einleitung randomisiert in drei Gruppen eingeteilt ( $A_{35\%}$ ,  $B_{55\%}$  und  $C_{90\%}$ ). Einteilungskriterium war der Sauerstoffanteil im Trägergas, welcher entweder 35% ( $A_{35\%}$ ), 55% ( $B_{55\%}$ ) oder 90% ( $C_{90\%}$ ) betrug. Um die Gasaustausch der Lunge zu beurteilen, wurde der Sauerstoffpartialdruck im arteriellen Blut ( $\text{PaO}_2$ ) mit dem Sauerstoffpartialdruck in den Alveolen mittels folgender Gasgleichung verglichen:

$$P_A\text{O}_2 = [ \text{FiO}_2 \times (P_{\text{ATM}} - P_{\text{H}_2\text{O}}) ] - \text{PaCO}_2/R$$

$P_A\text{O}_2$	= alveolärer Sauerstoffpartialdruck
$\text{FiO}_2$	= inspiratorische Sauerstoffkonzentration
$P_{\text{ATM}}$	= Atmosphärischer Druck [Hannover (Meereshöhe) 760 mmHg]
$P_{\text{H}_2\text{O}}$	= Wasserdampf-Druck
$\text{PaCO}_2$	= Kohlendioxidpartialdruck
R	= Respiratorischer Quotient (0,8)

65 % des so errechneten idealen alveolären Sauerstoffpartialdruck-Wertes wurden in Anlehnung an vorangegangene Studien (Schürmann et al. 2008, Bringewatt et al. 2010, Hopster et al. 2011) als  $\text{PaO}_2$  für eine ausreichende Lungenventilation in Allgemeinanästhesie angenommen. Daraus ergaben sich  $\text{PaO}_2$ -Grenzwerte von 150 mmHg für die Gruppe  $A_{35\%}$ , 240 mmHg für die Gruppe  $B_{55\%}$  und 400 mmHg für die Gruppe  $C_{90\%}$ .

Alle Pferde wurden nach dem Beginn der Narkose mit dem in das Narkosegerät integrierten Respirator (modifizierter Bird-Mark 7 Servo-Respirator) nach einem modifizierten „Open-

Lung-Concept“ (Hopster 2007, Bringewatt et al. 2010) beatmet. Dafür wurden ein inspiratorische Druck (PIP) von 35-40 cmH<sub>2</sub>O und ein positiver end-expiratorischer Druck (PEEP) von 10 cmH<sub>2</sub>O eingestellt. Um den Kohlendioxidpartialdruck (PaCO<sub>2</sub>) konstant zwischen 30 bis 50 mmHg zu halten, wurde eine Atemfrequenz zwischen 4 und 8 Zügen pro Minute am Respirator eingestellt. Eine aktive Rekrutierung der Lunge erfolgte, wenn der für die jeweilige Gruppe ermittelte Grenzwert für den PaO<sub>2</sub> unterschritten wurde. Für diese Rekrutierung wurde in drei aufeinander folgenden Atemzügen der PIP erhöht und für 10 Sekunden auf seinem Plateau gehalten. Dabei wurde beim ersten und dritten Atemzug ein endinspiratorischer Druck von 60 cmH<sub>2</sub>O und beim Zweiten ein endinspiratorischer Druck von 80 cmH<sub>2</sub>O eingestellt. Konnte durch das Rekrutierungsmanöver kein ausreichender Anstieg des PaO<sub>2</sub> erreicht werden, wurde es bis zu fünf Mal im Abstand von 10 Minuten wiederholt. Lag nach maximal 5 Rekrutierungsmanövern der PaO<sub>2</sub> weiter unter dem Grenzwert, wurde der PEEP auf 15 cmH<sub>2</sub>O erhöht und es erfolgten erneute Rekrutierungen der Lunge.

