

Aus dem Zentrum für klinische Tiermedizin der tierärztlichen  
Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität München

Arbeit angefertigt unter Leitung von PD Dr. B. Wollanke

Evaluierung eines tragbaren Kapnographen und  
Pulsoximeters (Nellcor OxiMax® N-85TM)  
für die Pferdepraxis

INAUGURAL-DISSERTATION  
zur Erlangung der tiermedizinischen Doktorwürde  
der Tierärztlichen Fakultät  
der Ludwig-Maximilians-Universität München

von  
Sonja Heinze  
aus München

München 2012

gedruckt mit Genehmigung der Tierärztlichen Fakultät  
der Ludwig-Maximilians-Universität München

Dekan: Univ.-Prof. Dr. Braun

Berichterstatter: Priv.-Doz. Dr. Wollanke

Korreferent: Priv.-Doz. Dr. Reese

Tag der Promotion: 21. Juli 2012

meinen Eltern

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Einleitung</b> .....	<b>10</b>
<b>2 Literatur</b> .....	<b>12</b>
<b>2.1 Auswirkungen der Lagerung auf die Vitalparameter</b> .....	<b>12</b>
<b>2.2 Auswirkungen von Medikamenten auf die Vitalparameter</b> .....	<b>15</b>
2.2.1 Xylazin.....	15
2.2.2 Levomethadon.....	16
2.2.3 Ketamin.....	16
2.2.4 Guaifenesin.....	17
2.2.5 Diazepam.....	17
2.2.6 Isofluran.....	18
<b>2.3 Auswirkungen der Atmung auf die Vitalparameter</b> .....	<b>19</b>
2.3.1 Spontanatmung.....	19
2.3.2 Beatmung.....	19
<b>2.4 Intraoperative Narkosekomplikationen</b> .....	<b>20</b>
2.4.1 Hypoventilation / Bradypnoe / Apnoe.....	20
2.4.2 Hyperkapnie und respiratorische Azidose.....	21
2.4.3 Hypoxämie.....	22
2.4.4 Kreislaufdepression.....	23
2.4.4.1 Bradykardie.....	23
2.4.4.2 Hypotension.....	24
2.4.5 Tachykardie.....	25
2.4.6 Arrhythmien.....	25
<b>2.5 Narkosemonitoring</b> .....	<b>26</b>
2.5.1 Reflexe.....	27
2.5.2 Schleimhautfarbe.....	27
2.5.3 Pulswelle und Pulsqualität.....	28
2.5.4 EKG.....	28
2.5.5 Blutdruck.....	29
2.5.6 Pulsoximetrie.....	30
2.5.7 Kapnographie.....	35
2.5.8 Blutgasanalyse.....	38

<b>3 Material und Methode.....</b>	<b>40</b>
<b>3.1 Geräte.....</b>	<b>40</b>
3.1.1 Nellcor OxiMax® N-85TM.....	40
3.1.2 Dräger Infinity Delta.....	43
3.1.2.1 Nellcor Durasensor DS-100A.....	44
3.1.2.2 Scio® Four Oxi.....	45
3.1.3 NPT 7 .....	45
<b>3.2 Patientengut.....</b>	<b>45</b>
<b>3.3 Vorbereitung der Probanden.....</b>	<b>46</b>
3.3.1 Narkosevoruntersuchung.....	46
3.3.2 Jugularvenenkatheter.....	46
3.3.3 Prämedikation.....	46
<b>3.4 Versuchsaufbau.....</b>	<b>47</b>
3.4.1 Narkosevorbereitung.....	47
3.4.1.1 Injektionsnarkose.....	47
3.4.1.2 Inhalationsnarkose.....	47
3.4.2 Narkoseinduktion.....	48
3.4.3 Intubation.....	48
3.4.4 Lagerung.....	49
3.4.5 Unterhaltung der Narkose.....	49
3.4.5.1 Injektionsnarkose.....	49
3.4.5.2 Inhalationsnarkose.....	49
3.4.5.3 Beurteilung der Narkosetiefe.....	49
3.4.5.4 Erwünschte Narkosetiefe.....	50
3.4.5.5 Medikamente und Infusionen.....	50
3.4.6 Anschluss der Geräte.....	51
3.4.6.1 Injektionsnarkose.....	51
3.4.6.2 Inhalationsnarkose.....	54
3.4.6.2.1 Kapnographen.....	54
3.4.6.2.2 Pulsoximeter.....	55
3.4.6.2.3 Elektrokardiogramm.....	56
3.4.7 Parameter.....	57
3.4.7.1 Puls- und Herzfrequenz.....	57

3.4.7.2	Qualität der Pulswelle.....	58
3.4.7.3	Sauerstoffsättigung.....	58
3.4.7.4	Endexpiratorisches CO <sub>2</sub> .....	58
3.4.7.5	Atemfrequenz.....	59
3.4.7.6	Arterielle Blutgasanalyse.....	59
3.4.8	Postoperative Lagerung und Monitoring.....	59
<b>3.5</b>	<b>Statistische Auswertung.....</b>	<b>60</b>
<b>4</b>	<b>Ergebnisse.....</b>	<b>62</b>
<b>4.1</b>	<b>Überwachungsart und -dauer.....</b>	<b>62</b>
<b>4.2</b>	<b>Kapnographie.....</b>	<b>62</b>
4.2.1	Endexpiratorisches CO <sub>2</sub> .....	62
4.2.1.1	Inhalationsnarkose .....	63
4.2.1.2	Injektionsnarkosen.....	67
4.2.2	Atemfrequenz.....	69
<b>4.3</b>	<b>Pulsoximetrie.....</b>	<b>71</b>
4.3.1	Pulsfrequenz.....	71
4.3.1.1	Nellcor OxiMax® N-85TM und mittels Palpation gezählter Pulsfrequenz .....	72
4.3.1.2	Dräger Infinity Delta und mittels Palpation gezählter Pulsfrequenz.....	75
4.3.2	Sauerstoffsättigung.....	78
4.3.2.1	Vergleich aller Wertepaare der Sauerstoffsättigung.....	79
4.3.2.2	Abweichung der vom Gerät und palpatorisch ermittelter Pulsfrequenz beträgt maximal ± 3 .....	82
4.3.2.3	Ausschluss der Nullmessungen von Nellcor OxiMax® N-85TM.....	84
4.3.3	Fehlmessungen.....	86
<b>5</b>	<b>Diskussion.....</b>	<b>88</b>
<b>5.1</b>	<b>Diskussion der Methode.....</b>	<b>88</b>
5.1.1	Patientenauswahl.....	88
5.1.2	Narkosemanagement.....	88
5.1.3	Vergleich von Nellcor OxiMax® N-85TM, Dräger Infinity Delta und arterieller Blutgasanalyse.....	89
<b>5.2</b>	<b>Diskussion der Ergebnisse.....</b>	<b>90</b>
5.2.1	Kapnographie.....	90
5.2.1.1	Inhalationsnarkosen.....	90

5.2.1.1.1 Endexpiratorisches CO <sub>2</sub> .....	90
5.2.1.1.2 Atemfrequenz.....	91
5.2.1.2 Injektionsnarkosen.....	91
5.2.2 Pulsoximetrie.....	92
5.2.2.1 Pulsfrequenz.....	92
5.2.2.2 Sauerstoffsättigung.....	93
5.2.3 Empfehlung.....	94
<b>6 Zusammenfassung.....</b>	<b>96</b>
<b>7 Summary.....</b>	<b>98</b>
<b>8 Literaturverzeichnis.....</b>	<b>100</b>
<b>9 Anhänge.....</b>	<b>111</b>
9.1 Abbildungsverzeichnis.....	111
9.2 Tabellenverzeichnis.....	112
9.3 Liste aller Patienten.....	113
9.4 Narkoseprotokoll.....	118
<b>10 Danksagung.....</b>	<b>120</b>

## Abkürzungsverzeichnis

AV-Block	atrio-ventrikular Block
CO <sub>2</sub>	Kohlenstoffdioxid
EKG	Elektrokardiogramm
etCO <sub>2</sub>	endexpiratorischer Kohlenstoffdioxidpartialdruck
IPPV	positive intermittierende Druckbeatmung
kg	Kilogramm
KM	Körpermasse
mg	Milligramm
min	Minute
mmHg	Millimeter Quecksilbersäule
mol	Mol, Maßeinheit der Stoffmenge, entspricht $6,02 \cdot 10^{23}$ Teilchen
nm	Nanometer
O <sub>2</sub>	Sauerstoffdioxid
OLC	Open-Lung-Konzept
p <sub>(A-a)</sub> O <sub>2</sub>	alveolär-arterielle Sauerstoffdifferenz
p <sub>a</sub> CO <sub>2</sub>	arterieller Kohlenstoffdioxidpartialdruck
p <sub>a</sub> O <sub>2</sub>	arterieller Sauerstoffdioxidpartialdruck
PEEP	positiver endexpiratorischer Druck
s <sub>a</sub> O <sub>2</sub> /s <sub>e</sub> O <sub>2</sub>	arterielle Sauerstoffsättigung
µg	Mikrogramm



## Definitionen

Kapnographie: Messung des Kohlenstoffpartialdruckes in der Ausatemluft von Patienten, mit graphischer Darstellung

Hauptstromkapnographen: Der Messsensor wird direkt in das Beatmungssystem eingebracht und die komplette Atemluft wird patientennah untersucht. Es wird kein Probengas abgesaugt, als Referenzwert dient die Einatemluft die als nahezu CO<sub>2</sub>-frei angenommen wird.

Neben-/Seitenstromkapnographie: über einen Probenschlauch wird kontinuierlich eine geringe Menge Probengas aus der Ausatemluft abgesaugt und patientenfern untersucht. Als Referenzwert dient eine eigene Messkammer mit CO<sub>2</sub>-freiem Gas.

Pulsoximetrie: Methode zur nicht invasive Messung der arteriellen Sauerstoffsättigung

Partialdruck: Druck eines Gases innerhalb eines Gasgemisches, den das Gas bei alleinigem Vorliegen in dem selben Volumen ausüben würde.

Kohlenstoffdioxid-/Sauerstoffdioxidpartialdruck: wird als Maß für die Konzentration der Gase in einer Lösung verwendet. Der angegebene Druck entspricht dem Partialdruck des Gases, der an einer Grenzfläche zwischen Luft und Wasser zu einem Diffusionsgleichgewicht führt.

Sauerstoffsättigung: Maß für die Beladung des Hämoglobins mit Sauerstoffdioxid, es wird der Prozentanteil des gesamten Hämoglobins angegeben welcher mit Sauerstoff gebunden ist.

## 1 Einleitung

Beim Pferd ist das Narkoserisiko deutlich höher als in der Kleintier- oder Humanmedizin. Dies liegt einerseits am hohen Körpergewicht, das zu Herz-Kreislaufproblemen während der Narkose, Ischämie und Hypoxämie mit möglichen Folgen führen kann. Andererseits ist auch der Charakter des Pferdes als Fluchttier von Bedeutung und kann nicht nur während der Narkoseeinleitung, sondern insbesondere auch während der Aufstehphase zu Schwierigkeiten führen. Die Wahrscheinlichkeit für einen perioperativen Todesfall bei Vollnarkosen in Kliniken wird beim Pferd mit 0,5 – 1% angegeben (YOUNG et al, 1993; HUBBELL, 2004; GPM). Für Narkosen in der Praxis liegen keine Zahlen zum Risiko vor (GPM).

Um die Risiken bei Mensch und Tier möglichst gering zu halten, wird seit vielen Jahrzehnten an Möglichkeiten zur Narkoseüberwachung geforscht. So ist bereits im Jahr 1949 eine der ersten Veröffentlichungen über einen Gasanalysator erschienen, welcher mittels Infrarotabsorptionsspektroskopie arbeitet (FOWLER, 1949). Seit Ende der 80iger Jahre des zwanzigsten Jahrhunderts wird die Möglichkeit der Pulsoximetrie auch beim Tier angewandt (ERHARDT et al, 1989). Vor über zwanzig Jahren ging man in der Humanmedizin davon aus, dass es möglich sein müsste, mittels Nasensonde den Kohlenstoffdioxidgehalt in der Ausatemluft zu messen (BOWE et al, 1989). Dies ist in jüngerer Zeit mit der Microstream<sup>®</sup>™ -Technologie auch gelungen (COLMAN u. KRAUSS, 1999).

Der Kohlenstoffdioxidgehalt der Ausatemluft ist für den Anästhesisten von zentraler Bedeutung. Er gibt Aufschluss über die Metabolisierung, Lungenventilation und Lungenperfusion. Über die Lungenperfusion ist ein Rückschluss auf die Herz-Kreislaufsituation möglich (AUER u. STICK, 2006).

Für Kliniken wird von der Gesellschaft für Pferdemedizin (GPM) bei der Durchführung von Narkosen lediglich eine apparative Messeinrichtung für Herzfrequenz- und Rhythmus (EKG) gefordert. Weitere technische Überwachungsmöglichkeiten werden bei Einstufung des Pferdes als Risikopatient (z.B. Kolikoperationen) nötig. Es wird von der GPM angeraten, für diese

## 1 Einleitung

Patientengruppe Möglichkeiten zur Blutdruckmessung, Blutgasanalyse und Kapnographie bereit zu halten. Meist werden diese Apparate auch bei risikoärmeren Narkosen zur Überwachung angewandt, um die Gefahr eines Narkosezwischenfalles zu reduzieren.

Für Narkosen im Stall ist durch die GPM keine apparative Überwachung vorgeschrieben. Außerdem darf die Narkose durch eine instruierte Hilfsperson überwacht und fortgeführt werden.

Pferdebesitzer sind heute meist nicht mehr gewillt, Narkosezwischenfälle und ihre Folgen als gegeben zu akzeptieren. In der Regel wird bei Verlust des Tieres oder dauerhafter sportlicher Unbrauchbarkeit nach tierärztlichen Kunstfehlern oder einer Verletzung der Sorgfaltspflicht seitens des Tierarztes gesucht, um diesen zur Verantwortung zu ziehen. Allerdings sind wirtschaftliche Überlegungen auch heute noch, obwohl die meisten Pferde Freizeitpartner sind, durchaus relevant wenn es um die Entscheidung geht, ob eine Kastration im Stall oder in der Klinik durchgeführt wird.

Vor dem Hintergrund, dass in den nächsten Jahren die Anforderungen der GPM für Narkosen in der Praxis voraussichtlich dem Stand der technischen Möglichkeiten und dem steigenden Anspruch der Besitzer angepasst werden, war Ziel dieser Arbeit, ein preisgünstiges tragbares Narkoseüberwachungsgerät zu evaluieren. Das getestete Gerät „Nellcor OxiMax® N-85TM“ (Fa. Scilvet) beinhaltet sowohl die Möglichkeiten der Kapnographie als auch der Pulsoximetrie.

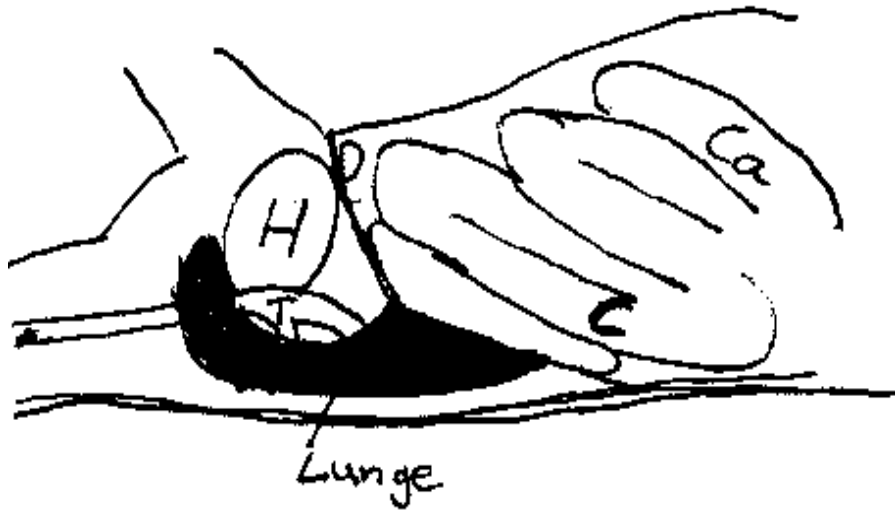
Des Weiteren soll im Rahmen dieser Dissertation geprüft werden, ob es beim Pferd zuverlässig möglich ist, am narkotisierten aber nicht intubierten Patienten die Kohlenstoffdioxidkonzentration in der Ausatemluft zu messen.

## 2 Literatur

### 2.1 Auswirkungen der Lagerung auf die Vitalparameter

Durch die Lagerung eines narkotisierten Pferdes kommt es zu Veränderungen bei den Vitalparametern. Sogar wenn ein waches Pferd in Seitenlage liegt, nimmt das Atemzugvolumen ab. Allerdings steigt kompensatorisch die Atemfrequenz, sodass das Atemminutenvolumen gleich bleibt. Folglich kommt es auch in Seitenlage beim wachen Pferd nicht zu nennenswerten Veränderungen des  $p_a\text{CO}_2$  im Vergleich zum Stand. Hingegen nimmt auch beim wachen Pferd in Seitenlage der  $p_a\text{O}_2$  infolge der Ventilations- und Perfusionsmissverhältnisse der Lunge ab und die alveolär-arterielle Sauerstoffdifferenz nimmt zu. Dieses unterschiedliche Verhalten von  $p_a\text{CO}_2$  und  $p_a\text{O}_2$  ist bedingt durch das jeweilige Diffusionsverhalten der Gase. Des Weiteren sinken beim wachen Pferd in Seitenlage sowohl der Blutdruck als auch die Herzfrequenz (HALL, 1984).

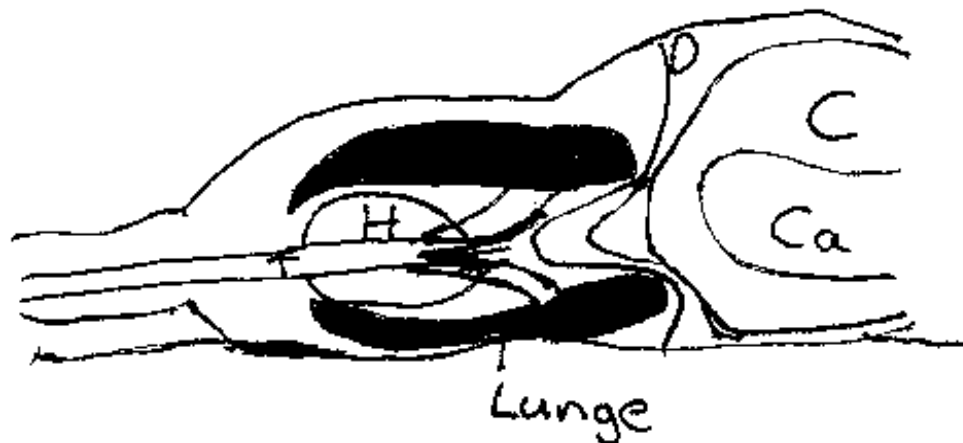
Es werden beim Pferd sowohl in Seitenlage als auch in Rückenlage die jeweils oben liegenden Lungenanteile gut belüftet aber schlecht durchblutet (HALL, 1984; SCHATZMANN, 1995a). Bei den unten liegenden Lungenanteilen verhält es sich genau umgekehrt (NYMANN et al, 1989). Die dorsokaudalen Lungenanteile sind unabhängig von der Lagerung am besten durchblutet (DOBSON et al, 1985). Durch die Narkosedauer kann diese Situation nicht beeinflusst werden. Wird ein Pferd in Seitenlage von einer Seite auf die andere gewendet, stellt sich die beschriebene Situation des Perfusions- und Ventilationsmissverhältnisses nach 15 Minuten wieder ein (HORNOF et al, 1986). Wird bei seitlicher Lagerung ein Röntgenbild der Lunge angefertigt, erscheint die untere Lungenhälfte verkleinert und ist von dichterem Struktur (McDONELL et al, 1979). Zusätzlich drücken die Eingeweide auf das Zwerchfell und schränken es in seiner Funktion als Atemmuskel ein (BENSON et al, 1982). In Narkose sind die physiologischen Kompensationsmechanismen eingeschränkt. Die Folge ist zusätzlich zur lagerungsbedingten arteriellen Hypoxämie auch eine arterielle Hyperkapnie.