Zum Ende der Narkose wurde der Isofluranverdampfer auf Null gestellt und die Beatmung beendet. Die Pferde wurden unter Beibehaltung der Sauerstoffkonzentration manuell alle 30 Sekunden bis zum Einsetzen der Spontanatmung durch Kompression des Reservoirbeutels manuell beatmet. Anschließend wurden sie in eine gepolsterte und abgedunkelte Aufwachbox verbracht und ein Sauerstoffschlauch mit einer Flussrate von ca. 15 Litern pro Minute in die Nüster gelegt. Nach Beendigung der kontrollierten Beatmung und bis zum Einsetzen des Schluckreflexes erfolgten arterielle Blutgasanalysen im Abstand von 2 Minuten. Nach Einsetzen des Schluckreflexes wurden die Pferde mit 25% der initialen Dosis Romifidin (0,01-0,02 mg/kg KGW langsam i.v.) für die Aufstehphase sediert und diese anhand eines Aufwachphasenprotokolls (modifiziert nach *Biener* et al. 2003) überwacht. Die Qualität der Aufwachphase wurde durch subjektive Bewertung des Verhaltens der Probanden in der Aufwachbox in Seitenlage, in Brustlage und im Stehen vorgenommen und mit einem Score von 1 (ruhiges Verhalten) bis 4 (hochgradig unkoordiniertes Verhalten) bewertet. Des Weiteren wurde die Dauer der Aufwachphase sowie die Koordination der Aufstehversuche (1 = ruhiges Aufstehen in einem Versuch, 2 = ruhiges Aufstehen, mehrere Versuche, 3 = stürmische Aufstehversuche mit evtl. kleineren Verletzungen und 4 = stürmische Aufstehversuche mit hoher Wahrscheinlichkeit größerer Verletzungen) bewertet.

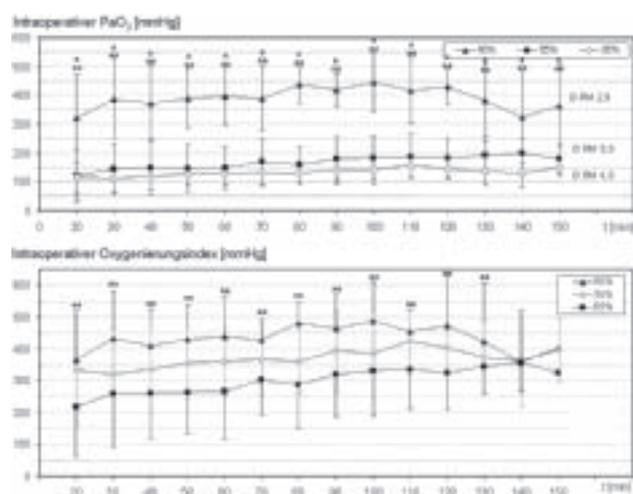
#### Statistische Auswertung

Die Ergebnisse sind als Mittelwerte  $\pm$  Standardabweichung dargestellt. Die statistische Auswertung aller ermittelten Parameter erfolgte mit dem Statistikprogramm SAS (SAS.Institute, Cary (North Carolina) USA). Die Überprüfung auf Normalverteilung erfolgte mit Hilfe des „Shapiro-Wilks“-Tests sowie visueller Beurteilung der QQ-Plots. Bei der Überprüfung des Einflusses der Parameter Zeit und Sauerstoffpartialdrücke wurde eine zweifaktorielle Varianzanalyse mit Berücksichtigung der Wechselwirkungen sowie „Tukey post hoc tests“ über den gesamten Narkosezeitraum herangezogen. Für die statistische Auswertung der in der Aufstehphase ermittelten Scorewerte wurden Wilcoxon-Score-Werte verglichen und der Kruskal-Wallis-Test durchgeführt. Ein signifikanter Unterschied lag bei einem adjustierten p-Wert (Fehlerwahrscheinlichkeit) von 0,05 vor.

## Ergebnisse

Die Probanden der drei Gruppen unterschieden sich nicht signifikant hinsichtlich Alter (A<sub>35%</sub> 9,6 $\pm$ 3,5 Jahre, B<sub>55%</sub> 7 $\pm$ 3,9 Jahre, C<sub>90%</sub> 8,8 $\pm$ 5,6 Jahre) und Körpergewicht (A<sub>35%</sub> 523 $\pm$ 66 kg, B<sub>55%</sub> 583 $\pm$ 66 kg, C<sub>90%</sub> 559 $\pm$ 69,3 kg). Auch bezüglich der Narkosedauer und der endexpiratorischen Isoflurankonzentration unterschieden sich die Probanden der drei Gruppen nicht signifikant.

Der intraoperativ ermittelte PaO<sub>2</sub> war in der Gruppe C<sub>90%</sub> signifikant größer als in den Gruppen A<sub>35%</sub> und B<sub>55%</sub> (Abb. 1 oben), zwischen den Gruppen A<sub>35%</sub> und B<sub>55%</sub> bestand kein signifikanter Unterschied. Der errechnete Oxygenierungsindex lag für die Gruppe C<sub>90%</sub> gleichfalls über den Werten der Gruppen A<sub>35%</sub> und B<sub>55%</sub>, wobei sich allerdings nur der Unterschied zwischen Gruppe C<sub>90%</sub> und B<sub>55%</sub> als signifikant erwies, und die Werte für die Gruppe A<sub>35%</sub> tendenziell über den Werten der Gruppe B<sub>55%</sub> lagen (Abb. 1 unten). Die durchschnittliche Anzahl an benötigten Rekrutierungsmanövern war in der Gruppe C<sub>90%</sub> (durchschnittlich 3 Manöver) signifikant gerin-



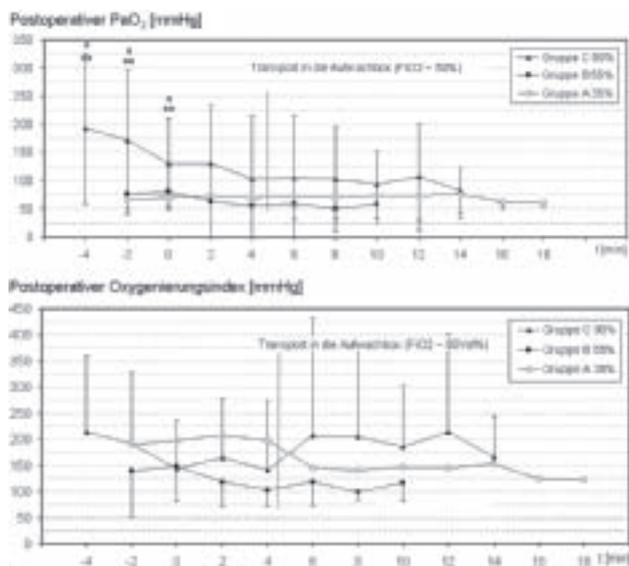
**Abb 1 oben** Intraoperativ gemessener PaO<sub>2</sub> der Pferde der drei Gruppen A<sub>35%</sub> (weiße Karos), B<sub>55%</sub> (schwarze Quadrate) und C<sub>90%</sub> (schwarze Dreiecke) über den zeitlichen Verlauf der Allgemeinanästhesie, Mittelwerte und Standardabweichung; \* statistisch signifikanter (p < 0,05) Unterschied zwischen den Gruppen A<sub>35%</sub> und C<sub>90%</sub>; \*\* statistisch signifikanter (p < 0,05) Unterschied zwischen den Gruppen B<sub>55%</sub> und C<sub>90%</sub>  
**unten** Intraoperativ errechneter Oxygenierungsindex (PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub>) der Pferde der drei Gruppen A<sub>35%</sub> (weiße Karos), B<sub>55%</sub> (schwarze Quadrate) und C<sub>90%</sub> (schwarze Dreiecke) über den zeitlichen Verlauf der Allgemeinanästhesie, Mittelwerte und Standardabweichung; \*\* statistisch signifikanter (p < 0,05) Unterschied zwischen den Gruppen B<sub>55%</sub> und C<sub>90%</sub>

ger als in der Gruppe B<sub>55%</sub> (durchschnittlich 5 Manöver). In der Gruppe A<sub>35%</sub> konnte bei sechs Probanden, in der Gruppe B<sub>55%</sub> bei acht Probanden und in der Gruppe C<sub>90%</sub> bei einem Probanden die jeweils festgelegte Grenze des PaO<sub>2</sub> trotz wiederholter Rekrutierungsmanöver nicht erreicht werden.

Die Mittelwerte des mittleren arteriellen Blutdrucks variierten über den gesamten Narkoseverlauf leicht und unterschieden sich zu keinem Messzeitpunkt signifikant von einander. Die Pferde der Gruppe A<sub>35%</sub> benötigten über den Narkoseverlauf

signifikant mehr Dobutamin ( $1,3 \mu\text{g}/\text{kg}/\text{min}$ ) als die Pferde der Gruppen  $B_{55\%}$  ( $0,7 \mu\text{g}/\text{kg}/\text{min}$ ) und  $C_{90\%}$  ( $0,8 \mu\text{g}/\text{kg}/\text{min}$ ). Hinsichtlich der Parameter Herzfrequenz, Atemfrequenz, endexpiratorische  $\text{CO}_2$ -Konzentration,  $\text{PaCO}_2$  und arterieller pH-Wert ergaben sich ebenfalls keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen.