**Abbildung 2.1: Auswirkungen der Rückenlage auf das Lungenvolumen**  
Das Zwerchfell wird durch den Druck der Eingeweide nach kraniodorsal verlagert und das Lungenvolumen komprimiert;

C = Colon; Ca = Caecum; D = Diaphragma; H = Herz; T = Trachea

modifiziert nach Taylor & Clarke 1987 und Senior 1968



**Abbildung 2.2: Auswirkungen der Seitenlage auf das Lungenvolumen**  
Durch das Eigengewicht des Pferdes und die Eingeweide des Thorax wird der untenliegende Lungenflügel komprimiert. Zusätzlich drücken die Eingeweide das Zwerchfell nach kranial.

C = Colon; Ca = Caecum; D = Diaphragma; H = Herz; T = Trachea

modifiziert nach Taylor & Clarke 1987 und Senior 1968

Es kommt beim Pferd während der Narkose zum Anstieg des Blutlaktatwertes, welcher unter anderem lagerungsabhängig ist. Vergleiche von Werten unmittelbar vor Narkosebeginn und gegen Ende der Narkose zeigen dabei einen deutlich geringeren Anstieg bei Lagerung in linker Seitenlage. Wird ein Pferd dagegen in die rechte Seitenlage oder Dorsallage verbracht, steigt der Laktatwert während der Narkose deutlich mehr an. Unter Umständen könnte die Anatomie des Herzens damit in Zusammenhang stehen (REIMOLD, 2006).

## 2.2 Auswirkungen von Medikamenten auf die Vitalparameter

Im Rahmen der Narkoseprämedikation, -induktion und -aufrechterhaltung finden verschiedene Medikamente Anwendung, die einen Einfluss auf den Respirations- und Herzkreislaufapparat ausüben können.

### 2.2.1 Xylazin

Als  $\alpha_2$ -Agonist wirkt Xylazin in Abhängigkeit von der Dosis sedierend, geringfügig analgetisch und leicht muskelrelaxierend. Nach intravenöser Injektion von  $\alpha_2$ -Agonisten bedingt eine vorübergehende starke periphere Vasokonstriktion eine Hypertonie. Diese Blutdruckerhöhung führt reflektorisch zur Bradykardie, welche durch AV-Blocks 2.Grades und sinuatriale Blocks gekennzeichnet ist (MUIR et al, 1977; GASTHUYS u. DE MOOR, 2006). Im Verlauf der Sedierung werden in hohem Maße zentrale  $\alpha$ -Adrenozeptoren in der Nähe des Kreislaufzentrums stimuliert. Der dadurch gegenüber dem Sympathikus überwiegende Vagustonus führt zu einer länger andauernden Hypotonie und verringerter Erregbarkeit des Herzens (HALL u. CLARKE, 1991; FREEMANN et al, 2002; LÖSCHER et al, 2002). Dieser Wirkungsverlauf ist auch in Narkose zu beobachten (STEFFEY et al, 2000).

$\alpha_2$ -Agonisten üben einen geringen Einfluss auf das Atmungssystem aus, es kann aber zu einem Abfall der Atemfrequenz kommen. Im Zusammenhang mit einer verringerten Lungenperfusion zu Beginn der Sedierung durch Vasokonstriktion und Blutdruckabfall kann eine verringerte Atemfrequenz zu einem deutlichen Absinken des  $p_aO_2$  und zum Anstieg des  $p_aCO_2$  führen (DAUNT u. STEFFEY, 2002).

Bei sehr jungen Fohlen sollten keine  $\alpha_2$ -Agonisten zur Narkoseprämedikation angewandt werden. Es ist bei diesen Patienten eine konstante Herzfrequenz erforderlich, um das Herzminutenvolumen beizubehalten (SCHATZMANN, 1995b; KÄSTNER, 2010).

### 2.2.2 Levomethadon

Levomethadon, ein Morphinderivat, bewirkt über Opiatrezeptoren vom  $\mu$ -Subtyp eine zentrale Analgesie und eine geringe Sedation. In niedrigen Dosen sind bei Morphinabkömmlingen nur geringfügige Nebenwirkungen zu erwarten, sodass die Anwendung im Zusammenhang mit Narkosen relativ risikoarm ist.

Levomethadon übt eine stark dämpfende Wirkung auf sympathische Zentren mit Herabsetzung des Sympathikustonus aus. Dies führt, bedingt durch überwiegende vagale Reize, zu Bradykardie, Bronchokonstriktion und peripherer Vasodilatation mit Blutdruckabfall. Um diese Nebenwirkungen zu verhindern wird Levomethadon in der Tiermedizin in Kombination mit Fenpipramid, einem Parasympatholytikum, verabreicht.

In höheren Dosen können Opiate zur Atemdepression führen. Die Reizschwelle des Atemzentrums für  $\text{CO}_2$  im Blut wird herabgesetzt. Durch die erniedrigte Atemfrequenz können Hypoxämie und Hyperkapnie auftreten (LÖSCHER et al, 2002; GASTHUYS u. DE MOOR, 2006).

### 2.2.3 Ketamin

Die Wirkstoffgruppe der dissoziativen Anästhetika, zu der Ketamin gehört, führt durch fehlende hypnotische Eigenschaften zu einem oberflächlichen Schlaf. Der Schluckreflex und die Augenreflexe bleiben während der Narkose erhalten.

Nach Injektion von Ketamin steigt die Atemfrequenz an während das Atemzugvolumen abnimmt. Zusätzlich kann es sowohl nach intravenöser als auch intramuskulärer Verabreichung zu einem durch wiederkehrende kurze Apnoephasen geprägten Atemmuster kommen. Abhängig von der Dosis steigen das Herzzeitvolumen, der Blutdruck und die Herzfrequenz an. Ketamin wirkt folglich nicht kreislaufdepressiv (MUIR et al, 1977; MAMA et al, 2005; GASTHUYS u. DE MOOR, 2006).

Wird die Narkoseinduktion mit Ketamin nicht im Anschluss an eine tiefe Sedierung durchgeführt, muss wegen der kataleptischen Wirkung mit Exzitationen und Muskelkrämpfen gerechnet werden (SCHATZMANN et al, 1984). Häufig ist eine



Prämedikation mit Xylazin (KÄSTNER, 2010), aber auch andere Kombinationen mit  $\alpha_2$ -Agonisten oder Tranquilizern sind möglich (GASTHUYS u. DE MOOR, 2006). Zusätzlich wird zu Ketamin meist auch Diazepam verabreicht. Eine Möglichkeit der Narkoseeinleitung für Fohlen bietet die alleinige Verabreichung von Ketamin und Diazepam (KÄSTNER, 2010).

### **2.2.4 Guaifenesin**

Wenn Guaifenesin bei Pferden als Muskelrelaxans angewendet wird, ist die Kombination mit einem Anästhetikum in ausreichender Dosis immer unabdingbar.

Der Vorteil des zentralen Muskelrelaxans Guaifenesin gegenüber peripher wirksamen Präparaten ist, dass die Skelettmuskulatur relaxiert ist, es aber bei relativ großer therapeutischer Breite noch nicht zur Atemlähmung kommt. Zentrale Muskelrelaxantien wirken im Bereich der Zwischenneuronen, periphere greifen an der motorischen Endplatte an (SCHATZMANN et al, 1984; GASTHUYS u. DE MOOR, 2006).

Bei relaxierten, in stehender Position fixierten Pferden bestehen nur geringe Veränderungen der Atemparameter, geringgradiger Blutdruckabfall und ein leichter Anstieg der Herzfrequenz, sodass die meisten Auswirkungen auf Kreislauf- und Respirationsapparat in Narkose nicht auf die Wirkung von Guaifenesin zurück zu führen sind (SCHATZMANN et al, 1982; GASTHUYS u. DE MOOR, 2006).

Es sollten nur 8-10 prozentige Lösungen infundiert werden, sonst kann es zu Venenreizungen kommen (WOLLANKE u. GERHARDS, 2006). Sind die verabreichten Lösungen stärker als 15-20 prozentig konzentriert kann es zur Hämolyse kommen. Prophylaktisch wird der Lösung Glukose oder Dextrose zugesetzt (SCHATZMANN et al, 1984).

### **2.2.5 Diazepam**

Diazepam ist ein Benzodiazepinderivat. Beim Pferd wird Diazepam nur in Kombination mit Ketamin und  $\alpha_2$ -Agonisten verwendet, dabei verstärkt es die

Wirkungen und Nebenwirkungen anderer Anästhetika. Erst in sehr hohen Dosen haben Benzodiazepine negative Auswirkungen auf Atmung und Kreislaufsystem. Weil es bei alleiniger Anwendung zu Exzitationen und Verhaltensänderungen kommen kann, sollte Diazepam außer bei sehr jungen Fohlen immer in Kombination mit anderen Sedativa verabreicht werden (SCHATZMANN, 1995b; LÖSCHER et al, 2002; KÄSTNER, 2010).

### **2.2.6 Isofluran**

Das gängigste Inhalationsnarkotikum für Pferde ist zurzeit Isofluran. Das zentrale Nervensystem wird von Isofluran reversibel und generalisiert unterdrückt, dies bestimmt die Anästhesietiefe. Dosisabhängig tritt wie bei jedem Narkotikum eine Beeinflussung von Kreislauf- und Respirationsapparat auf. So nehmen abhängig von der Isoflurankonzentration unter Spontanatmung Atemzugtiefe und -frequenz ab. Auf die sich einstellende Hyperkapnie kann der Körper nur eingeschränkt mit einer Erhöhung der Ventilationsrate reagieren. Des Weiteren führt Isofluran durch periphere Vasodilatation zum Blutdruckabfall. Das dadurch geringere Schlagvolumen wird über die Erhöhung der Herzfrequenz kompensiert. Das Herzminutenvolumen bleibt somit konstant (LÖSCHER et al, 2002; CliniPharm, 2010). Allerdings kann auch bei konstanter Herzfrequenz ein Absinken des peripheren Gefäßwiderstandes mit Blutdruckabfall und verringertem Herzauswurf beobachtet werden. Dies führt zur reduzierten Perfusion der Muskulatur (STEFFEY u. HOWLAND, 1980; MANOHAR et al, 1987; GROSENBRAUGH u. MUIR, 1998). Die geringe Beeinflussung des  $\text{Ca}^{2+}$  Einstroms am Herzmuskel und die  $\beta$ -adrenerge Wirkung sorgen für eine bessere Kontraktilität des Herzens als unter Halothananästhesie. Die depressive Beeinflussung des Herzmuskels ist bei Isofluran gering (GASTHUYS u. DE MOOR, 2006). Isofluran ist als Narkotikum auch für Pferde mit Leber- oder Nierenerkrankungen geeignet, es wird lediglich zu 0,2% metabolisiert, die restlichen 99,8% werden über die Lunge unverändert abgeatmet (PLUMB, 1999). Bei der Metabolisierung entsteht überwiegend Trifluoressigsäure. Auch bei wiederholter und länger andauernder Anwendung konnten keine Leberschädigungen festgestellt werden (CliniPharm, 2010). Bedingt durch einen Blut-Gas-

Verteilungskoeffizienten von 1,4 ist bei Isofluran eine schnelle An- und Abflutung und damit eine gute Steuerbarkeit gegeben (LÖSCHER et al, 2002; GASTHUYS u. DE MOOR, 2006).

Bei Fohlen kann die Narkose, mit oder ohne vorangegangener Sedierung, alleine mit Isofluran über eine Atemmaske eingeleitet werden (SCHATZMANN, 1995b).

### **2.3 Auswirkungen der Atmung auf die Vitalparameter**

#### **2.3.1 Spontanatmung**

Es kommt bei Spontanatmung während der Inspiration zu einem negativen intrathorakalen Druck. Dieser bewirkt neben dem Lufteinstrom in die Lunge auch einen verstärkten venösen Blutrückfluss zum Herzen (HUBBELL, 1991a). Diese physiologischen Verhältnisse werden, auch in Narkose, über eine aktive Thoraxbewegung durch die Zwerchfell- und Interkostalmuskulatur beibehalten. Das Herzschlag-, das Herzminutenvolumen und der arterielle Blutdruck können dadurch gegenüber den Verhältnissen unter Beatmung erhöht sein.

Unzureichende Lungenbelüftung und verminderter Gasaustausch führen während Spontanatmung zu Hyperkapnie, Hypoxämie und respiratorischer Azidose (STRAUB, 1996). Ein moderater  $p_a\text{CO}_2$  Anstieg während der Narkose wirkt sich durch eine erhöhte Freisetzung der Katecholamine Epinephrin und Norepinephrin positiv auf das Herz-Kreislaufsystem aus. Arterieller Blutdruck, Herzminutenvolumen und Herzschlagvolumen sind erhöht (WAGNER et al, 1990). Eine erhöhte Katecholaminausschüttung muss jedoch auch als Anzeichen für Stress gesehen werden. Eine flache Narkose kann durch eine Aktivierung des ZNS vorgetäuscht werden, es können gesteigerte Augenreflexe auftreten (MUIR, 1990 & 1991).

#### **2.3.2 Beatmung**

Durch die künstliche Beatmung kommt es zu einem positiven intrathorakalen Druck. Im Vergleich zu den Verhältnissen bei Spontanatmung führt der positive Druck zu

einem verminderten venösen Blutfluss zum Herzen. Dadurch vermindert sich das Blutvolumen am Herzen. Das Herzschlag-, das Herzminutenvolumen und der arterielle Blutdruck nehmen in der Folge ab (STEFFEY, 1980; HUBBELL, 1991a). Während der Beatmung haben Pferde eine tiefere Herzfrequenz als unter Spontanatmung (STRAUB, 1996).

Hyperkapnie, Hypoxämie und respiratorische Azidose können durch Beatmung verhindert werden. Eine verbesserte Lungenbelüftung und die Vermeidung von Atelektasen ermöglichen Werte im Normbereich (STRAUB, 1996). Auch bei verzögertem Beginn der Beatmung mittels IPPV kann der  $p_a\text{CO}_2$ -Wert im Blut gesenkt und die respiratorische Azidose abgemildert werden. Allerdings kann der  $p_{(A-a)}\text{O}_2$  Wert nur eingeschränkt verbessert werden und eine entstandene Hypoxämie nur in sehr geringem Maße ausgeglichen werden. Ursächlich hierfür sind während Spontanatmung entstandene Atelektasen (WOLFF UND MOENS, 2010). Die Beatmung nach dem Open-Lung-Concept (OLC) ermöglicht durch Rekrutierungsmanöver und PEEP das Öffnen entstandener Atelektasen und verhindert ein erneutes Kollabieren von Lungenarealen. Es werden, bei einem Sauerstoffangebot von über 90% in der Einatemluft  $p_a\text{O}_2$  Werte von über 400 mmHg erreicht. Dies wird als Indikator für einen ungehinderten Gasaustausch und eine fast vollständig geöffnete Lunge gesehen (SCHÜRMAN, 2005).

Ab welchem  $p_a\text{CO}_2$  zwingend beatmet werden soll ist in der Literatur nicht einheitlich geklärt. MUIR (1991) und HUBBEL (1991a) geben einen Wert von über 70 mmHg als Indikation für künstliche Beatmung an. Nach WOLFF und MOENS (2010) sollte sofort zu Beginn der Narkose beatmet werden.

## **2.4 Intraoperative Narkosekomplikationen**

### **2.4.1 Hypoventilation / Bradypnoe / Apnoe**

Eine Hypoventilation und Bradypnoe bis hin zur Apnoe kann nur bei Spontanatmung und assistierter Beatmung beobachtet werden. Ansonsten wird die minimale Atemfrequenz und das Atemzugvolumen vom Beatmungsgerät vorgegeben. Theoretisch kann auch ein falsch eingestelltes Beatmungsgerät zu einer

Hypoventilation führen. Die Störungen der Atmung treten abhängig von der Narkosetiefe und der verwendeten Anästhetika auf. Alle Inhalationsnarkotika üben eine depressive Wirkung auf den Respirationsapparat aus. Verstärkt wird die Hypoventilation durch den Druck der Eingeweide auf das Zwerchfell und akute oder chronische Obstruktionen der Bronchien. Atemmuster, welche von unterschiedlich tiefen Atemzügen und Phasen der Apnoe geprägt sind, können besonders nach Ketaminapplikation beobachtet werden. Systemische Probleme sind bei Pferden äußerst selten Ursache dieser ungewöhnlichen Atmung. (GASTHUYS u. DE MOOR, 2006).

Die Therapie einer zu niedrigen Atemfrequenz und Hypoventilation liegt in der künstlichen Beatmung des Pferdes und eventuell einer Reduktion der Narkosetiefe (GASTHUYS u. DE MOOR, 2006). Normal ist bei einem Pferd in Narkose eine Atemfrequenz zwischen 5 – 10 Zügen pro Minute. Ab einer Atemfrequenz von weniger als vier pro Minute beim erwachsenen Pferd spricht man von Bradypnoe (SCHATZMANN, 1995b).

### **2.4.2 Hyperkapnie und respiratorische Azidose**

Eine Hyperkapnie ist durch die Lagerung und die Auswirkungen der Narkotika auf die Atmung bedingt. Durch das beschriebene Missverhältnis zwischen Lungenbelüftung und Lungendurchblutung kommt es zur CO<sub>2</sub>-Retention. Ebenso sind die oben geschilderten Störungen der Atmung für eine verringerte Abgabe von CO<sub>2</sub> verantwortlich. Während Spontanatmung sind beim Pferd p<sub>a</sub>CO<sub>2</sub>-Werte von 50 – 70 mmHg normal (SCHATZMANN, 1995b), Werte bis 60 mmHg werden von gesunden Pferden gut toleriert (GASTHUYS u. DE MOOR, 2006). Bei kontrolliert-assistierter Beatmung liegen die etCO<sub>2</sub>-Werte nahezu im Normbereich von 43 – 47 mmHg (STRAUB, 1996). Bei p<sub>a</sub>CO<sub>2</sub>-Werten über 80 mmHg kommt es zu Muskelzuckungen und einem ineffektiven Anstieg der Herzfrequenz. Die Entscheidung zur Therapie des p<sub>a</sub>CO<sub>2</sub>-Wertes sollte allerdings auch vom Grad der Azidose abhängig gemacht werden (TAYLOR u. CLARKE, 2003).

Eine respiratorische Azidose ist die Folge der Hyperkapnie. Bedingt durch den sauren pH-Wert kommt es zur Ausschüttung von Katecholaminen, die den

Sympathikus aktivieren und dadurch der Entstehung von Bradykardie und Hypotension entgegenwirken können. Entsteht eine Azidose in gewöhnlichem Umfang bei der Narkose, so ruft diese keine klinischen Symptome hervor und hat wie oben beschrieben positive Auswirkungen auf das Herzkreislaufsystem (TAYLOR u. CLARKE, 2003). STRAUB (1996) hat mittlere pH-Werte beim spontanatmendem Pferd zwischen 7,28 und 7,21 ermittelt. Nach SCHATZMANN (1995b) liegt beim narkotisierten Pferd der Normalwert zwischen 7,35 und 7,45. Dieser Wertebereich kann bei kontrolliert-assistierter Beatmung eingehalten werden (STRAUB, 1996).

Die Therapie von Hyperkapnie und respiratorischer Azidose ist die Verbesserung des Gasaustausches durch erhöhte Atemfrequenz und vergrößertes Atemvolumen. Dies wird über assistierte oder kontrollierte Beatmung oder Reduzierung der Narkosetiefe erreicht.

### **2.4.3 Hypoxämie**

Eine arterielle Hypoxämie ist definiert als eine arterielle Sauerstoffsättigung von unter 80 mmHg (SCHATZMANN, 1995b). Die Hauptursache für einen zu niedrigen  $p_aO_2$  liegt in dem oben beschriebenen Missverhältnis von Lungenbelüftung und Lungendurchblutung, so dass es zu einer verringerten Aufnahme von  $O_2$  in das Blut kommt. Eine weitere Ursache ist die beschriebene atemdepressive Wirkung des Inhalationsnarkotikums Isofluran. Durch das schlechtere Diffusionsverhalten von Sauerstoff kommt es bei Hypoventilation schneller zu Hypoxämie als zu Hyperkapnie.