Die postoperativ gemessenen Sauerstoffpartialdruck-Werte in der Gruppe  $C_{90\%}$  lagen über den gesamten Zeitraum über den Werten der Gruppen  $A_{35\%}$  und  $B_{55\%}$  (Abb. 2 oben), ein Unterschied, der bis zum Einsetzen der spontanen Atmung statistisch signifikant war. Nach Korrektur mittels Oxygenierungsindex ergaben sich zu keinem Zeitpunkt signifikante Unterschiede zwischen den drei Gruppen (Abb. 2 unten). In der Gruppe  $A_{35\%}$  konnte bei fünf, in der Gruppe  $B_{55\%}$  bei sieben und in der Gruppe  $C_{90\%}$  bei drei Pferden ein  $\text{PaO}_2 < 60 \text{ mmHg}$  für mindestens drei oder mehr Messungen nachgewiesen werden.



**Abb 2** oben: Postoperativ gemessenen  $\text{PaO}_2$  der Pferde der drei Gruppen  $A_{35\%}$  (weiße Karos),  $B_{55\%}$  (schwarze Quadrate) und  $C_{90\%}$  (schwarze Dreiecke) über den zeitlichen Verlauf der Allgemeinanästhesie, Mittelwerte und Standardabweichung; Zeitpunkt 0 Minuten: Einsetzen der Spontanatmung; \* statistisch signifikanter ( $p < 0,05$ ) Unterschied zwischen den Gruppen  $A_{35\%}$  und  $C_{90\%}$ , \*\* statistisch signifikanter ( $p < 0,05$ ) Unterschied zwischen den Gruppen  $B_{55\%}$  und  $C_{90\%}$  unten: Postoperativ gemessenen Oxygenierungsindex ( $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ ) der Pferde der drei Gruppen  $A_{35\%}$  (weiße Karos),  $B_{55\%}$  (schwarze Quadrate) und  $C_{90\%}$  (schwarze Dreiecke) über den zeitlichen Verlauf der Allgemeinanästhesie, Mittelwerte und Standardabweichung; Zeitpunkt 0 Minuten: Einsetzen der Spontanatmung; zu keinem Zeitpunkt ergeben sich statistisch signifikante Unterschiede

Der zeitliche Verlauf der Aufstiegsphase war bei den Probanden der drei Gruppen nahezu identisch. Auch hinsichtlich der Anzahl und der Qualität der Aufstiegsversuche ergaben sich keine signifikanten Unterschiede.

## Diskussion

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie konnten zeigen, dass sich durch die Reduzierung des Sauerstoffanteils im Trägergas

das Ventilations-Perfusions-Verhältnis der Lunge bei Kolikpatienten während der Inhalationsnarkose in Rückenlage und unter Verwendung einer modifizierten „Open-Lung-Concept“-Ventilation nicht positiv beeinflussen lässt.

Computertomographische Untersuchungen aus der Kleintier- und der Humananästhesie haben gezeigt, dass die Verwendung hoher Sauerstoffkonzentrationen im Trägergas signifikant häufiger zu atelektatischen Bereichen in der Lunge führt als bei der Verwendung niedriger Sauerstoffkonzentrationen (Hedenstierna und Rothen 2000, Agarwal et al. 2002, Staffieri et al. 2010). Der Unterschied in der Atelektasenbildung wurde in diesen Studien auf die vollständige Resorption des Sauerstoffs aus den Alveolen und dem dadurch verursachten Kollaps zurückgeführt. In einer weiteren Studie bei spontan atmenden Pferden unter Injektionsnarkose in Seitenlage wurde ebenfalls ein signifikant größeres Shuntvolumen bei der Verwendung von 95% Sauerstoff im Vergleich zu 21% Sauerstoff beobachtet (Marntell et al. 2005).