Die Folgen einer arteriellen länger andauernden Hypoxämie sind vielschichtig. So kann es intraoperativ zu Tachykardie (MUIR et al, 2007) und Arrhythmien (DAY et al, 1995) kommen. Ein Kreislaufstillstand kann sich bedingt durch eine Sauerstoffunterversorgung entwickeln (SCHATZMANN, 1995b). In der Aufstehphase können Probleme durch hypoxisch bedingte Myositis, insbesondere bei schweren Pferderassen, auftreten. Die Anfälligkeit für hypoxische Schädigung von Muskulatur und ZNS ist beim Pferd, bedingt durch das höhere Körpergewicht, höher als bei anderen Tierarten (SCHATZMANN, 1995b). Eine postanästhetische Pneumonie kann

ihre Ursache ebenfalls in einer gestörten Sauerstoffversorgung während der Narkose haben (DAY et al, 1995).

Um einer Hypoxämie entgegenzuwirken sollte sofort nach Narkosebeginn mit der kontrolliert-assistierten Beatmung mittels IPPV begonnen werden. Ein späterer Beginn bewirkt keine ausreichende Erhöhung des  $p_aO_2$  und Reduktion des  $p_{(A-a)}O_2$ . Bereits entstandene Atelektasen von Lungenbereichen können durch gewöhnliche Beatmung nicht geöffnet und wieder zum Gasaustausch herangezogen werden (WOLFF u. MOENS, 2010). Alternativ kann nach dem OLC beatmet werden. Hierbei sind Rekrutierungsmanöver zum Öffnen atelektatischer Lungenbereiche vorgesehen. Die Beatmung mit PEEP verhindert das erneute Kollabieren von Lungenbereichen (SCHÜRMAN, 2005).

### **2.4.4 Kreislaufdepression**

#### **2.4.4.1 Bradykardie**

Ab welcher Herzfrequenz von Bradykardie gesprochen wird ist in der Literatur nicht einheitlich definiert. Bei einer Herzfrequenz von unter 28 Schlägen pro Minute, die mit AV-Blocks zweiten Grades einhergeht, sollte therapeutisch eingegriffen werden (SCHATZMANN, 1995b). MUIR (1991) hält schon einen Herzschlag von weniger als 30 Schlägen pro Minute für behandlungsbedürftig. Andere Autoren sprechen erst ab einer Frequenz von weniger als 25 Schlägen pro Minute von einer Bradykardie (TAYLOR u. CLARKE, 2003; HUBBELL, 2004).

Eine Bradykardie kann als Nebenwirkung nach der Verabreichung von  $\alpha_2$ -Agonisten oder Opiatanalgetika auftreten (GASTHUYS u. DE MOOR, 2006). Mögliche weitere Ursachen sind zu tiefe Narkose, vagale Stimulation durch den Chirurgen, Hypertonie, Hypothermie, Hyperkaliämie oder Ischämien des Herzmuskels (MUIR et al, 2007).

Eine Bradykardie wird mit Reduktion der Narkotika und eventuell mit der intravenösen Verabreichung von Atropin (0,01 – 0,02 mg/kg KM) therapiert (SCHATZMANN, 1995b; TAYLOR u. CLARKE, 2003). Ebenso kann Dobutamin (Dosierung von 1,25 – 2,5  $\mu$ g/kg KM/min) als positiv inotropes Medikament angewendet werden (GASTHUYS u. DE MOOR, 2006). Nach der Therapie mit

Atropin kann es zu einer sympathisch induzierten Tachykardie kommen. Atropin reduziert die Darmmotilität, sodass die Gefahr der Ausbildung einer Obstipation erhöht ist. Aus diesem Grund sollte postanästhetisch bei mit Atropin behandelten Pferden der Kotabsatz kontrolliert und prophylaktisch Mash zugefüttert werden. Zusätzlich sollten diese Pferde postoperativ mindestens sechs Stunden hungern (LÖSCHER et al, 2002).

### **2.4.4.2 Hypotension**

Eine Hypotension ist definiert als Abfall des mittleren arteriellen Blutdrucks unter 70 mmHg (MUIR, 1991) beziehungsweise des systolischen Blutdrucks unter 80 mmHg (SCHATZMANN, 1995b). Viele im Rahmen der Narkose angewandte Medikamente und auch die eventuell nötige Beatmung üben einen negativen Einfluss auf den Blutdruck aus. Der Blutdruck steht in engem Zusammenhang mit Herzauswurf und peripherem Gefäßwiderstand. Der Blutdruck ist das Produkt aus Herzminutenvolumen und peripherem Gefäßwiderstand. Daher haben reduzierte Myokardkontraktilität und eine verringerte Vorlast des Herzens einen Blutdruckabfall zur Folge. Ein verringertes Volumenangebot am Herzen liegt bei peripherer Vasodilatation, starkem Blut- oder Flüssigkeitsverlust vor.

Neben dem gemessenen Druck sind klinische Anzeichen für einen schlechten Blutdruck eine verlängerte kapilläre Füllungszeit, blasse Schleimhäute und eine schwache, kaum fühlbare Pulswelle (HUBBELL, 2004). Ein zu niedriger Blutdruck hat immer eine schlechte periphere Perfusion mit verringerter muskulärer Durchblutung zur Folge, dies ist eine Ursache für postanästhetische Myopathien. Ebenso kommt es während einer Hypotonie zu reduzierter Nierendurchblutung mit Einschränkungen der glomerulären Filtration. Ein massiver Anfall von Myoglobin im Zusammenhang mit Muskelschädigungen kann zu Obstruktionen der Nierentubuli und zum Nierenversagen führen (GRANDY et al, 1987).

Bei Auftreten einer Hypotonie sollten zu Beginn der Therapie wenn möglich die Anästhetikazufuhr und die Narkosetiefe reduziert werden. Alle weiteren Schritte haben das Ziel, die Herzauswurfleistung zu erhöhen und eine periphere Vasokonstriktion herbeizuführen. Als erstes wird versucht, die Vorlast des Herzens



durch die intravenöse Infusion von 0,9%-iger NaCl- oder Ringer®-Lösung zu erhöhen. Bei stärkerem Blutdruckabfall kann, als zweiter Schritt, die Anwendung von positiv inotropen Medikamenten wie Dobutamin (Dosierung von 1,25 – 2,5 µg/kg KM/min i.v.) notwendig werden (GASTHUYS u. DE MOOR, 2006). Wenn der Blutdruckabfall durch einen massiven Flüssigkeitsverlust bedingt ist, können zusätzlich noch kolloidale Flüssigkeiten wie Dextran 70% oder Hydroxyethylstärke infundiert werden. Besonders bei Dextranen besteht die Gefahr eines anaphylaktischen Schocks (LÖSCHER et al, 2002). α-adrenerge Substanzen wie Adrenalin (Dosierung 1 - 3 µg/kg KM i.v.) oder Phenylephrin (Dosierung 0,01 mg/kg KM i.v.) führen zu einer peripheren Vasokonstriktion und einem verstärkten coronalen und intracerebralen Blutfluss (GASTHUYS u. DE MOOR, 2006)

### **2.4.5 Tachykardie**

Vorübergehende Tachykardien können unmittelbar nach Anästhesieeinleitung mit Ketamin oder der Verabreichung von Atropin beobachtet werden.

Ursachen für eine länger andauernde Tachykardie sind chirurgische Stimulation durch eine zu flache Narkosetiefe, Hypoxämie, Hyperkapnie, anaphylaktische Reaktionen, Fieber, Hypovolämie, Endotoxämie oder die versehentliche Überdosierung von Dobutamin (GRANDY u. HODGSON, 1988; GASTHUYS u. DE MOOR, 2006; MUIR et al, 2007).

### **2.4.6 Arrhythmien**

Arrhythmien treten während der Allgemeinnarkose bei Pferden nur selten auf. Ursächlich kann, insbesondere bei Halothannarkosen, eine Sensibilisierung des Herzens für die Wirkung von Katecholaminen sein (GASTHUYS u. DE MOOR, 2006). Isofluran zeigt diese Nebenwirkung kaum (LÖSCHER et al, 2002). Weitere Gründe für Arrhythmien sind ein erhöhter Sympathikustonus durch Erregung bei der Narkoseinduktion, Hyperkapnie,

Hypoxämie oder eine Reaktion auf chirurgische Stimuli bei zu flacher Narkoseführung. Während der Entnahme eines Augapfels kann es bei Durchtrennung des N. opticus zu Herzfrequenzschwankungen, Vorhofflimmern und Asystolie kommen. Dieses Phänomen wird als okulokardialer Reflex bezeichnet (GASTHUYS u. DE MOOR, 2006).

Die Anwendung von Dobutamin kann zu Unregelmäßigkeiten bei der Herzfrequenz führen (YOUNG et al, 1998; GEHLEN et al, 2006).

Als erstes sollte versucht werden, Arrhythmien durch Beseitigung der Ursache zu therapieren. Bei länger andauernden Störungen der Herzfrequenz kann die Verabreichung von Lidocain, in einer Dosierung von 1,5 mg/kg KM oder 50 – 100 µg/kg KM/min, notwendig werden (GASTHUYS u. DE MOOR, 2006).

### **2.5 Narkosemonitoring**

Bei anästhesierten Pferde sollten kontinuierlich Herzkreislaufapparat und die Effektivität der Atmung überwacht werden. Diese lebenswichtigen Funktionen sind wie oben beschrieben durch einige im Rahmen der Narkose angewandte Medikamente und auch die unphysiologische Lagerung während der Allgemeinanästhesie eingeschränkt. Es ist empfehlenswert, alle fünf Minuten einen Eintrag in das Narkoseprotokoll zu schreiben. In diesem sind die Parameter der Voruntersuchung, die Narkoseart, angewandte Medikamente mit Dosierung, Narkosetiefe und die Vitalparameter protokolliert (SCHATZMANN, 1995b; HUBBELL, 2004). Diese Maßnahme hilft, den Verlauf einer Narkose besser abzuschätzen und mögliche Veränderungen frühzeitig zu erkennen. Je früher der Anästhesist Abweichungen erkennt, desto schneller kann er eingreifen bevor es zu ernststen Narkosekomplikationen oder Problemen in der Aufwachphase kommt (TAYLOR u. CLARKE, 2003; HUBBELL, 2004). Das Narkoseprotokoll ist zusätzlich ein Dokument über die tierärztliche Tätigkeit, welches bei Streitfällen Bedeutung erlangen kann.

### **2.5.1 Reflexe**

Zur Einschätzung der Narkosetiefe ist die Beurteilung des Auges sowie des Palpebral- und des Kornealreflexes von besonderer Bedeutung.

Während der Narkoseeinleitung sind beide Reflexe vollständig erhalten und zusätzlich ist ein Nystagmus erkennbar. Bei Erreichen des Anästhesiestadiums III ist kein Nystagmus mehr sichtbar, der Lidreflex kann verzögert bis vollständig erloschen sein. Der Kornealreflex ist erst bei zu tiefer Narkoseführung nicht mehr auslösbar (SCHATZMANN, 1995b; WOLLANKE u. GERHARDS, 2006).

### **2.5.2 Schleimhautfarbe**

Physiologischer Weise ist bei einem Pferd die kapilläre Füllungszeit kleiner als zwei Sekunden und die Schleimhaut blassrosa. Auch während einer Allgemeinanästhesie ist dies der Normalzustand.

Eine blasse Schleimhautfarbe kann durch eine Anämie bedingt sein. Ein anderer Grund ist eine mögliche periphere Vasokonstriktion. Diese entsteht nach Verabreichung von Adrenalin, in der Zentralisationsphase des Schockgeschehens und bei erhöhter Katecholaminausschüttung des Körpers. Rosa Schleimhäute können ein Anzeichen für schlechten Gasaustausch und Hyperkapnie sein (TAYLOR u. CLARKE, 2007).

Kommt es zur Blutversackung in der Peripherie sind die Schleimhäute violett, zyanotisch verfärbt (GERHARDS, 2006). Eine zyanotische Schleimhautfarbe ist ein Zeichen für starke Sauerstoffunterversorgung des Gewebes. Ursächlich kann neben der peripheren Blutversackung eine allgemeine Sauerstoffunterversorgung des gesamten Körpers sein.

Eine starke periphere Vasokonstriktion mit Minderdurchblutung des lokalen Gewebes und daraus resultierendem Sauerstoffmangel führt zu blassen Schleimhäuten(WOLLANKE, 2011)

### **2.5.3 Pulswelle und Pulsqualität**

Zur manuellen Messung der Pulsfrequenz und Beurteilung der Qualität werden gerne große periphere Arterien genommen, die eine knöcherne Unterlage haben. Besonders geeignet sind die A. facialis und A. metatarsa dorsalis (GASTHUYS u. DE MOOR, 2006).

Die Fühlbarkeit einer Pulswelle lässt den Rückschluss zu, dass eine Herzauswurfleistung erhalten ist. Die Qualität der Pulswelle kann, bei ausreichender Erfahrung des Anästhesisten, Hinweise auf die periphere Perfusion liefern. Allerdings sollte die Beurteilung von peripherer Durchblutung und Blutdruck anhand des Pulses immer sehr kritisch erfolgen und der Blutdruck besser apparativ gemessen werden (SCHATZMANN, 1995b; TAYLOR u. CLARKE, 2007). Die meisten Medikamente, die bei der Narkose zur Anwendung kommen, haben Einfluss auf die Gefäßspannung und verfälschen somit die Pulsqualität (HUBBELL, 1991b).

### **2.5.4 EKG**

TAYLOR und CLARKE (2003) empfehlen besonders bei Narkosen, die länger als 45 Minuten dauern kontinuierlich die Herzfrequenz eines Pferdes mittels Elektrokardiographie (EKG) aufzuzeichnen. Ein EKG zeigt lediglich die elektrische Herzaktivität an. Sie hat keinerlei Aussage über die Auswurfleistung des Herzens (McKELVEY u. HOLLINGSHEAD, 2003). Um die Herzkreislauffunktion zu ermitteln wäre der Herzauswurf die ideale Messgröße. Diese wird aber auf Grund der Risiken und technischen Anforderungen bei der Herzkatheterisierung nur für Forschungszwecke bestimmt.

Mittels EKG können Arrhythmien erkannt werden, deren Art sich meist anhand der Veränderungen der PQRS-Konfiguration bestimmen lässt. Eine Senkung der ST-Strecke sollte ein Grund sein, die Narkose möglichst rasch zu beenden. Sie ist ein Hinweis auf eine Sauerstoffunterversorgung des Herzmuskels (SCHATZMANN, 1995b).

### **2.5.5 Blutdruck**

Beim Pferd ist eine direkte oder indirekte Messung des Blutdrucks möglich. Die direkte Messung gilt als der Goldstandard in der Überwachung des Blutdrucks. Eine intraarteriell gelegte Kanüle wird mittels Infusionsschlauch mit der Messapparatur verbunden. Der Schlauch ist mit physiologischer Kochsalzlösung gefüllt. Aufgrund der guten Zugänglichkeit der Arterien wird der arterielle Zugang meist am Kopf des Pferdes (A. facialis oder A. transversa faciei) oder an einem Hinterbein (A. metatarsa dorsalis) gelegt (SCHATZMANN, 1995b). Wie bei allen invasiven Methode besteht das Risiko von Infektionen und Thrombosen.

Die indirekte Messung des Blutdrucks mittels Schweifmanschette kann exakte Werte liefern. Es müssen aber viele beeinflussende Faktoren wie Manschettenbreite, -länge und Enge der angelegten Manschette berücksichtigt werden (IONITA, 2009).

Wie schon oben beschrieben kann der Blutdruck auch durch den Anästhesisten mittels Palpation einer peripheren Arterie bestimmt werden. Besonderen Einfluss hat hierbei die Erfahrung des Anästhesisten (SCHATZMANN, 1995b; TAYLOR u. CLARKE, 2007).

Der Blutdruck hängt mit der Narkosetiefe zusammen. Wird das Pferd wach, steigt der Blutdruck, nimmt die Narkosetiefe zu sinkt der Blutdruck ab (HUBBELL, 2004). Dies ist besonders hilfreich wenn das Auge des Pferdes nicht zur Beurteilung der Narkosetiefe herangezogen werden kann.

JOHNSTON (2004) hat nachgewiesen, dass die Häufigkeit tödlicher Narkosezwischenfälle durch Herzkreislaufprobleme abnimmt, wenn der Blutdruck überwacht wird. Es ist dabei ein schnelleres Eingreifen durch den Anästhesisten möglich. Wie bereits unter dem Punkt 2.4.4.2 Hypotension beschrieben hängen einige postanästhetische Komplikationen eng mit dem Blutdruck zusammen. Durch Blutdruckmessungen und eine dadurch mögliche angemessene Therapie einer Hypotension kann diesen vorgebeugt werden. Gerade wenn Pferde länger als 45 Minuten in Narkose liegen, sollte der Blutdruck bestimmt werden (TAYLOR u. CLARKE, 2003).

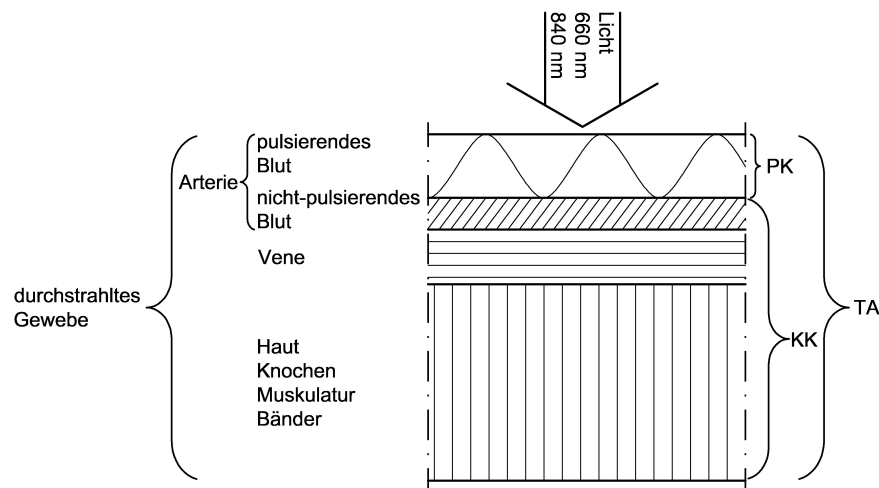
### 2.5.6 Pulsoximetrie

Pulsoximeter liefern dem Anästhesisten Aussagen über die Pulsfrequenz und die Sauerstoffsättigung. Indirekt lassen sich über die Messungen eines Pulsoximeters Rückschlüsse auf die periphere Durchblutung ziehen.

Die Funktionsweise eines Pulsoximeters beruht auf dem Absorptionsgesetz von Lambert und Beer. Die direkte Anwendung des Gesetzes für die Berechnung der Konzentration ist allerdings eingeschränkt. Das durchstrahlte Gewebe entspricht nicht den idealen Voraussetzungen für eine spektralphotometrische Messung. Es treten als zusätzliche Einflussfaktoren das umliegende Gewebe und weitere korpuskuläre Blutbestandteile auf, die sowohl Licht absorbieren als auch streuen. Mit Hilfe von rotem (660 nm) und infrarotem (880 - 940 nm) Licht wird spektralphotometrisch die Konzentration an sauerstoffgesättigtem Hämoglobin und seiner Derivate bestimmt. Oxigeniertes Hämoglobin hat sein Absorptionsmaximum in Bereichen anderer Wellenlängen als sauerstofffreies Hämoglobin. Die Messung erfolgt in Lichtbereichen mit möglichst großer Differenz der Absorptionskurven beider zu unterscheidender Oxigenierungsformen von Hämoglobin. Im Patientensensor befinden sich zur Durchstrahlung des Gewebes zwei lichtemittierende Dioden. Die transmittierenden Lichtstrahlen werden, nach Durchdringen des Gewebes, von einem Photodetektor aufgenommen und in ein elektrisches Signal umgewandelt. Die Sauerstoffsättigung wird auf Grund der aufgeführten Abweichungen von idealen Messbedingungen nicht direkt aus der Absorption errechnet. Sie wird anhand eines empirisch entwickelten Algorithmus bestimmt. Bei der Entwicklung von Sensoren werden beim Menschen gleichzeitig Proben arteriellen Blutes im Hämoxymeter gemessen und die Absorptionsrate des Gewebes bestimmt. So kommt eine Messkurve zustande mit der später die gemessenen Werte verglichen werden (ALEF u. OECHTERING, 1994). Es wird nur das durchstrahlte arterielle Blut gemessen. Durch die dem Puls entsprechende Schwankung des einströmenden arteriellen Blutes können das venöse Blut und das umliegende Gewebe von der Messung ausgeschlossen werden. Das venöse Blut und das umliegende Gewebe unterliegen keinen Schwankungen im Laufe der Zeit. So wird für die Berechnung der

## 2 Literatur

Sauerstoffsättigung nur der Anteil des Lichtes herangezogen, der einer Schwankung unterliegt. (FINNERUP u. MILLER, 1988).



**Abbildung 2.3: Absorptionsverhalten des durchstrahlten Gewebes bei der Pulsoximetrie**

Vom Pulsoximeter emittiertes Licht durch dringt das Gewebe, abhängig von der Phase des Herzschlags ändert sich das Volumen der Arterien. Nur diese pulsatile Komponente fließt in die Berechnung der Sauerstoffsättigung ein.

TA = Totalabsorption; PK = pulsatile Komponente; KK = konstante Komponente

modifiziert nach F. P. Maier und H.-J. Wintzer, 1994

Die Normwerte der Sauerstoffsättigung ( $s_eO_2$ ) für klinisch gesunde Pferde liegen zwischen 95 - 100%. Bei Pferden mit gestörtem Allgemeinbefinden (Kolikoperationen) sind Werte zwischen 91 - 100% zu erwarten. Wenn keine Blutgasanalyse verfügbar ist, kann die Sauerstoffsättigung des Blutes mit Hilfe der Pulsoximetrie bestimmt werden. Allerdings muss man bedenken, dass die mittels

## 2 Literatur

Pulsoximeter gemessene Sauerstoffsättigung meist niedriger ist, als der  $s_eO_2$ -Wert der Blutgasanalyse. Besonders unpräzise wird die Pulsoximetrie wenn die Sauerstoffsättigung in niedrige Bereiche absinkt (MATTHEWS et al, 1994; KOENIG et al, 2003). MAIER und WINTZER (1994) und MOENS et al. (1991) konnten dies nur für Sättigungsbereiche über 90% nachvollziehen. Bei ihren Untersuchungen lag im Bereich einer Sättigung unter 90% die arterielle Sauerstoffsättigung meist höher als der pulsoximetrisch ermittelte Wert.

Ein Anhaltspunkt für die praktische Anwendung ist, dass die Fehlerquote der gemessenen Sauerstoffsättigung signifikant mit der Abweichung der Pulsfrequenz von der Herzfrequenz korreliert. Es ist davon auszugehen, dass die Werte des Pulsoximeters nur dann korrekt sind, wenn die angezeigte Pulsfrequenz mit der tatsächlichen Herzfrequenz übereinstimmt. Falls also ein Pulsoximeter verwendet wird, um die Sauerstoffsättigung zu bestimmen, sollte parallel immer entweder manuell oder mittels EKG die Herzfrequenz ermittelt werden (KOENIG et al, 2003). Weicht die pulsoximetrisch bestimmte Pulsfrequenz deutlich von der tatsächlichen Herzfrequenz ab sollte der gemessene Wert der Sauerstoffsättigung kritisch überprüft werden.

Die Differenz zwischen arterieller Sauerstoffsättigung und oximetrisch bestimmter Sättigung ist abhängig von der Prämedikation und dem mittleren arteriellen Blutdruck (WATNEY et al, 1993). Auf Grund der sigmoiden Sauerstoffsättigungskurve des Blutes gehen Veränderungen vom  $p_aO_2$  bei Werten über 70 mmHg nur mit sehr geringen Veränderungen der Sättigung einher. Ein Sättigungswert von  $97 \pm 3 \%$  wird über einen weiten Bereich des Sauerstoffpartialdrucks von bis zu 500 mmHg gemessen.



## 2 Literatur

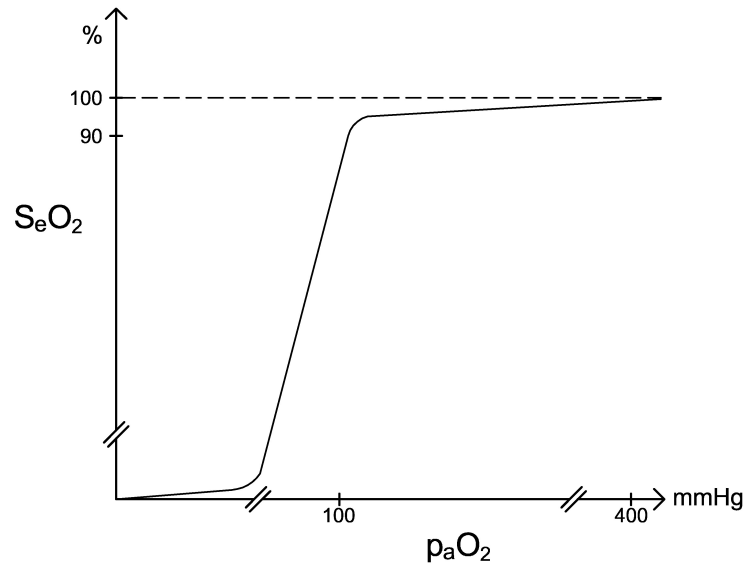


Abbildung 2.4: Sigmoide Sauerstoffsättigungskurve

Veränderungen vom  $p_aO_2$  bei Werten über 70 mmHg sind nur mit sehr geringen Veränderungen der Sättigung einher. Ein Sättigungswert von  $97\pm 3\%$  wird über einen weiten Bereich des Sauerstoffpartialdrucks von bis zu 500 mmHg gemessen.

Veränderungen können also erst erkannt werden, wenn eine massive Beeinträchtigung der Sauerstoffversorgung gegeben ist. Dies birgt besonders bei Inhalationsnarkosen ein Risiko, bei denen dem Pferd nahezu 100%  $O_2$  angeboten werden. Der ideale Sauerstoffpartialdruck liegt dann bei über 400 mmHg. Ein Absinken des Sauerstoffpartialdrucks führt auf Grund der sigmoiden Sauerstoffsättigungskurve nicht sofort zu einem Absinken der Sauerstoffsättigung. Eine abnehmende Lungenventilation und verminderte Oxygenierung des Blutes können vom Pulsoximeter unter diesen Bedingungen der reinen Sauerstoffatmung nicht erkannt werden. Der Anästhesist nimmt unter Umständen fälschlicherweise eine gute Ventilation und Sauerstoffversorgung an. Bei Injektionsnarkosen, bei denen das Pferd Raumluft atmet, tritt dieses Problem nicht auf. Hierbei bleibt der

## 2 Literatur

Sauerstoffpartialdruck unter 100% und befindet sich somit in einem Bereich, in dem das Pulsoximeter Veränderungen erkennen kann. Eine Hypoxämie wird dann vom Pulsoximeter sicher angezeigt (WATNEY et al, 1993; ALEF u. OECHTERING, 1994). Indirekt liefern Pulsoximeter zudem eine Aussage über die Perfusion des Messbereiches. Eine Messung ist nur bei ausreichend hoher Pulsamplitude möglich. Da die Perfusion unter anderem vom Blutdruck abhängig ist, ist nur eine sehr begrenzte Aussage möglich (ERHARDT et al, 1989). Wenn durch die Messungen des Pulsoximeters Rückschlüsse auf den Blutdruck gezogen werden, sollte allerdings bedacht werden, dass eine Messung über eine breite Spanne des mittleren Blutdrucks (24 - 92 mmHg) möglich ist. Eine periphere Vasokonstriktion kann außerdem ein Grund sein, dass mit dem Pulsoximeter keine Messung möglich ist (MATTHEWS et al, 1994). Zu Beginn einer Narkose kann eine periphere Vasokonstriktion auftreten, die sich im Verlauf der folgenden 30 Minuten verringert. Ursache ist möglicherweise die starke Stresssituation für das Pferd während der Einleitungsphase (MAIER u. WINTZER, 1994). Die periphere Vasokonstriktion ist auch abhängig von den zur Narkoseinduktion verwendeten Präparaten (WOLLANKE, 2011). Die meisten Sensoren werden sehr spezifisch für einen Messort beim Menschen geeicht. Dies ist eine zusätzliche Problematik, die bedacht werden muss, wenn ein Sensor an einem Tier angewendet wird (ALEF u. OECHTERING, 1994). Die beim Pferd relativ dicke Zunge ist eine weitere mögliche Ursache für Fehlmessungen. Es gibt allerdings kaum andere, für eine Messung verwendbare unpigmentierte Haut- oder Schleimhautstellen (McKELVEY u. HOLLINGSHEAD, 2003).

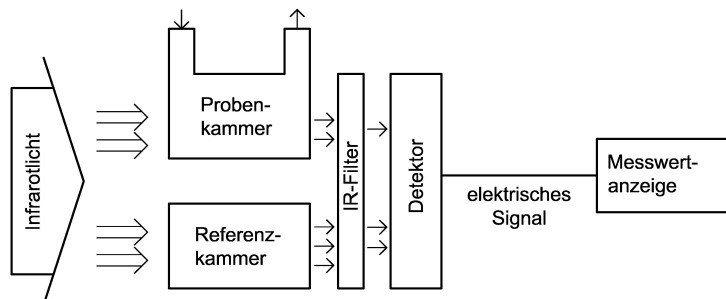
Die Pulsoximetrie ist eine kontinuierliche Überwachungsmöglichkeit und kann bei sorgfältiger Interpretation fortlaufend Hinweise auf Anästhesieprobleme liefern. Die Durchführung von Blutgasanalysen ist immer nur punktuell und auch nur unter Klinikbedingungen möglich. Die Auswahl des Sensors und der Ort der Platzierung am Pferdekörper haben entscheidenden Einfluss auf die Verlässlichkeit der Werte. Die Pulsoximetrie kann die Blutgasanalyse zwar nicht ersetzen, sie kann jedoch eine sinnvolle Ergänzung für die fortlaufende Patientenüberwachung sein (AUER u. STICK, 2006).

Eine weitere Problematik, an die insbesondere beim Menschen im Rahmen der Notfallmedizin gedacht werden muss, ist die Kohlenmonoxidvergiftung. Die Geräte können an Hämoglobin gebundenes Kohlenstoffmonoxid nicht von oxigeniertem Hämoglobin unterscheiden. Es wird dann eine hohe Sauerstoffsättigung vorgetäuscht, obwohl dem Körper keine ausreichende Menge Sauerstoff zur Verfügung steht. Kohlenmonoxid verdrängt wegen seiner höheren Affinität zu Hämoglobin Sauerstoff aus seiner Bindung mit Hämoglobin (ALTEMEYER et al, 1986).

### **2.5.7 Kapnographie**

Die Kapnographie bietet dem Anästhesisten die Möglichkeit, die Effektivität der Atmung und des Gasaustauschs mittels Kohlenstoffdioxidmessung in der Ausatemluft zu überwachen. Außerdem kann die Atemfrequenz kontinuierlich apparativ bestimmt werden. Die Kohlenstoffdioxidwerte der Ausatemluft sind ein Maß für die Metabolisierung, die Herzkreislauffunktion (Abtransport von CO<sub>2</sub> aus den Geweben hin zur Lunge) und die Ventilation der Lunge (AUER u. STICK, 2006).

Die Messmethode von Kapnographen beruht wie die der Pulsoximetrie auf dem Gesetz von Lambert und Beer. Die Kohlenstoffdioxidkonzentration wird mittels Infrarotlicht-Absorptionsverfahren bestimmt. Auf das die Messkammer durchströmende Gas wird Infrarotlicht einer Wellenlänge von 2600 und 4300 nm geschickt. Die Stärke der Lichtabsorption ist abhängig von der Anzahl der Kohlenstoffdioxidmoleküle und damit von der Gaskonzentration (ALEF u. OECHTERING, 1995).



**Abbildung 2.5: Prinzip der Kohlenstoffdioxidmessung in der Ausatemluft; Messung im Seitenstromverfahren**

**Infrarotes Licht wird parallel durch zwei Kammern geschickt. In der ersten befindet sich die Gasprobe vom Patienten, in der zweiten ist ein Referenzgas mit bekannten Gaskonzentrationen. Das transmittierte Licht wird über einen Infrarotfilter an einen Detektor weitergeleitet und in ein elektrische Signal umgewandelt.**

**IR-Filter = Infrarotfilter**

**modifiziert nach M. Alef und G. Oechtering, 1995**

Gewöhnlich werden in der Pferdemedizin Nebenstromkapnographen verwendet. Mittels Probenschlauch wird fortlaufend eine definierte Menge Gas aus dem Lumen des Tubus abgesaugt. Dieses Gasgemisch wird in einer Messkammer direkt im Kapnographen analysiert und anschließend in die Umgebungsluft abgegeben oder über eine Absaugvorrichtung aus dem Operationssaal entfernt. Die zur Anwendung im Hauptstrom der Atemluft bestimmten Kapnographen sind zumeist unpassend für die beim Pferd verwendeten Intubationstuben (McKELVEY u. HOLLINGSHEAD, 2003). Die Geräte werden für die Humanmedizin

## 2 Literatur

entwickelt und haben einen zu geringen Durchmesser um sie beim Pferd zwischen Tubus und Beatmungsschlauch einzusetzen.

Wird die Probe von einem Gaszelt oder Nasenkegel abgenommen, so ist das Seitenstromverfahren auch am nicht intubierten Patienten anwendbar (KALENDA 1980 und 1989; MERTZLUFFT 1993). Der Nullabgleich während des Gerätebetriebs wird bei Seitenstrommessungen immer anhand eines CO<sub>2</sub> freien Referenzgases ermittelt. Dieses befindet sich ebenfalls in einer Messkammer innerhalb der Gaseinheit. Bei Hauptstromgeräten wird geräteabhängig auch die Einatemluft als Referenz genommen. Das inspirierte Gasgemisch wird in diesem Fall dann als frei von CO<sub>2</sub> angenommen. In der Folge bleiben dann eine Totraumventilation durch zu lange Atemwege oder verbrauchter CO<sub>2</sub> Absorberkalk unerkannt, was für den Patienten potentiell lebensbedrohlich werden kann (ALEF u. OECHTERING, 1995).

Die Atemfrequenz und das Atemzugvolumen geben bei spontan atmenden Pferden einen Hinweis auf die Narkosetiefe. Schmerzreize führen zu Hyperventilation mit Abnahme des etCO<sub>2</sub>, aufwachende Patienten zeigen meist tiefer werdende Atemzüge und bei zunehmender Narkosetiefe nimmt das Atemzugvolumen ab. Kontrolliert beatmete Tiere beginnen bei flacher werdender Narkose zwischen den einzelnen Beatmungszügen zu atmen. Dies zeigt sich anhand charakteristischer Veränderungen der Aufzeichnungskurve des Kapnographen (ALEF u. OECHTERING, 1995). Niedrige endexpiratorische CO<sub>2</sub>-Werte können als ein Indikator für eine gute Ventilation genommen werden. Allerdings sollte der Anästhesist bedenken, dass auf Grund des oben beschriebenen Perfusions- und Ventilationsmissverhältnisses der Lunge Diskrepanzen zwischen dem etCO<sub>2</sub> und dem p<sub>a</sub>CO<sub>2</sub> bestehen können. Unter Spontanatmung weichen die beiden Werte sowohl bei klinisch gesunden als auch bei erkrankten Pferden (Kolikoperationen) voneinander ab. Der p<sub>a</sub>CO<sub>2</sub> ist in der Regel der höhere Wert (KOENIG et al, 2003; McKELVEY u. HOLLINGSHEAD, 2003). Neben einem Perfusions-Ventilationsmissverhältnis kann ein unphysiologisch niedriger etCO<sub>2</sub>-Wert seine Ursache in einer Herz-Kreislaufdepression haben. Ein reduziertes Herzminutenvolumen führt zu einem verringerten CO<sub>2</sub> Transport zur Lunge. Ein akutes Herzversagen geht meist mit einem sehr steilen Abfall der etCO<sub>2</sub> -Kurve

einher (ALEF u. OECHTERING, 1995).

Im Rahmen der Beatmung und besonders bei der Therapie einer Hypoventilation sollte die Kapnographie Anwendung finden. Während der Beatmung und besonders bei Erhöhung des Atemminutenvolumens, kann mit ihrer Hilfe eine Hyperventilation und ein zu tiefes Absinken des  $p_a\text{CO}_2$  verhindert werden (ALEF u. OECHTERING, 1995; KOENIG et al, 2003).

Bedingt durch die oben beschriebenen Gasaustauschstörungen während der Allgemeinanästhesie kann die Blutgasanalyse beim Pferd nicht vollständig durch die Kapnographie ersetzt werden. Bei vorliegender Hyperkapnie wird das Ausmaß einer Hypoventilation durch die Kapnographie nicht so sicher verdeutlicht wie durch die Blutgasanalyse (AUER u. STICK, 2006). Wenn Blutgasmessungen nicht möglich sind, sollte der  $\text{etCO}_2$  am Kapnographen zwischen 35 und 45 mmHg gehalten werden. Der  $p_a\text{CO}_2$  befindet sich dann meist im Normbereich. Aber insbesondere bei klinisch beeinträchtigten Pferden (z.B. Schockgeschehen, niedriger Blutdruck, Hämorrhagie) sollte die Blutgasanalyse niemals vollständig durch die Kapnographie ersetzt werden (KOENIG et al, 2003).

### **2.5.8 Blutgasanalyse**

Die Blutgasanalyse ist ein invasives Messverfahren. Über einen intraarteriellen Katheter wird dem Patienten Blut abgenommen und dann auf verschiedene Parameter untersucht. Es können dieselben bereits oben beschriebenen Zugangsmöglichkeiten wie für die Blutdruckmessung genommen werden. Ein Katheter kann parallel für beide Überwachungsmethoden zur Anwendung kommen. Wie schon aufgeführt kann ein solch invasives Verfahren zu Komplikationen führen. Von Interesse sind für den Anästhesisten bei der Blutgasanalyse sowohl die Bestimmung des  $p_a\text{CO}_2$  als auch des  $p_a\text{O}_2$ . Ebenso relevant sind die Sauerstoffsättigung und der pH-Wert. Nur mittels Blutgasanalysen lassen sich ein erniedrigter  $p_a\text{O}_2$  und ein erhöhter  $p_a\text{CO}_2$  sicher und frühzeitig diagnostizieren und eine eingeleitete Therapie kontrollieren. Veränderungen dieser Werte werden sonst meist unterschätzt (ALEF u. OECHTERING, 1995). Der arterielle Sauerstoffpartialdruck ist der sicherste Parameter für eine ausreichende Ventilation

## 2 Literatur

(AUER u. STICK, 2006). Insbesondere bei reinem Sauerstoff als Trägergas während der Inhalationsnarkose sollte die Effektivität der Atmung anhand dieses Parameters beurteilt werden.

Wenn keine Möglichkeit der Blutgasanalyse besteht, können sowohl die Pulsoximetrie, als auch die Kapnographie Störungen der Ventilation aufzeigen. Allerdings haben beide Messmethoden ihre Grenzen und sind nicht geeignet eine Blutgasanalyse vollständig zu ersetzen. Sie liefern jedoch eine kontinuierliche Überwachung, während die Blutgasanalyse immer nur punktuell erfolgen kann (KOENIG et al, 2003).

### **3 Material und Methode**

#### **3.1 Geräte**

##### **3.1.1 Nellcor OxiMAX® N-85™**

Das Gerät OxiMAX® N-85™ wird von der Firma Nellcor (Pleasanton, USA) produziert und in Deutschland über die Firma Scil Animal Care Company GmbH, Viernheim, vertrieben. Der Kaufpreis betrug im April 2010 netto 3250,- Euro.