In der vorliegenden Studie wurde die Effizienz des Gasaustauschs über den arteriellen Sauerstoffpartialdruck beurteilt. Entsprechend der alveolären Gasgleichung wurden in der Gruppe  $A_{35\%}$  ein  $\text{PaO}_2$  von 150 mmHg, in der Gruppe  $B_{55\%}$  ein  $\text{PaO}_2$  von 240 mmHg und in der Gruppe  $C_{90\%}$  ein  $\text{PaO}_2$  von 400 mmHg als unterer Grenzwert für eine gute Lungenventilation in Allgemeinanästhesie angenommen. Ein Unterschreiten dieser Grenzwerte wurde als Hinweis für die vermehrte Entstehung von atelektatischen Lungenarealen gewertet. Bei dem Festlegen der Grenzwerte wurde jedoch von einem nahezu linearen Anstieg des  $\text{PaO}_2$  mit Erhöhung des  $\text{FiO}_2$  ausgegangen. Dieser lineare Verlauf ist vor dem Hintergrund mathematischer und klinischer Studien aus der Humanmedizin (Whiteley et al. 2002, Karbing et al. 2007) für eine Lunge mit Ventilations-Perfusions-Missverhältnissen und einem vergrößerten Shuntvolumen in Frage zu stellen. Vielmehr ist davon auszugehen, dass bei Lungen mit Ventilations-Perfusions-Missverhältnissen nach initialem Anstieg des  $\text{PaO}_2$  bei Konzentrationen zwischen 40 und 60 % zunächst die  $\text{PaO}_2$ -Werte gleich bleiben oder sogar abfallen können (Whiteley et al. 2002). Dies führen die Autoren darauf zurück, dass bei Sauerstoffkonzentrationen von 40 % oder größer nicht mehr genug Stickstoff im Trägergas ist, um das Kollabieren der Alveolen nach Resorption des Sauerstoffs zu verhindern. Gleichzeitig sind Sauerstoffkonzentrationen kleiner 60 % wahrscheinlich zu gering, um auch in schlecht perfundierten Lungenbereichen einen ausreichenden Konzentrationsgradienten aufzubauen, der dafür sorgt, dass Sauerstoff von den Alveolen ins Blut übertritt. Da für das Pferd bislang keine Orientierungswerte oder Vergleichskurven für den Verlauf des  $\text{PaO}_2$  im Verhältnis zum  $\text{FiO}_2$  vorliegen, wurde in der vorliegenden Studie bei der Berechnung der Partialdruck-Grenzwerte auf ein lineares Modell zurückgegriffen. Dies kann jedoch ein Grund dafür sein, dass es in den Gruppen  $A_{35\%}$  und  $B_{55\%}$  nicht immer möglich war, den  $\text{PaO}_2$  konstant über den festgelegten Grenzwerten von 150 bzw. 240 mmHg zu halten und die Pferde aus der Gruppe  $B_{55\%}$  im Vergleich zu den Pferden aus den Gruppen  $A_{35\%}$  und  $C_{90\%}$  niedrigere Oxygenierungswerte aufwiesen.

Um die Entstehung von Kompressionsatelektasen während der Allgemeinanästhesie zu reduzieren, wurden die Tiere nach einem modifizierten „Open-Lung-Concept“ beatmet

(Bringewatt et al. 2010, Hopster et al. 2011). Hierbei werden atelektatische Lungenareale mittels Erhöhung des inspiratorischen Drucks rekrutiert und die Neu-Entstehung von Atelektasen durch das Anlegen eines positiven end-expiratorischen Drucks (PEEP) verhindert. Bei den Kolikpatienten der vorliegenden Studie konnte bei 11 von 36 Pferden ein arterieller Sauerstoffpartialdruck  $<60$  mmHg beobachtet werden. Dabei waren 4 Pferde (von 12) aus der Gruppe A<sub>35%</sub>, 6 Pferde (von 12) aus der Gruppe B<sub>55%</sub> und 1 Pferd (von 12) aus der Gruppe C<sub>90%</sub> betroffen. Bei allen Tieren lag eine Pathologie des Dickdarms mit einhergehendem Meteorismus vor. Daher scheint die Gefahr einer (temporären) Hypoxie während der Allgemeinanästhesie vor allem bei diesen Patienten besonders groß. Die Hypoxie trat vor allem in den Gruppen mit niedrigeren inspiratorischen Sauerstoffkonzentrationen auf, da bei diesen Pferden aufgrund der niedrigeren Schwellenwerte eine Hypoxie mit arteriellen Sauerstoffpartialdrücken unter 60 mmHg früher zu erwarten ist. Diese Ergebnisse zeigen, dass es unabhängig von der Sauerstoffkonzentration im Inspirationsgas zu Atelektasen gekommen ist, die sich aber in den meisten Fällen durch die Beatmung mit PEEP und Lungenrekrutierung beheben ließen.