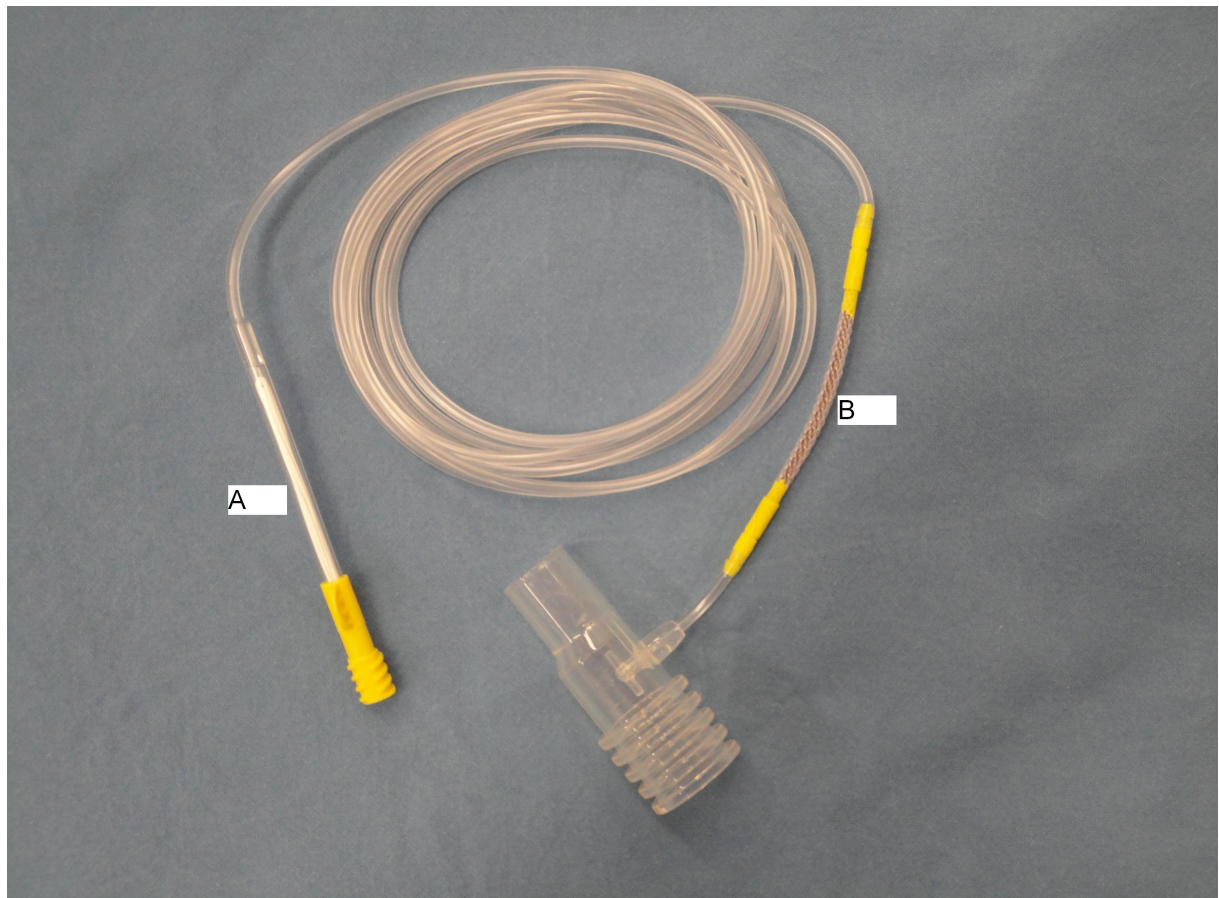
### 3 Material und Methode



Abbildung 3.1: Nellcor OxiMAX® 85™

### 3 Material und Methode

Dieses Gerät ist ein kleines und leichtes tragbares Gerät, welches fortlaufend die expiratorische CO<sub>2</sub>-Konzentration, die inspiratorische CO<sub>2</sub>-Konzentration, die Atemfrequenz, die Pulsfrequenz und die Sauerstoffsättigung bestimmen kann. Die Kapnographieeinheit arbeitet nach der Microstream<sup>®</sup>-Technologie der Firma Oridion. Die Pulsoximetrietechnik stammt von der Firma Nellcor. Die Werte können sowohl graphisch als auch auf zwei digitalen Displays angezeigt werden. Graphisch kann für die Sauerstoffsättigung und die CO<sub>2</sub>-Konzentration der Trend der letzten Stunden aufgerufen werden. Die Anzeige der Kohlenstoffdioxidkonzentrationen ist sowohl in mmHg, kPa, oder Vol% möglich. Das Gerät arbeitet bei der CO<sub>2</sub>-Messung im Nebenstromverfahren. Die CO<sub>2</sub>-Konzentrationen werden wie oben bereits beschrieben mit Infrarotabsorptionsspektroskopie ermittelt. Die Ableitung des Probengases kann sowohl aus dem Schlauchsystem des Narkosegerätes als auch direkt vom Patienten mittels Nasensonde erfolgen. Es werden lediglich 50 ml/min abgesaugt. Für die Kapnographie sollen nur Microstream<sup>®</sup>-EtCO<sub>2</sub>-Verbrauchsmaterialien Anwendung finden. Diese besonderen Probenschläuche verfügen gerätenah über einen hydrophoben Filter und gerätefern über ein Trockenelement. Der hydrophobe Filter entfernt Wasserdampf aus der Gasprobe. Das Trockenelement hat einen hohen Wasserabsorptionsgrad und bietet die Möglichkeit, dass Wasser aus dem Probenschlauch entweichen kann. Beide Einrichtungen gemeinsam machen die Verwendung einer Wasserfalle überflüssig.



**Abbildung 3.2: Microstream®-EtCO<sub>2</sub>-Verbrauchsmaterial Filterline für intubierte Patienten**

**A = Hydrophober Filter**  
**B = Trockenelement**

Die pulsoximetrische Messung erfolgt nach den selben Prinzipien wie in Kapitel 2.5.6 beschrieben.

#### **3.1.2 Dräger Infinity Delta**

Es handelt sich bei diesem Gerät um einen größeren Narkose-Überwachungsmonitor, der gleichzeitig viele Parameter prüfen kann. Der Monitor wird von der Firma Dräger Medical Systems, Inc. Telford, USA produziert. Während der Anästhesieüberwachung werden folgende Parameter angezeigt: Herzfrequenz, Pulsfrequenz, Sauerstoffsättigung, Atemfrequenz, EtCO<sub>2</sub>, FiCO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> in der Ein- und

### 3 Material und Methode

Ausatemluft, Isoflurankonzentrationen in der Ein- und Ausatemluft und der MAC-Wert.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden die mit dem Nellcor OxiMAX® N-85™ gemessenen Werte mit denen des Dräger Infinity Delta verglichen.

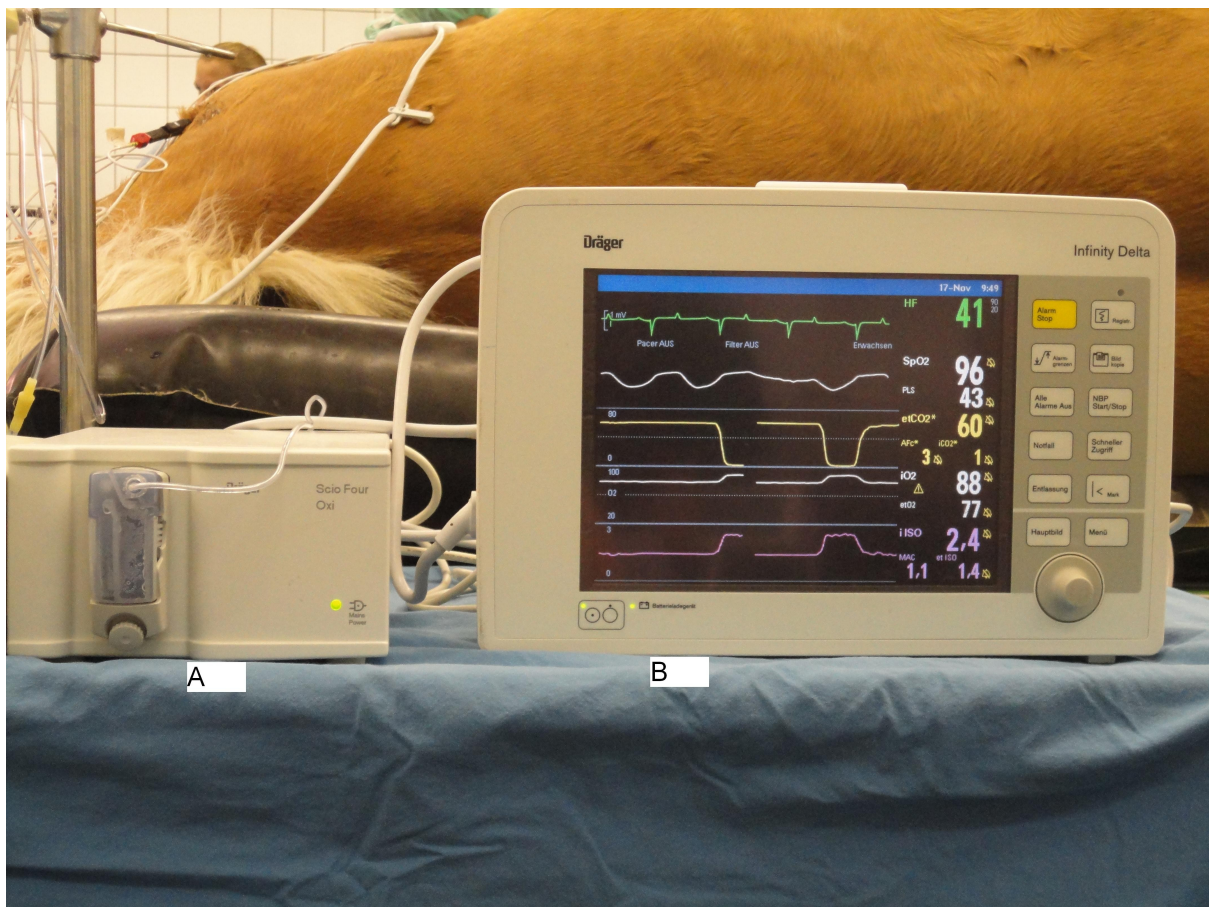


Abbildung 3.3: Dräger Infinity Delta

A = Scio Four Oxi

B = Überwachungsmonitor

#### 3.1.2.1 Nellcor Durasensor DS-100A

Der Sensor für die Pulsoximetrie ist zur wiederholten Anwendung am Finger von Patienten in der Humanmedizin bestimmt. Die Messweise entspricht der in Kapitel

### 3 Material und Methode

2.5.6 beschrieben. Der Anschluss an den Monitor erfolgte gemeinsam mit dem EKG-Kabel über ein MultiMed-Modul. Beim Pferd wurde der Sensor an der Zungenspitze angebracht.

#### **3.1.2.2 Scio® Four Oxi**

Um mit dem Monitor auch die Respirationsgase messen zu können, wurde das Gasmodul Scio® Four Oxi angeschlossen. Die Messung ist sowohl im Hauptstrom- als auch im Nebenstromverfahren möglich. Im Rahmen der Anästhesieüberwachung beim Pferd kommt das Nebenstromverfahren zur Anwendung. Das Messverfahren entspricht dem in Kapitel 2.5.7 beschriebenen Verfahren. Das Gerät arbeitet mit einer Wasserfalle, um Wasserdampf aus dem Probengas zu entfernen.

#### **3.1.3 NPT 7**

Zur Untersuchung der arteriellen Blutgasproben wurde das Gerät NPT 7, Radiometer GmbH, Kopenhagen verwendet. Es wurden mit diesem Gerät folgende Werte bestimmt: pH, pCO<sub>2</sub>, pO<sub>2</sub> und s<sub>e</sub>O<sub>2</sub>.

### **3.2 Patientengut**

Das Gerät OxiMAX® N-85™ der Firma Nellcor kam bei 101 Narkosen im Rahmen der Anästhesieüberwachung bei Pferden zum Einsatz. Es wurde bei elektiven Eingriffen angewendet. Die Eingriffe erfolgten in Seiten- und Rückenlage. Das Gerät wurde unabhängig von Alter, Geschlecht und Rasse der Pferde erprobt.

Die Pferde waren alle Patienten der Pferdeklinik der Ludwig-Maximilians-Universität München, die im Zeitraum von Juni bis September 2010 aus unterschiedlichsten Gründen einer Operation oder Untersuchung in Allgemeinanästhesie unterzogen wurden. Einige Pferde sind im Rahmen ihres Klinikaufenthalts bis zu dreimal in Vollnarkose gelegt worden. Unter den Patienten befanden sich 18 Hengste,

### 3 Material und Methode

40 Stuten und 31 Wallache im Alter von 1 Monat bis 23 Jahre (Mittel 8,6 Jahre). Bei den Pferden handelte es sich um 53 Warmblüter, 16 Ponys, 10 Vollblüter, 7 Quarter Horses und 3 Kaltblüter.

#### **3.3 Vorbereitung der Probanden**

##### **3.3.1 Narkosevoruntersuchung**

Zur Durchführung von elektiven Eingriffen wurde den Pferden präoperativ für 8 – 10 Stunden ein Maulkorb aufgesetzt. Alle Pferde hatten weiterhin freien Zugang zu Wasser. Die Patienten wurden einer einheitlichen klinischen Narkosevoruntersuchung unterzogen. Diese beinhaltete eine Allgemeinuntersuchung und die Auskultation von Herz und Lunge. Weitere Untersuchungen wurden dann angeschlossen, wenn sich eine Indikation dafür ergeben hatte. Falls die Untersuchung des Respirationsapparates Abweichungen von der Norm ergab, erfolgte präoperativ die Bestimmung der Leukozyten im Blut. Alle Pferde wiesen vor der Narkose ein ungestörtes Allgemeinbefinden auf.

##### **3.3.2 Jugularvenenkatheter**

Beide Venae jugulares wurden adspektorisch und palpatorisch auf Veränderungen der Wandstärke und Durchgängigkeit untersucht. In eine gesunde Vene wurde nach Rasur und Desinfektion am Übergang vom ersten zum zweiten Halsdrittel ein Venenverweilkatheter eingesetzt.

##### **3.3.3 Prämedikation**

Alle Pferde im Alter von über zwei Monaten wurden mit Xylazin (Xylazin 2%, cp-Pharm) in einer Dosierung von 0,6 mg/kg KM und 0,075 mg/kg KM Levomethadon (L-Polamivet®, Intervet) sediert. Fohlen erhielten Diazepam (Diazepam-ratiopharm®, Ratiopharm) als Prämedikation. Die Dosierung betrug 0,1 mg/kg KM. Die

Medikamente wurden langsam über den Venenverweilkatheter appliziert oder vor Einsetzen des Katheters langsam intravenös gespritzt.

#### **3.4 Versuchsaufbau**

##### **3.4.1 Narkosevorbereitung**

Die Patienten wurden im weiteren Verlauf nach Möglichkeit so behandelt, dass es zu keiner Erregung und Beeinträchtigung der sedierenden Wirkung der Medikamente kam. Bei allen Pferden folgte nach Eintritt der Sedierung das Ausspülen des Mauls mittels Wasserschlauch, um die Aspiration von Futterbestandteilen zu vermeiden.

###### **3.4.1.1 Injektionsnarkose**

Erfolgte eine kurze Untersuchung unter Injektionsnarkose, wurden die sedierten Pferde in eine 12 m<sup>2</sup> große, gepolsterte, rutschsichere Aufwachbox verbracht. Sie wurden parallel zu einer langen Seite gestellt und der Kopf mittels Halfter und Strick fixiert.

###### **3.4.1.2 Inhalationsnarkose**

War eine länger dauernde Untersuchung oder Operation geplant, erfolgte diese unter Inhalationsnarkose. Vorbereitend legte man den Pferden im Anschluss an die Sedierung gepolsterte lederne Fußschellen und einen Halsriemen an. Die Pferde wurden in den Operationssaal geführt und mit Hilfe eines hydraulischen Kipptisches abgelegt.

Bei sehr schwer zu handhabenden oder unruhigen Pferden lag es im Ermessen des Anästhesisten, wie unter 3.4.1.1 beschrieben, die Narkose in der Aufwachbox einzuleiten.

#### **3.4.2 Narkoseinduktion**

Sollte das Niederlegen der Pferde in der Aufwachbox geschehen, so erfolgte die Narkoseeinleitung intravenös mit 2,2 mg/kg KM Ketamin (Ursotamin® 10%, Serumwerk) und 0,02 - 0,2 mg/kg KM Diazepam (Diazepam-ratiopharm®, Ratiopharm).

Am Operationstisch erfolgte das Niederlegen der Pferde mittels intravenöser Sturzinfusion von Guaifenesin und Ketamin. Die Dosierung von Guaifenesin betrug 100 mg/kg KM, die von Ketamin 2,2 mg/kg KM (Ursotamin® 10%, Serumwerk). Die im Handel erhältliche 15%ige Lösung von Guaifenesin (Myolaxin® 15%, Vetoquinol) wurde für die Infusion mit isotonischer Kochsalzlösung auf 8% verdünnt (350 ml Myolaxin® 15% mit 850 ml NaCl-Lsg. 0,9% für 1200 ml Infusionslösung). Während des Wirkungseintritts der Medikamente wurden die Bauchgurte langsam angezogen und die Pferde fest an den Tisch fixiert. Bei Verlust der Stehfähigkeit wurde die Kette an den Fußfesseln angezogen und die Pferde wurden mit Hilfe des Tisches in Seitenlage verbracht.

Bei Fohlen wurde die Narkose mit Isofluran über eine Atemmaske eingeleitet. Bei Wirkungseintritt und beginnender Relaxierung der Skelettmuskulatur wurden die Fohlen von den Helfern auf den Operationstisch gehoben, in Seitenlage gehalten und die Beine an den Fesseln zusammengezogen.

#### **3.4.3 Intubation**

Für Inhalationsnarkosen erfolgte im Anschluss an das Niederlegen der Tiere die Intubation. Den Pferden wurde ein röhrenförmiger Maulkeil zwischen die Schneidezähne eingebracht und der Hals von einem Helfer maximal gestreckt. Die Intubation wurde orotracheal durchgeführt.

Bei Fohlen wurde der Tubus nach Abnahme der Atemmaske nasotracheal vorgeschoben. Hierzu ist der Tubus mit Xylazingel (Xylocain® Gel 2%, AstraZeneca GmbH, Wedel) bestrichen worden. Nach erfolgter Lagekontrolle wurde der Tubus mit Luft geblockt.



#### **3.4.4 Lagerung**

Über die Fußfesseln wurden die Pferde an einem Kran fixiert und hochgehoben. Es wurde eine aufgeblasene Luftmatratze zur Polsterung untergelegt. Abhängig von der Operation wurden die Pferde in Seiten- oder Rückenlage verbracht und fixiert.

#### **3.4.5 Unterhaltung der Narkose**

##### **3.4.5.1 Injektionsnarkose**

Die Aufrechterhaltung der Injektionsnarkose erfolgte nach Bedarf mit Bolusapplikationen von Xylazin und Ketamin. Zur Nachdosierung wurden wenn erforderlich jeweils 0,3 mg/kg Xylazin(Xylazin 2%, cp-Pharm) und 1,1 mg/kg Ketamin (Ursotamin® 10%, Serumwerk) gegeben.

##### **3.4.5.2 Inhalationsnarkose**

Im Anschluss an Intubation und Lagerung wurden die Pferde an ein Inhalationsnarkosegerät der Firma Medical Dist. Co, Inc. angeschlossen. Die Aufrechterhaltung der Narkose erfolgte mit Isofluran (Isoflo® vet, Albrecht GmbH, Aulendorf). Als Trägergas diente reiner Sauerstoff (ca. 1l/100kg KM/Minute). Zu Beginn wurden am Verdampfer (Eickemeyer) 3 - 4 Vol% Isofluran eingestellt. Die Einstellung wurde fortlaufend an die Narkosesituation angepasst. Gegen Ende der Operation ist die Narkosegaszufuhr reduziert oder abgestellt und den Pferden reiner Sauerstoff zugeführt worden.

##### **3.4.5.3 Beurteilung der Narkosetiefe**

Soweit es dem Anästhesisten möglich war, wurden zur Beurteilung der Narkosetiefe hauptsächlich die Augenreflexe und die Stellung des Augapfels herangezogen. War das Auge aufgrund der Operationssituation nicht zugänglich, erfolgte die

### 3 Material und Methode

Bestimmung der Narkosetiefe durch Zuhilfenahme der Atemfrequenz und Atemzugtiefe und der chirurgischen Toleranz. Es sollten keine Schwankungen der Herzfrequenz als Folge von chirurgischen Reizen auftreten.

#### **3.4.5.4 Erwünschte Narkosetiefe**

Abhängig von der Operation waren verschiedene Narkosetiefen erwünscht.

Erfolgte eine Operation am Auge (z.B. Vitrektomie oder Aufnähen eines Bindehautlappens auf die Hornhaut), so musste das Pferd sich im Narkosestadium III<sub>2-3</sub> befinden. Der Lidreflex sollte vollständig erloschen und die Augenmuskeln erschlafft sein, sodass die Rotation des Bulbus durch den Operateur leicht durchführbar war. Die Spontanatmung darf jedoch noch nicht beeinträchtigt sein.

Bei allen anderen Operationen, die nicht am Auge durchgeführt wurden oder die keine Rotation des Augapfels erforderten, wurde das Narkosestadium III<sub>1-2</sub> angestrebt. Der Palpebralreflex kann und der Kornealreflex soll dabei auslösbar sein, der Bulbus soll zentral liegen oder etwas nach nasal rotieren und es sollte kein Nystagmus auftreten.

#### **3.4.5.5 Medikamente und Infusionen**

Alle Pferde die eine Inhalationsnarkose erhielten wurden routinemäßig während der Operation mit Ringer®-Lösung oder isotonischer Kochsalzlösung (B. Braun Melsungen AG, Melsungen) infundiert. Zwei Pferden wurde intraoperativ Atropin (Atropin sulfuricum solutum 1%, WDT) in einer Dosierung von 0,01 mg/kg verabreicht, da die Herzfrequenz unter 28 Schläge pro Minute gesunken war und sich eine Hypotonie bemerkbar gemacht hatte. Ungefähr 3 Minuten nach der Medikamentengabe stieg die Herzfrequenz jeweils auf 45 - 50 Schläge pro Minute und der Blutdruck normalisierte sich.

Drei Pferde erhielten wegen unzureichender Narkosetiefe während der Inhalationsnarkose zusätzlich eine oder mehrere Bolusinjektionen von Ketamin und Xylazin. Pro Bolus wurde entsprechend der Injektionsnarkose 0,3 mg/kg Xylazin

### 3 Material und Methode

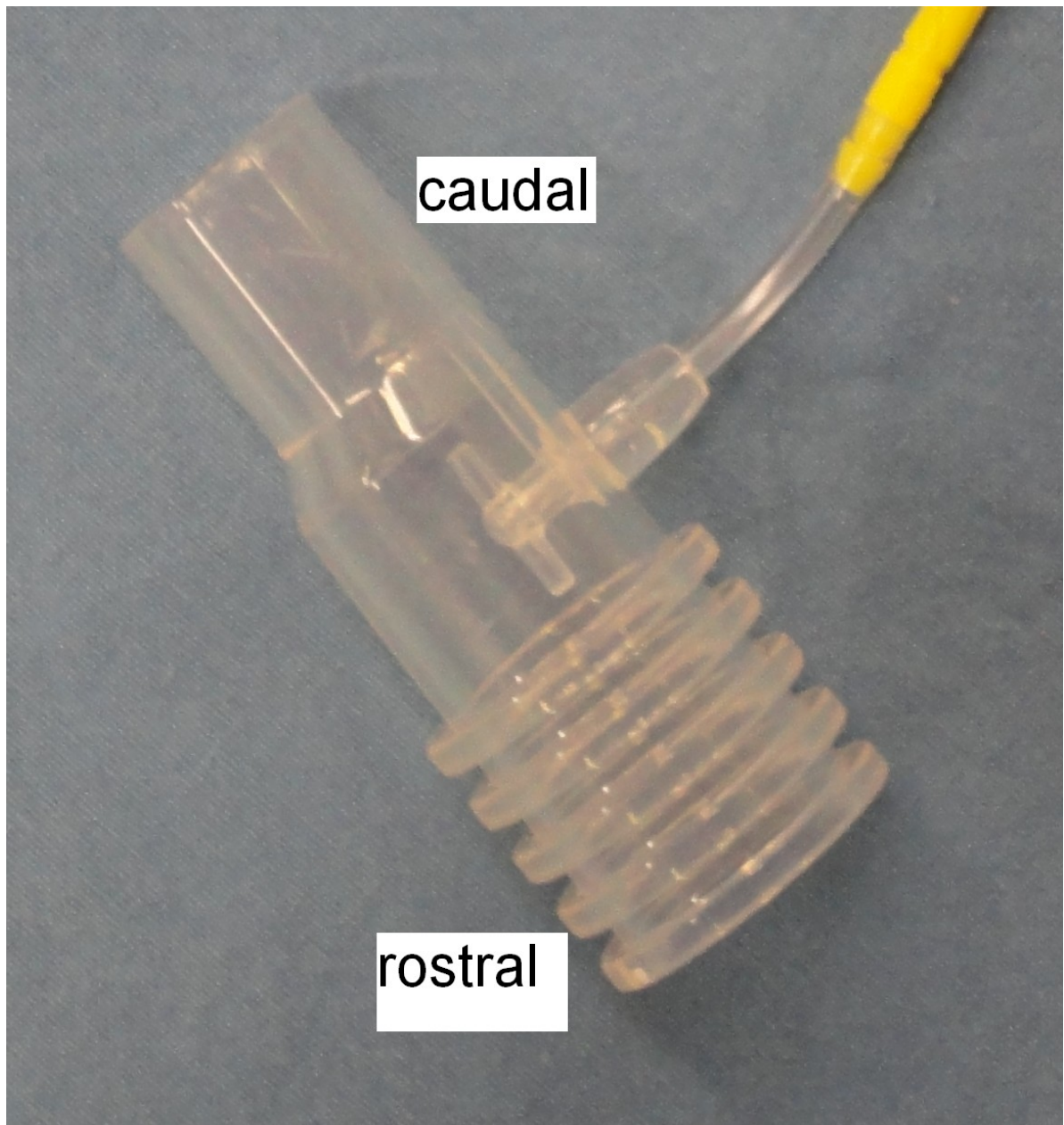
(Xylazin 2%, cp-Pharm) und 1,1 mg/kg Ketamin (Ursotamin® 10%, Serumwerk) nachgegeben.

Während einer Narkose ist, auf Grund einer Nasenmuschelnekrose eine starke Blutung aufgetreten. Um das intravasale Volumen und den Blutdruck aufrecht zu erhalten, erhielt das Pferd eine schnelle Infusion von Ringer®-Lösung und zusätzlich Hydroxyethylstärke (INFUKOLL® HES 10%, Serumwerk).

#### **3.4.6 Anschluss der Geräte**

##### **3.4.6.1 Injektionsnarkose**

Das Gerät Nellcor OxiMAX® N-85 TM wurde alleinig zur Überwachung bei Injektionsnarkosen angewendet. Nach erfolgter Lagerung wurden die Pferde an das Gerät angeschlossen. Hierzu wurde ein handelsübliches röhrenförmiges Anschlussstück für Kleintiertuben tief in den ventralen Nasengang eingelegt. Die Seite mit dem kleineren Lumen zeigte dabei nach caudal.



**Abbildung 3.4: Atemwegsadapter für Intubationstuben**

**Für die nicht intubierte Messung wird der Adapter tief in den ventralen Nasengang des Pferdes eingelegt. Die Beschriftung verdeutlicht die Einlegerichtung, der kleine Schlauch führt zum Kapnographen.**

### 3 Material und Methode



**Abbildung 3.5: Nicht intubierte Kapnographie**



**Abbildung 3.6: Detailaufnahme der nicht intubierten Kapnographie**

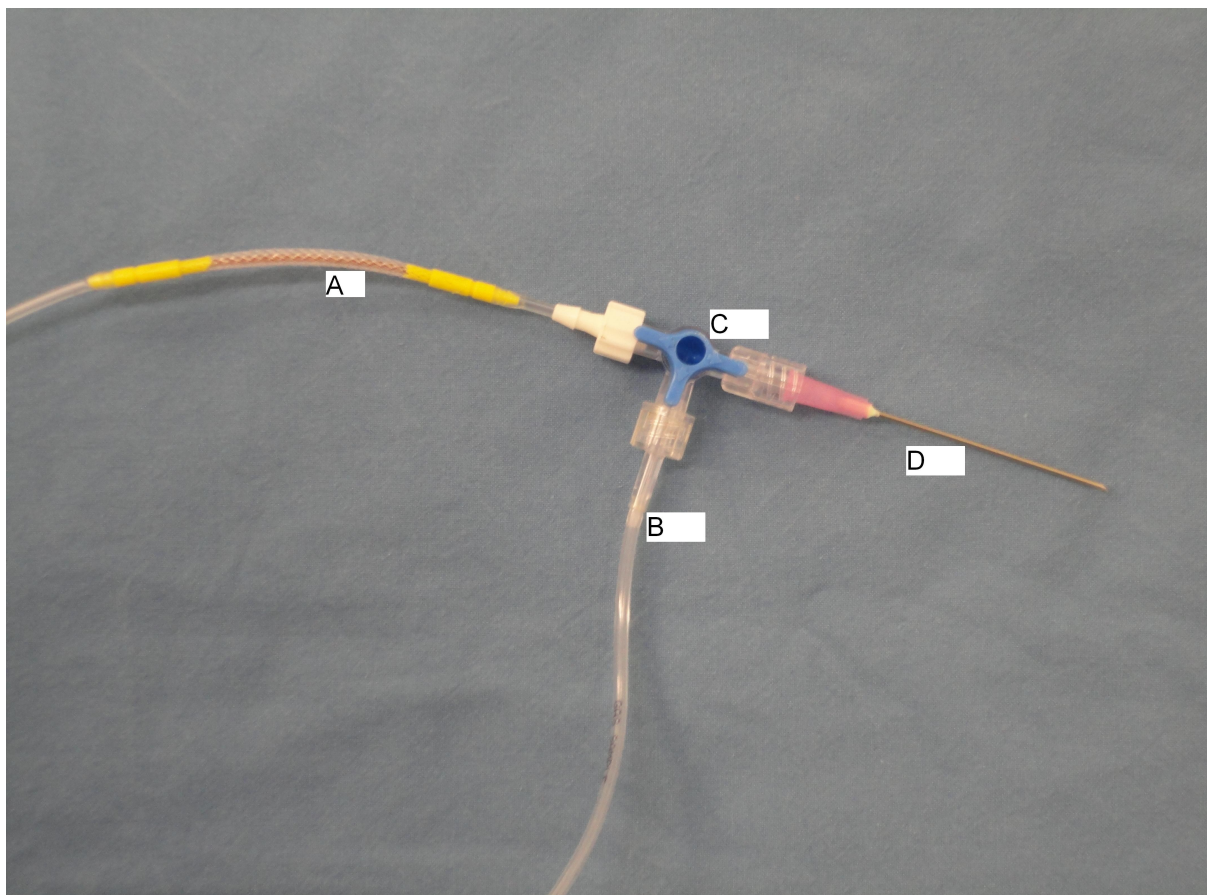
Der Atemwegsadapter für Intubationstuben wurde dem Pferd tief in den ventralen Nasengang eingelegt

#### **3.4.6.2 Inhalationsnarkose**

Das Anschließen aller Geräte erfolgte unmittelbar nachdem der Patient mit dem Narkosegerät verbunden worden war.

##### **3.4.6.2.1 Kapnographen**

Beide Probenschläuche der Kapnographen wurden mittels eines Dreiwegehahns verbunden und über eine 18G Kanüle zentral im Tubuslumen platziert.



**Abbildung 3.7:** Verbindung beider Probenschläuche mittels Dreiwegehahn und Anschluss einer 18G Kanüle für die Positionierung im Tubuslumen.

Für die intubierte Kapnographie wurde das Atemwegsadapterstück der FilterLine abgeschnitten und luftdicht in einen Lürlock-Schraubanschluss gesteckt

**A = FilterLine Anschluss Nellcor OxiMAX® 85™**

**B = Anschluss Scio® Four Oxi Dräger**

**C = Dreiwegehahn**

**D = 18G Kanüle**

#### **3.4.6.2.2 Pulsoximeter**

Zuerst wurde die Zungenspitze falls noch Futterreste anhafteten mit Wasser abgespült und anschließend mit einem Tupfer abgetrocknet. Die Zunge wurde so gelagert, dass sie in keinem Bereich komprimiert war. Anschließend sind beide Pulsoximeter an der Zungenspitze angebracht worden.

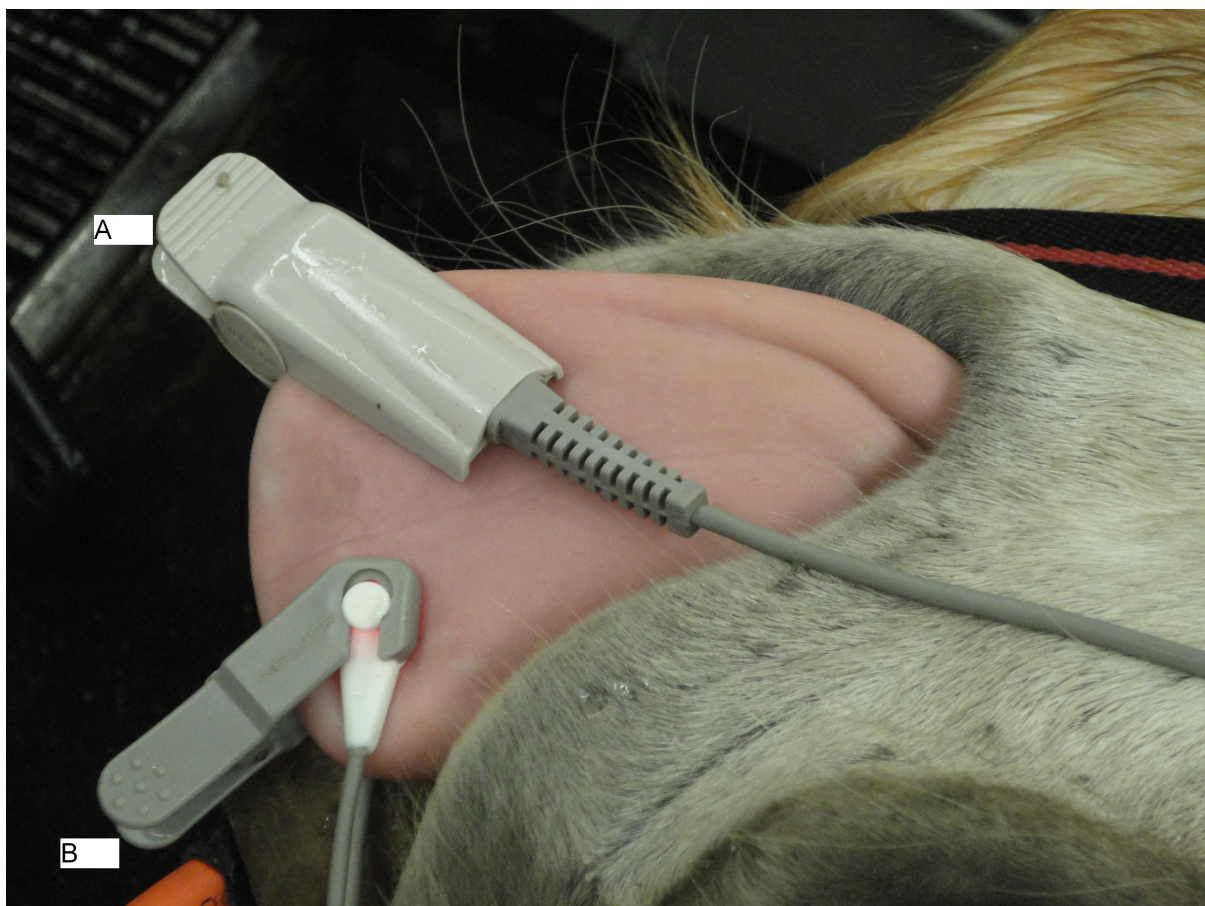


Abbildung 3.8: Pulsoximeter an der Zunge des Pferdes

A = Ableitung für Dräger Infinity Delta  
B = Ableitung für Nellcor OxiMax® 85™

#### 3.4.6.2.3 Elektrokardiogramm

Die Herzfrequenz und der Herzrhythmus wurden mit Hilfe eines Elektrokardiogramms überwacht. Die Elektroden wurden für eine bipolare Brustwandableitung im Bereich der Spina scapula und ventral am Brustbein angebracht. Die Erdungselektrode befand sich am Hals des Patienten.





**Abbildung 3.9: Bipolare EKG-Ableitung an der Thoraxwand**

**Elektroden an Brustbein, Schulter und Hals des Pferdes**

#### **3.4.7 Parameter**

Für die vorliegende Studie wurden die im Folgenden erläuterten Parameter während der Narkose alle fünf Minuten ermittelt und in einem Protokoll notiert.

##### **3.4.7.1 Puls- und Herzfrequenz**

Die Pulsfrequenz wurde zu jedem Messzeitpunkt dreimal bestimmt. Jeweils einmal von beiden Pulsoximetern und zusätzlich manuell mittels digitaler Palpation. Beide Geräte bestimmten die Pulsfrequenz über Infrarotsensoren, die an der Zunge des

### 3 Material und Methode

Patienten angebracht waren. Die digitale Pulsfrequenzbestimmung erfolgte wenn möglich an der A. facialis. Falls diese Arterie auf Grund der Operationssituation nicht zugänglich war wurde alternativ die A. metatarsa dorsalis genommen. Für die manuelle Ermittlung der Pulsfrequenz wurden eine Minute lang die Pulsschläge gezählt und anschließend wurde die Pulsfrequenz von beiden Pulsoximetern abgelesen. Alle 3 Werte sowie zusätzlich noch die mittels EKG bestimmte Herzfrequenz wurden protokolliert.

#### **3.4.7.2 Qualität der Pulswelle**

Um einen Eindruck der peripheren Perfusion zu bekommen, wurde parallel zur manuellen Pulsfrequenzbestimmung auch die Qualität der Pulswelle beurteilt. Dies erfolgte ebenfalls wenn möglich an der A. facialis, sonst an der A. metatarsa dorsalis. Die Bewertung der Pulsqualität als „+“ (gut zu palpieren, kräftig), „+/-“ (noch palpierbar aber nicht so kräftig) und „-“ (nicht palpierbar) wurde immer durch die gleiche Person durchgeführt.

#### **3.4.7.3 Sauerstoffsättigung**

Beide Pulsoximeter bestimmten zusätzlich zur Pulsfrequenz auch die Sauerstoffsättigung des arteriellen Blutes in der Peripherie. Die Messung erfolgte an der Zungenspitze. Die Werte wurden an beiden Geräten zeitgleich abgelesen und notiert.

#### **3.4.7.4 Endexpiratorisches CO<sub>2</sub>**

Bei beiden Geräten wurde der CO<sub>2</sub>-Gehalt der Ausatemluft im Nebenstromverfahren bestimmt. Die Werte wurden gleichzeitig nach Beendigung eines Atemzugs abgelesen und protokolliert.

#### **3.4.7.5 Atemfrequenz**

Beide Kapnographen zeigten die Atemfrequenz an. Die Anzahl der Atemzüge wurde pro Minute angezeigt. Alle 5 Minuten jeweils am Ende eines Atemzuges wurden die Wert parallel bei beiden Geräten abgelesen und im Protokoll notiert.

#### **3.4.7.6 Arterielle Blutgasanalyse**

Wenn bei einem Patienten arterielles Blut für die Analyse entnommen wurde, geschah dies in der zwanzigsten Minute nach Beginn der Überwachung. Falls die Narkose länger dauerte wurde der arterielle Katheter in Position belassen und alle weiteren 10 - 15 Minuten Proben genommen. Die Blutentnahme erfolgte mittels Butterflykanüle (BD Value-Set™, Betcon) an der A. transversa faciei oder A. facialis. Die Wahl der Arterie lag im Ermessen des Probennehmers. Das Blut wurde in heparinisierten Blutgasröhrchen (Monovette®) gesammelt und innerhalb der nächsten fünf Minuten analysiert. Es wurde die vor Narkosebeginn ermittelte Körpertemperatur für die Blutgasanalyse verwendet. Die Kanüle wurde nach der letzten Probenentnahme gezogen.

Zur vergleichenden Auswertung wurden der  $P_aCO_2$  und der  $s_eO_2$ -Wert herangezogen. Der endexpiratorische  $CO_2$ -Wert und die Sauerstoffsättigung wurden unmittelbar nach Abschluss der Probennahme von beiden Geräten abgelesen.

Bei Injektionsnarkosen verlief die arterielle Blutgasanalyse analog, sie wurde allerdings bereits zwei bis vier Minuten nach Überwachungsbeginn durchgeführt.

#### **3.4.8 Postoperative Lagerung und Monitoring**

Die Pferde wurden postoperativ in eine gepolsterte Aufwachbox verbracht und in Seitenlage gelagert. Über einen intranasal gelegenen Schlauch wurde bis zum Auftreten der ersten Bewegungsversuche Sauerstoff zugeführt. Der Jugularvenenkatheter wurde unmittelbar nach Verbringen in die Aufwachbox gezogen. Zuvor hatten die Pferde Xylazin (0,2 mg/kg KM; Xylazin 2%, cp-Pharm) als postanästhetische Sedierung erhalten. Die Extubation erfolgte bei Einsetzen des

Schluckreflexes. Die Aufwachphase konnte nach Verlassen der Box über eine Kamera beobachtet werden. Pferde mit orthopädischen Problemen erhielten eine Aufstehhilfe mit Kopf- und Schweifstricken.