Die Überwachung und Beurteilung der Aufwach- und Aufstehphase setzte sich aus einem subjektiven und einem objektiven Teil zusammen. Die Bewertung des Verhaltens durch die Vergabe von Scorepunkten erfolgte nach subjektiver Einschätzung einer Person, objektiv war die Protokollierung der Zeitpunkte und der Anzahl der Aufstehversuche (Bienert et al. 2003). Zusätzlich wurden während der frühen Aufwachphase bis zum Einsetzen des Schluckreflexes der arterielle Sauerstoffpartialdruck überwacht. Nach Einsetzen der Spontanatmung erfolgte bei allen Pferden eine nasale Insufflation von Sauerstoff mit gleicher Flussrate, so dass ab diesem Zeitpunkt die inspiratorische Sauerstoffkonzentration bei allen Pferden identisch war. Zu diesem Zeitpunkt bestand kein signifikanter Unterschied hinsichtlich des PaO<sub>2</sub> zwischen den Gruppen. Ausgehend von Studien aus der Humanmedizin wäre zu erwarten gewesen, dass ein niedriger Sauerstoffgehalt während der Allgemeinanästhesie durch die Verminderung von Resorptionsatelektasen zu einer deutlich besseren Oxygenierung in der Aufwachphase führt (Benoit et al. 2002). Da dieses in der vorliegenden Studie am Pferd nicht nachvollzogen werden konnte, scheint hier die Resorption als Ursache für Atelektasenbildung und dadurch verminderte Oxygenierung nicht maßgeblich zu sein. Auch hinsichtlich des Aufstehverhaltens und der Aufwachdauer ergaben sich keine Unterschiede, die auf eine verbesserte Lungenfunktion hingedeutet hätten.

In Übereinstimmung mit theoretischen Überlegungen zur Lungenphysiologie, erwies sich in der vorliegenden Studie an Kolikpatienten in Allgemeinanästhesie und Rückenlage eine mittlere O<sub>2</sub>-Konzentration nicht als vorteilhaft. Durch die Reduktion des Sauerstoffgehalts im Trägergas konnte keine Verbesserung der Lungenfunktion erreicht werden. Vielmehr zeigten Patienten, die während der Anästhesie mit niedrigen Sauerstoffkonzentrationen im Trägergas beatmet wurden eine höhere Neigung, Hypoxien zu entwickeln. Aus diesem Grund sollten Patienten, bei denen aufgrund einer abdominalen Kolik eine Allgemeinanästhesie durchgeführt wird, mit einem sauerstoffreichen Trägergasgemisch beatmet werden, um die Gefahr von Hypoxien zu reduzieren.