#### **3.5 Statistische Auswertung**

Bei der Evaluierung eines Messgerätes sind zwei Fehlerarten zu betrachten. Es kann im Mittel eine Abweichung vom wahren Wert vorliegen. Diese mittlere Genauigkeit eines Messverfahrens wird als Richtigkeit (accuracy) bezeichnet. Es handelt sich um einen systematischen Fehler, der durch eine entsprechende Eichung des Gerätes ausgeglichen werden kann. Des weiteren können die Messergebnisse streuen. Je geringer die Streuung um so besser sind die Messergebnisse reproduzierbar. Es handelt sich hierbei um einen unsystematischen Fehler. Eine ausgeprägte Streuung der Werte kann die Aussagekraft bzw. die sinnvolle Verwendung eines Messverfahrens erheblich einschränken. Die Streuung wird auch als Genauigkeit (precision) bezeichnet.

Zur Beurteilung und graphischen Darstellung der Richtigkeit und Genauigkeit des zu evaluierenden Messgerätes Nellcor OxiMAX® N-85™ wurden Bland-Altman-Analyse und Passing & Bablok Regression eingesetzt.

Die Bland-Altman-Analyse wurde mit Hilfen des Softwarepakets Graphpad Prism 4.0 durchgeführt. In die Berechnungen wurden alle Wertpaare, unabhängig vom jeweiligen Patienten, einbezogen. Die Messwerte des Referenzgerätes Dräger Infinity Delta wurden von denen des Testgerätes Nellcor OxiMAX® N-85™ abgezogen, beziehungsweise die Werte der manuellen Pulsfrequenzbestimmung und der Blutgasanalyse wurden von denen der Geräte abgezogen. Bei einer positiven mittleren Differenz überschätzt das Testgerät, bei einer negativen mittleren Differenz unterschätzt das Testgerät.

Die Passing & Bablok Regression wurde mit dem Softwareprogramm Medcalc durchgeführt. Geprüft wurde die Linearität der Daten und die Hypothesen, dass die

### 3 Material und Methode

Steigung den Wert eins hat und der y-Abschnitt den Wert null. Liegt keine Linearität für den Messbereich vor ist das getestete Gerät nicht für den Einsatz im gesamten Messbereich geeignet. Als Maß für die Streuung der Werte wird die 1,96 fache Standardabweichung angegeben, die 95 % des Streubereichs umfasst.

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Überwachungsart und -dauer

Das Gerät Nellcor OxiMAX® N-85™ wurde bei 101 Narkosen zur Anästhesieüberwachung beim Pferd eingesetzt. Bei Pferden wurden 88 Operationen unter Inhalationsanästhesie und 12 Untersuchungen unter Injektionsnarkose durchgeführt. Bei einem Pferd wurde die Anästhesie zuerst mittels Injektionen aufrecht erhalten, ein Tubus wurde nicht gelegt. Im weiteren Verlauf erfolgte die Intubation und Anschluss an das Narkosegerät zur Durchführung einer Inhalationsnarkose.

Die Überwachungszeit betrug bei nicht intubierten Pferden zwischen 4 und 10 Minuten (Mittel 7 Minuten), bei intubierten Pferden zwischen 5 und 100 Minuten (Mittel 33 Minuten).

### 4.2 Kapnographie

#### 4.2.1 Endexpiratorisches CO<sub>2</sub>

Die für beide Geräte vom Hersteller angegebene Messtoleranz ist identisch. Für Werte zwischen 39 - 99 mmHg liegt die Messgenauigkeit 20 Minuten nach dem Einschalten bei  $\pm 5\%$  der Messung plus 0,08 % je 1 mmHg über 40 mmHg. Bei einem Mittel der endexpiratorische Kohlenstoffdioxidwerte von 54,72 mmHg (Nellcor OxiMAX® N-85™) bedeutet das zum Beispiel eine maximal zulässige Abweichung von  $\pm 3,38$  mmHg. Liegen die Messwerte unter 39 mmHg beträgt die Messungenauigkeit  $\pm 2$  mmHg. Das Gerät von Dräger Infinity Delta hat während der Untersuchungen im Mittel einen endexpiratorischen CO<sub>2</sub>-Wert von 55,65 mmHg gemessen. Der Mittelwert ergibt rechnerisch als Beispiel eine Toleranz von  $\pm 3,48$  mmHg. Werden beide Geräte miteinander verglichen liegt die Messtoleranz beispielsweise für die beiden Mittelwerte bei  $\pm 6,96$  mmHg.

### 4.2.1.1 Inhalationsnarkose

Während der Inhalationsnarkosen wird der CO<sub>2</sub>-Gehalt der Ausatemluft anästhesierter Pferde im geschlossenen System gemessen.

Der Bland-Altman-Plot zeigt eine mittlere Abweichung (Bias) der einzelnen Wertepaare von - 0,88 mmHg. Das Testgerät Nellcor OxiMAX<sup>®</sup> N-85<sup>™</sup> unterschätzt die CO<sub>2</sub>-Konzentration. Der 95 % Vertrauensbereich liegt zwischen - 12,45 und 10,68 mmHg (siehe Abb. 4.1).

Die Passing & Bablok Regression zeigt eine lineare Abhängigkeit beider Messungen ( $p = 0,42$ ), die Steigung beträgt 1,0 (95 % Vertrauensbereich 1,0 bis 1,0). Es besteht somit kein proportionaler Unterschied zwischen den Geräten. Der y-Abschnitt beträgt 1,0 mmHg (95 % Vertrauensbereich 1,0 bis 1,0 mmHg), beide Geräte weichen bei den Messungen um die Konstante eins von einander ab, wobei das Testgerät die niedrigeren Werte misst. Das RSD - Intervall reicht von - 8,18 bis 8,18 mmHg (siehe Abb. 4.2).

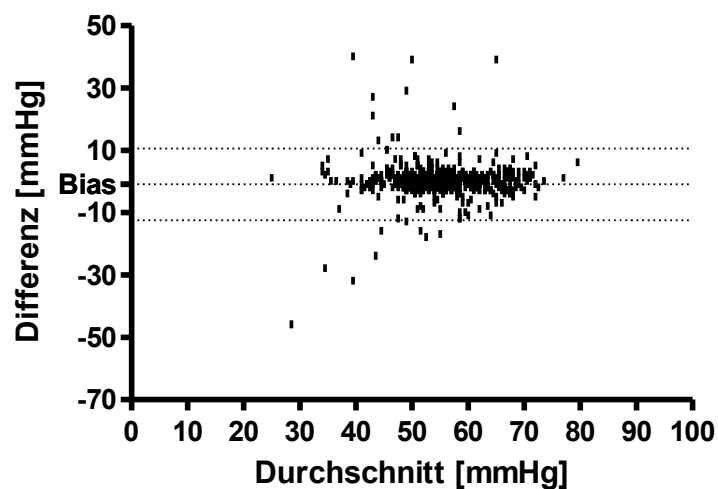
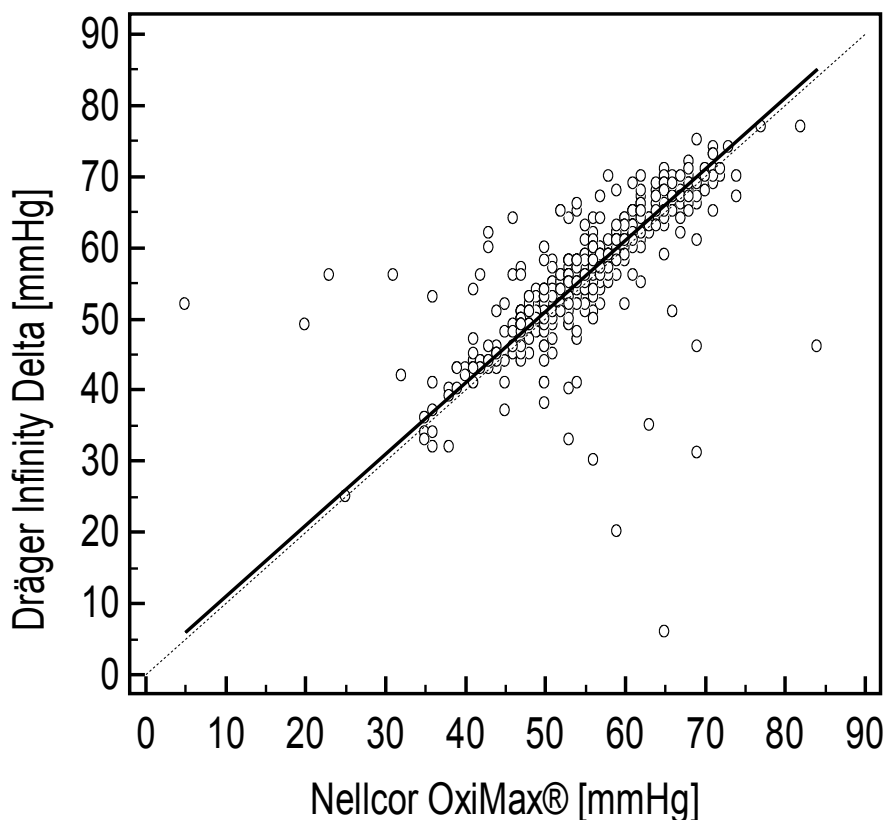


Abbildung 4.1: Bland-Altman-Plot der endexpiratorischen CO<sub>2</sub>-Konzentration alle mit beiden Kapnographen gemessenen Wertepaare

Der Durchschnitt der Wertepaare wird gegen die Differenz der beiden Werte aufgetragen. Die Messwerte des Referenzgeräts Dräger Infinity Delta wurden von denen von Nellcor Oximax® N-85™ abgezogen. Die mittlere Differenz (Bias) beträgt - 0,88 mmHg. Der Vertrauensbereich (95 %) reicht von - 12,45 bis 10,68 mmHg.





**Abbildung 4.2: Passing & Bablok Regression der endexpiratorischen CO<sub>2</sub>-Konzentration**

**Der Test zeigt keine signifikante Abweichung von der Linearität der Messungen beider Geräte. Die Steigung der Geraden und der y-Abschnitt betragen 1,0 mmHg. Das RSD - Intervall beträgt - 8,18 bis 8,18 mmHg. Aus dem y - Abschnitt folgt, dass die Werte des Gerätes Nellcor OxiMAX® N-85™ zumeist geringfügig niedriger sind als die des Referenzgerätes.**

Der mit beiden Geräten gemessene endexpiratorische CO<sub>2</sub>-Werte wurde zusätzlich zum Gerätevergleich mit den gemessenen p<sub>a</sub>CO<sub>2</sub>-Werten der arteriellen Blutgasanalyse verglichen. Die Bias liegt für das Gerät Nellcor OxiMAX® N-85™ bei -9,81 mmHg (95 % Bereich -26,25 bis 6,63 mmHg) und für Dräger Infinity Delta bei -9 mmHg (95 % Bereich -22,13 bis 4,13 mmHg). Die Geräte unterschätzen beide die arterielle CO<sub>2</sub>-Konzentration (siehe Abb. 4.3).

Beide Geräte stimmen bei der Messung des etCO<sub>2</sub> im Rahmen der Messungenauigkeit überein. Die Messung des etCO<sub>2</sub> stimmt bei beiden Geräten nicht mit dem p<sub>a</sub>CO<sub>2</sub> der arteriellen Blutgasanalyse überein.

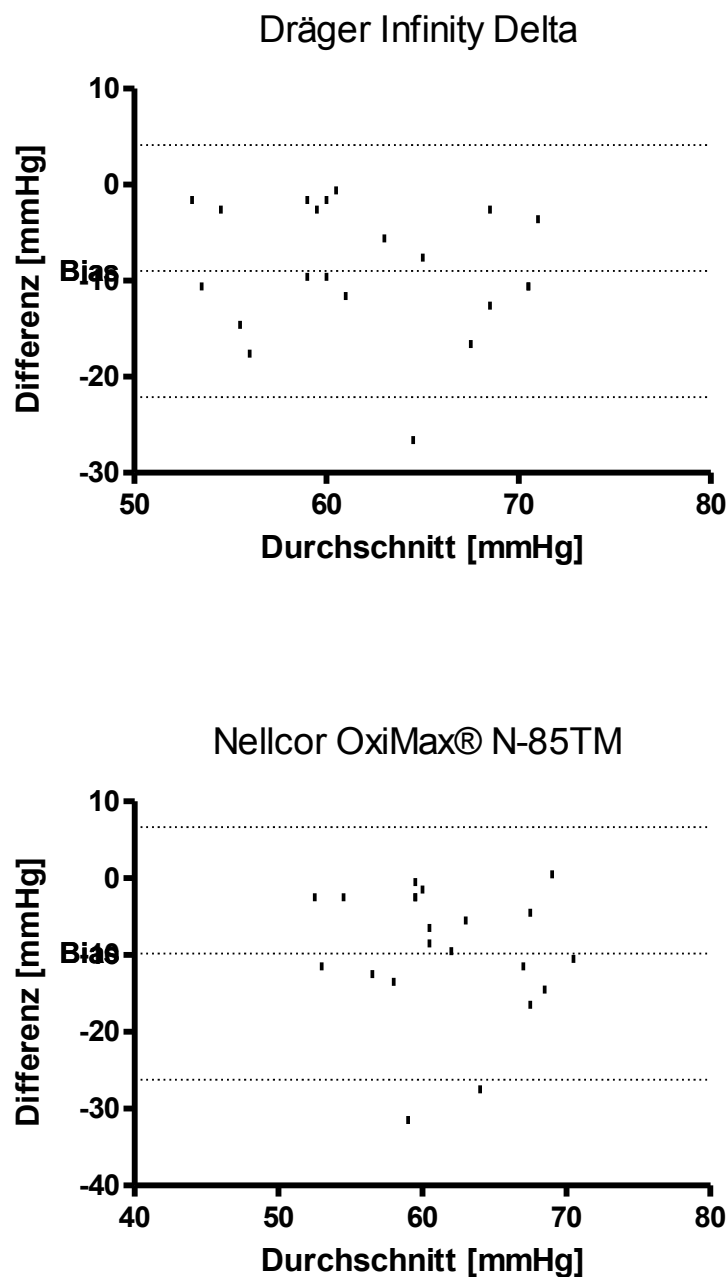


Abbildung 4.3: Bland-Altman Plot beide Kapnographen im Vergleich mit der arteriellen Blutgasanalyse

Beide Geräte unterschätzen die arterielle CO<sub>2</sub>-Konzentration, die Werte der Blutgasanalyse wurden jeweils von den Werten der Geräte abgezogen. Die Bias beträgt -9,0 mmHg (95 % Bereich - 22,13 bis 4,13 mmHg) für Dräger Infinity Delta und -9,81 mmHg (95 % Bereich -26,25 bis 6,63 mmHg) für Nellcor OxiMAX® N-85™.

#### 4.2.1.2 Injektionsnarkosen

Mit dem Gerät Nellcor OxiMAX® N-85™ konnten auch bei nicht intubierten Pferden in Vollnarkose Werte für den endexpiratorischen CO<sub>2</sub>-Gehalt der Atemluft ermittelt werden. Im Mittel wurde ein CO<sub>2</sub>-Gehalt von 37,7 mmHg gemessen. Die Messungen reichten von 23 - 46 mmHg.

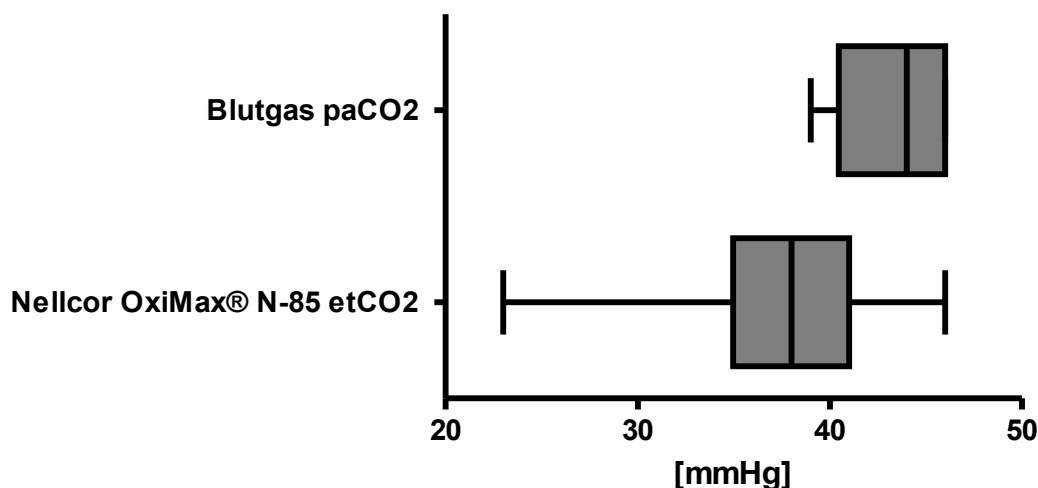


Abbildung 4.4: Darstellung der expiratorischen CO<sub>2</sub>-Messung bei nicht-intubierten Pferden

Die meisten Messwerte von Nellcor OxiMax® N-85™ liegen im physiologischen Bereich für anästhesierte Pferde. Es ist ersichtlich, dass die Blutgaswerte größer sind als die endexpiratorisch gemessenen CO<sub>2</sub>-Konzentration.

Punktuell konnte arterielles Blut gewonnen und Wertepaare aus dem etCO<sub>2</sub> und dem p<sub>a</sub>CO<sub>2</sub> gebildet werden. Bei einer mittleren Differenz von -4,4 mmHg, reicht das 95 Prozent Vertrauensintervall von -12,09 bis 3,29 mmHg (siehe Abb. 4.5). Die mittlere Differenz ist außerhalb der Messtoleranz. Es wurde jeweils der mittels Blutgasanalyse bestimmte p<sub>a</sub>CO<sub>2</sub> von dem endexpiratorischen CO<sub>2</sub>-Wert

## 4 Ergebnisse

abgezogen, der mit Nellcor OxiMax<sup>®</sup> N-85<sup>™</sup> bestimmt wurde. Folglich liefert das Gerät Nellcor OxiMax<sup>®</sup> N-85<sup>™</sup> bei der nicht intubierten Messung niedrigere CO<sub>2</sub>-Werte, als im Blut tatsächlich vorliegen.

Wie in Kapitel 2 beschrieben hat die Allgemeinnarkose bei Pferden einen deutlichen Einfluss auf die Atmung, sodass nicht von einer Übereinstimmung von etCO<sub>2</sub> und p<sub>a</sub>CO<sub>2</sub> ausgegangen werden. Auch bei der intubierten Kapnographie (siehe Kapitel 4.2.1) liegt keine Übereinstimmung zwischen etCO<sub>2</sub> und p<sub>a</sub>CO<sub>2</sub> vor. Vor diesem Hintergrund kann eine große Bias nicht als Hinweis auf eine Fehlmessung des Gerätes oder eine Verdünnung der Probenluft mit der Raumluft angesehen werden.

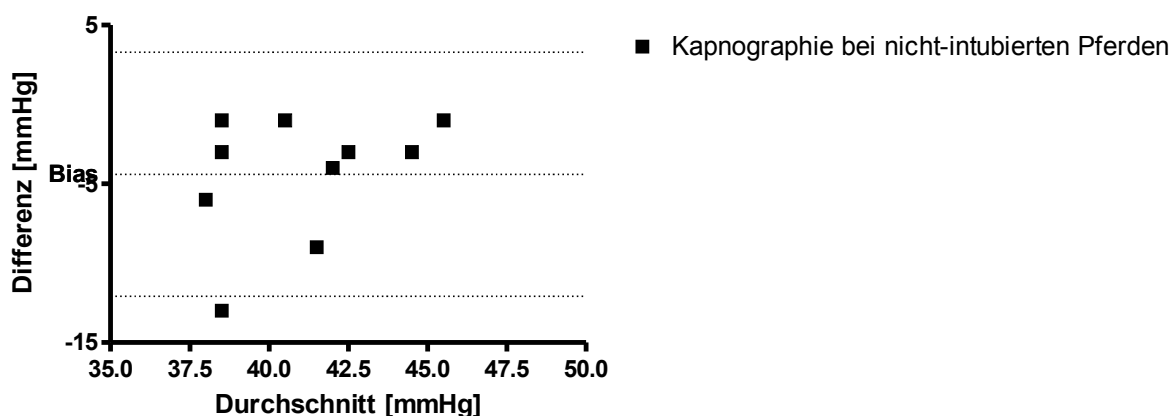


Abbildung 4.5: Bland-Altman-Plot des endexpiratorischen CO<sub>2</sub> bei nicht-intubierten Pferden

Die Bias des etCO<sub>2</sub> beträgt -4,4 mmHg (95 % Vertrauensbereich - 12,09 bis 3,29 mmHg). Die Blutgaswerte wurden von den Werten von Nellcor OxiMax<sup>®</sup> N-85<sup>™</sup> abgezogen und sind immer höher. Die meisten Differenzen liegen zwischen Null und der Bias. Nur drei Werte liegen unterhalb. Werden diesen drei Werte nicht mit in die Auswertung einbezogen, ist die mittlere Differenz deutlich kleiner.