## Literatur

- Agarwal A., Singh P.K., Dhiraj S., Pandey C. M. und Singh U. (2002) Oxygen in air (FiO<sub>2</sub> 0.4) improves gas exchange in young healthy patients during general anaesthesia. *Can. J. Anaesth.* 49, 1040-1043
- Benoit Z., Wicky S., Fischer J. F., Frascarolo P., Chapuis C., Spahn D. R. und Magnusson L. (2002) The effect of increased FiO<sub>2</sub> before tracheal extubation on postoperative atelectasis. *Anesth. Analg.* 95, 1777-1781
- Bienert A., Bartmann C. P., Von Oppen T., Poppe C., Schiemann V. und Deegen E. (2003) Standing behavior in horses after inhalation anaesthesia with isoflurane (Isoflo) and postanesthetic sedation with romifidine (Sedivet) or xylazine (Rompun)]. *Dtsch. Tierärztl. Wochenschr.* 110, 244-248
- Bringewatt T., Hopster K., Kaestner S.B.R., Rohn K. und Ohnesorge B. (2010) Influence on horse's cardiovascular and pulmonary function using a modified "Open-Lung-Concept"-Ventilation during total intravenous anaesthesia. *Vet. Rec.* 167, 1002-1006
- De Moor A. und Van Den Henden C. (1972) Inspiratory concentrations of O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, and N<sub>2</sub>O, arterial oxygenation and acid-base status during closed system halothane anaesthesia in the horse. *Zentralbl. Veterinar-med.* A. 19, 1-7
- Hedenstierna G. (2003) Alveolar collapse and closure of airways: regular effects of anaesthesia. *Clin. Physiol. Funct. Imag.* 23, 123-129
- Hedenstierna G. und Rothen H. U. (2000) Atelectasis formation during anaesthesia: Causes and measures to prevent it. *J. Clin. Mon. Comp.* 16, 329-335
- Hopster K., Kaestner S. B. R., Rohn K. und Ohnesorge B. (2011) „Intermittent positive pressure ventilation with constant positive end-expiratory pressure and alveolar recruitment manoeuvre during inhalation anaesthesia in colic horses and the influence on the early recovery period“ *Vet. Anaesth. Analg.* (in press)
- Gasthuys F., De Moor A. und Parmentier U. D. (1990): Time-related responses to a constant-dose halothane anaesthesia in dorsally recumbent ventilated ponies. *Zentralbl. Veterinar-med.* A 37, 492-498
- Karbing D. S., Kjaergaard S., Smith B. W., Espersen K., Allerød C., Andreassen S. und Rees S. E. (2007) Variation in the PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> ratio with FiO<sub>2</sub>: mathematical and experimental description, and clinical relevance. *Critical Care (London, England)* 11, R118
- Lachmann B. (1992) Open up the Lung and Keep the Lung Open. *Int. Care Med.* 18, 319-321
- Levionnois O. L., Iff I. und Moens Y. P. S. (2006) Successful treatment of hypoxemia by an alveolar recruitment maneuver in a horse during general anaesthesia for colic surgery. *Pferdeheilkunde* 22, 333-336
- Martell S., Nyman G. und Hedenstierna G. (2005) High inspired oxygen concentrations increase intrapulmonary shunt in anaesthetized horses. *Vet. Anaesth. Analg.* 32, 338-347
- Mason D. E., Muir W. W. und Wade A. (1986) Arterial Blood-Gas Tensions in the Horse during Recovery from Anesthesia. *Vet. Surg.* 15, 461-461
- McMurphy R. M. und Cribb P. H. (1989) Alleviation of Postanesthetic Hypoxemia in the Horse. *Can. Vet. J.* 30, 37-41
- Schürmann P., Hopster K., Rohn K., Deegen E. und Ohnesorge B. (2008) Optimierung des pulmonalen Gasaustauschs während der Pferdenarkose durch Beatmung nach dem „Open Lung Concept“. *Pferdeheilkunde* 24, 236-242
- Staffieri F., De Monte V., De Marzo C., Grasso S. und Crovace A. (2010) Effects of two fractions of inspired oxygen on lung aeration and gas exchange in cats under inhalant anaesthesia. *Vet. Anaesth. Analg.* 37, 483-490
- Tusman G., Bohm S. H., De Anda G. F. V., Do Campo J. L. und Lachman B. (1999) 'Alveolar recruitment strategy' improves arterial oxygenation during general anaesthesia. *Br. J. Anaesth.* 82, 8-13
- Whalen F. X., Gajic O., Thompson G. B., Kendrick M. L., Que F. L., Williams B. A., Joyner M. J., Hubmayr R. D., Warner D. O. und Sprung J. (2006) The effects of the alveolar recruitment maneuver and positive end-expiratory pressure on arterial oxygenation during laparoscopic bariatric surgery. *Anesth. Analg.* 102, 298-305
- Whitley J. P., Gavaghan D. J. und Hahn C. E. W. (2002) Variation of venous admixture, SF6 shunt, Pa-O<sub>2</sub>, and the Pa-O<sub>2</sub>/F-I-O<sub>2</sub> ratio with F-I-O<sub>2</sub>. *Br. J. Anaesth.* 88, 771-778

Dr. Klaus Hopster  
Tierärztliche Hochschule Hannover  
Klinik für Pferde  
Bischofsholer Damm 15, 30173 Hannover  
klaus.hopster@tiho-hannover.de