### 4.2.2 Atemfrequenz

Dräger gibt für den Infinity Delta Monitor für Atemfrequenzbereiche von 0 - 40 Atemzüge pro Minute eine Genauigkeit von  $\pm 1$  an. Laut Handbuch besteht für das Gerät Nellcor OxiMax<sup>®</sup> N-85<sup>™</sup> keine zulässige Abweichung bei Atemfrequenzen zwischen 0 und 80 Zügen/Minute.

Die gemessenen Werte lagen im Mittel innerhalb der Toleranz. Der Vertrauensbereich übersteigt die zulässige Messtoleranz. Die mittlere Differenz der Atemfrequenz beträgt 0,48 Züge/min, der 95 Prozent Vertrauensbereich reicht von - 1,77 bis 2,73 Züge/min. Der Bland-Altman-Plot zeigt durch die gleichmäßige Verteilung der Wertepaare, dass beide Geräte die gleichen Schwierigkeiten bei der Zählung der Atemfrequenz hatten (siehe Abb. 4.6).

Die Passing & Bablok Regression zeigt eine signifikante ( $p < 0,01$ ) Abweichung von der Linearität der Messungen beider Geräte. Wobei die Streuung der Werte relativ klein ausfällt (RSD - Intervall - 1,73 bis 1,73 Züge/min). Allerdings sind viele Abweichungen zwischen den Messungen der Atemfrequenz bei beiden Geräten so groß, dass sie außerhalb des statistischen Zufalls liegen. Bei der graphischen Darstellung ist aus der Verteilung der Wertepunkte an den Achsen ersichtlich, dass beide Geräte Schwierigkeiten mit der Zählung der Atemfrequenz hatten (siehe Abb. 4.7).

## 4 Ergebnisse

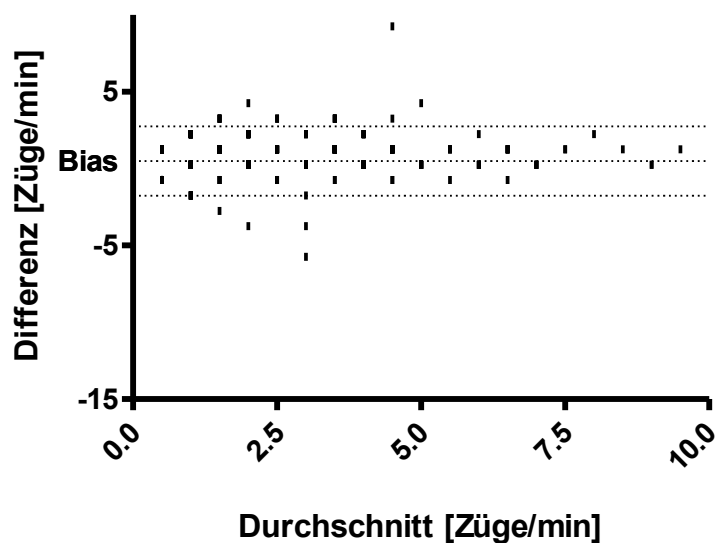


Abbildung 4.6: Bland-Altman-Plot Atemfrequenzen beider Geräte bei Pferden

Die Bias beträgt 0,48 Züge/min. Die Werte vom Referenzgerät Dräger Infinity Delta wurden von denen vom Testgerät Nellcor OxiMax<sup>®</sup> N-85<sup>TM</sup> abgezogen. Die Werte des Testgerätes sind durchschnittlich etwas größer. Dadurch erklärt sich die positive mittlere Abweichung der Geräte. Auffällig sind Wertepaare der Atemfrequenz, die eine hohe Differenz haben. Der Bland-Altman-Plot zeigt durch die gleichmäßige Verteilung der Wertepaare, dass beide Geräte die gleichen Schwierigkeiten bei der Zählung der Atemfrequenz hatten. Viele Wertepaare fallen als ein Punkt zusammen.

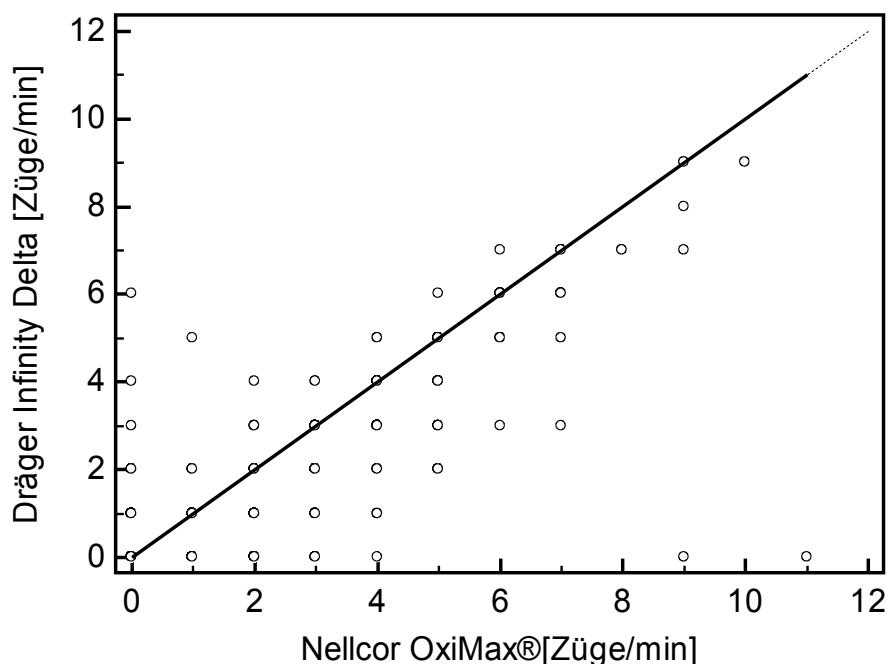


Abbildung 4.7: Passing & Bablok Regression Atemfrequenz

Der Test zeigt eine signifikante Abweichung von der Linearität der Messungen beider Geräte. Das RSD - Intervall beträgt - 1,73 bis 1,73 Züge/min. Das Gerät Nellcor OxiMAX® N-85™ kann nicht äquivalent zum Gerät Dräger Infinity Delta für die Bestimmung der Atemfrequenz verwendet werden. Aus der Verteilung der Wertepunkte an den Achsen ist ersichtlich, dass beide Geräte Schwierigkeiten mit der Zählung der Atemfrequenz hatten.

### 4.3 Pulsoximetrie

#### 4.3.1 Pulsfrequenz

Das Gerät Nellcor OxiMAX® N-85™ hat einen möglichen Messbereich von 20 bis 250 Schläge pro Minute. Das Gerätehandbuch gibt eine Toleranz für die Pulsfrequenz von  $\pm 3$  Schläge/Minute für den gesamten Messbereich an. Die Bedienungsanleitung gibt für das Gerät Infinity Delta ebenfalls eine Messtoleranz von  $\pm 3$  Schläge/Minute an. Der mögliche Messbereich erstreckt sich von 30 bis 250 Schläge pro Minute. Die

maximal zulässige Abweichung zwischen den beiden Geräten beträgt dann  $\pm 6$  Schläge pro Minute.

### **4.3.1.1 Nellcor OxiMAX® N-85™ und mittels Palpation gezählter Pulsfrequenz**

Beim Vergleich der Pulsfrequenzmessung von Nellcor OxiMAX® N-85™ und der manuell gezählten Pulsfrequenz, ergibt die Bland-Altman-Analyse eine mittlere Differenz von 3,94 Schläge/min. Der Vertrauensbereich (95%) reicht von - 60,82 bis 68,70 Schläge/min. Das Ergebnis der Bland-Altman-Analyse übersteigt den Bereich der Messungengenauigkeit des Gerätes.

Der Bland-Altman-Plot (siehe Abb. 4.8) ergibt eine Häufung der Werte um die Bias (3,94 Schläge/min) bei Durchschnittswerten der Pulsfrequenz von 25 bis 55 Schläge/min.

Die Passing & Bablok Regression zeigt zwischen dem Testgerät Nellcor OxiMAX® N-85™ und der palpatorisch ermittelten Pulsfrequenz eine signifikante Abweichung von der Linearität ( $p < 0,01$ ). Die Werte streuen über einen relativ weiten Bereich (RSD - Intervall - 22,02 bis 22,02 Schläge/min siehe Abb. 4.9). Die Abweichungen zwischen dem Gerät und der palpatorisch bestimmten Pulsfrequenz liegen außerhalb des statistischen Zufalls. Das Gerät Nellcor OxiMAX® N-85™ kann nicht äquivalent zur manuellen Pulsfrequenzbestimmung genutzt werden.

Um offensichtliche Fehlmessungen des Gerätes Nellcor OxiMAX® N-85™ auszuschließen, wurde die Bland-Altman-Analyse nochmals mit der Einschränkung durchgeführt, dass die Differenz zwischen den beiden Werten nicht größer als 50 Schläge/min sein darf. Damit sollen alle Werte ausgeschlossen werden, bei denen eine Mehrfachzählung der Pulswelle vorliegt. Es besteht auch dann ein Unterschied zwischen der manuellen Pulsfrequenz und der von Nellcor OxiMAX® N-85™ bestimmten Pulsfrequenz bei einer mittleren Differenz von - 3,69 Schläge/min und einem Vertrauensbereich (95 %) von - 37,18 bis 29,79 Schläge/min.

Die Passing & Bablok Regression zeigt auch bei dieser Einschränkung eine



#### 4 Ergebnisse

signifikante Abweichung von der Linearität ( $p < 0,01$ ). Das RSD - Intervall beträgt - 22,81 bis 22,81 Schläge/min.

Wurde die periphere Durchblutung anhand der Fühlbarkeit der Pulswelle als gut fühlbar (+) beurteilt, so zeigt die Bland-Altman-Analyse eine mittlere Differenz für die Pulsfrequenz von - 5,34 Schläge/min. Der Vertrauensbereich (95 %) reicht von - 53,91 bis 64,60 Schläge/min.

Die Passing & Bablok Regression zeigt eine signifikante Abweichung von der Linearität ( $p < 0,01$ ). Das RSD - Intervall beträgt - 25,26 bis 25,26 Schläge/min.

Die mittlere Differenz zwischen der manuellen Pulsfrequenz und der von Nellcor OxiMAX® N-85™ bestimmten ist größer als die Messtoleranz des Gerätes. Auch mit den Einschränkungen, dass die maximale Differenz innerhalb eines Wertepaares 50 Schläge/min betragen darf, als auch dass die Pulswelle als gut fühlbar beurteilt wird, wird der Toleranzbereich des Gerätes jeweils überschritten.

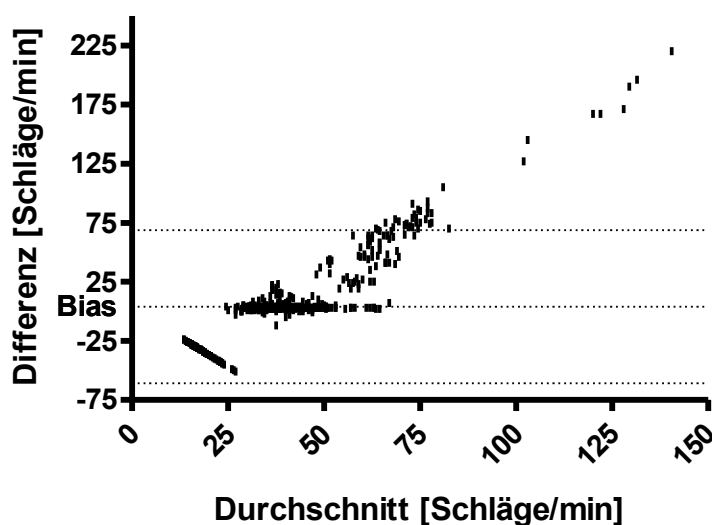
Die Passing & Bablok Regression zeigt für beide Einschränkungen eine Linearitätsabweichung. Die Unterschiede zwischen dem Gerät Nellcor OxiMax® N-85™ und der manuell bestimmten Pulsfrequenz sind größer als der statistische Zufall, so dass das Gerät nicht äquivalent zu palpatorischen Pulsfrequenzbestimmung genutzt werden kann.

## 4 Ergebnisse

*Tabelle 4.1 Auswertung der Häufigkeit von Fehlmessungen bei der Pulsfrequenzbestimmung durch das Gerät Nellcor OxiMAX® N-85™*

*Das Gerät hat insgesamt bei 28,34 Prozent der Messungen eine deutlich falsche Pulsfrequenz angezeigt, die von jedem Erfahrenen Anästhesisten sofort als Fehlmessung eingeordnet werden konnte.*

	Gesamtanzahl an Messungen	Differenz zwischen manueller Pulsfrequenz und Gerät größer 50 Schläge/min	„Nullmessung des Gerätes“	Gesamtanzahl an Fehlmessungen
Anzahl der Messungen	628	86	92	178
Anteil der Messungen an der Gesamtanzahl	100,00%	13,69%	14,65%	28,34%



**Abbildung 4.8: Bland-Altman-Plot der Pulsfrequenz ermittelt durch Nellcor OxiMax® N-85™ im Vergleich mit der palpatorisch ermittelten Pulsfrequenz**

Die Bias beträgt 3,94 Schläge/min. Die manuell bestimmten Werte der Pulsfrequenz wurden von den pulsoximetrisch vom Gerät Nellcor OxiMax® N-85™ ermittelten Werte für die Pulsfrequenz abgezogen. Die Bias zeigt, dass die manuell bestimmten Werte im Durchschnitt etwas größer sind. Weiter erkennbar ist, dass viele Werte in hohe Durchschnitts- und auch Differenzbereiche verstreut sind, was daran liegt, dass die Pulswellen vom Gerät mehrfach gezählt wurden. Eine weitere Häufung von Wertepaaren befindet sich bei Durchschnittswerten von 10 bis 30 Schläge/min. Die Differenz geht hier deutlich in den negativen Bereich. Das Testgerät hat hier keine Pulswelle messen können, es wurde „Null“ angezeigt.

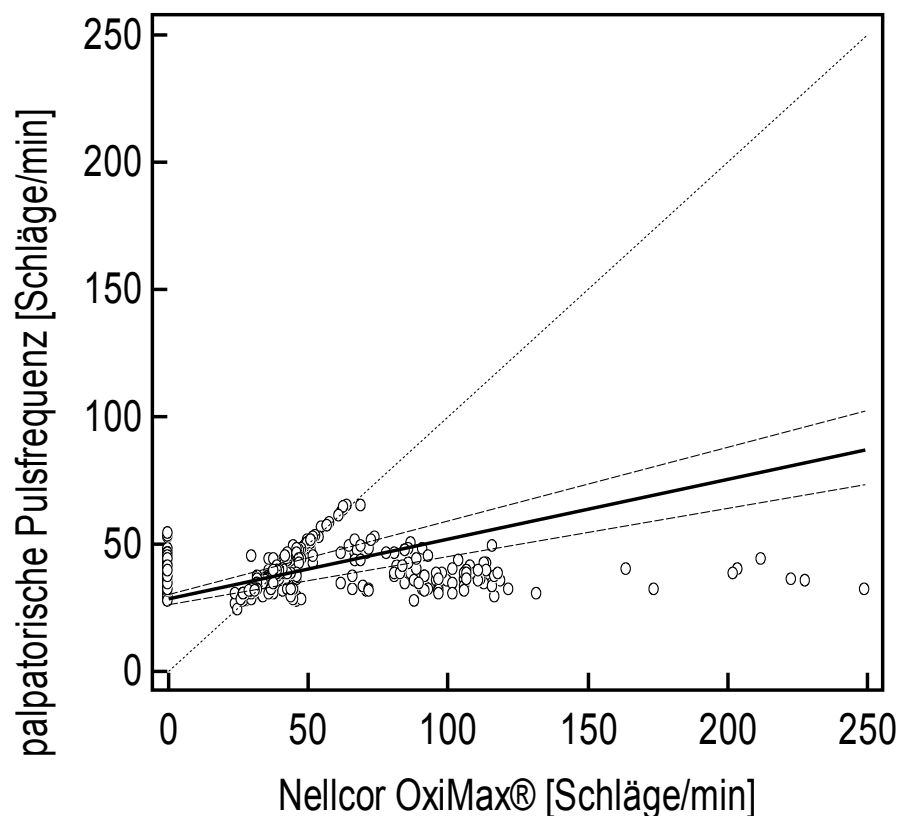


Abbildung 4.9: Passing & Bablok Regression palpatorisch bestimmte Pulsfrequenz und Nellcor OxiMax® N-85™

Der Test zeigt eine signifikante Abweichung von der Linearität ( $p < 0,01$ ). Das RSD - Intervall beträgt - 22,02 bis 22,02 Schläge/min. Die Abweichungen zwischen dem Gerät Nellcor OxiMax® N-85™ und der palpatorisch bestimmten Pulsfrequenz sind so groß, dass sie außerhalb des statistischen Zufalls liegen. Das Gerät kann nicht äquivalent zur manuellen Pulsfrequenzbestimmung genutzt werden.

#### 4.3.1.2 Dräger Infinity Delta und mittels Palpation gezählter Pulsfrequenz

Die mittlere Differenz zwischen der palpatorisch gezählten Pulsfrequenz und der durch das Gerät Dräger Infinity Delta bestimmten Pulsfrequenz beträgt 1,2 Schläge/min. Der 95 Prozent Sicherheitsbereich reicht von - 14,71 bis 17,12 Schläge/min. Die mittlere Differenz liegt im Rahmen der Messgenauigkeit des Gerätes Dräger Infinity Delta, der Sicherheitsbereich übersteigt die

#### 4 Ergebnisse

Messtoleranz. Die Punkte der Differenz zwischen den beiden unterschiedlich bestimmten Pulsfrequenzen in Abhängigkeit vom Durchschnittswert eines Wertepaares ergeben im Bland-Altman-Plot eine Punktwolke um die Bias (1,2 Schläge/min) (siehe Abb. 4.10).

Unter der Bedingung, einer guten Fühlbarkeit der Pulswelle (+), beträgt die mittlere Differenz zwischen der palpatorisch bestimmten und der mit Dräger Infinity Delta gemessenen Pulsfrequenz 0,95 Schläge/min. Der 95 Prozent Sicherheitsbereich reicht von - 13,95 bis 15,83 Schläge/min.

Die mittlere Differenz, der manuell bestimmten Pulsfrequenz und der mit Dräger Infinity Delta bestimmten liegt im Rahmen der Messtoleranz, sowohl wenn keine Einschränkungen bestehen für die Auswahl der Wertepaare als auch wenn die Pulswelle als gut fühlbar (+) beurteilt wird. Der 95 % Vertrauensbereich übersteigt in beiden Fällen die zulässige Messungenauigkeit.

Die Passing & Bablok Regression zeigt keine Abweichung von der Linearität, sowohl für alle Wertepaare als auch wenn die Fühlbarkeit der Pulswelle als gut beurteilt wurde ( $p = 0,70$  bzw.  $0,61$ ). Die Steigung beträgt 1,0 (95 % Vertrauensbereich 1,0 bis 1,0), der  $y$ -Abschnitt 0,0 Schläge/min (95 % Vertrauensbereich 0,0 bis 0,0 Schläge/min). Das RSD - Intervall beträgt - 10,65 bis 10,65 bzw. - 10,36 bis 10,35 Schläge/min. Das Gerät Dräger Infinity Delta kann als alternative zur manuellen Pulsfrequenzbestimmung verwendet werden (siehe Abb.4.11).

## 4 Ergebnisse

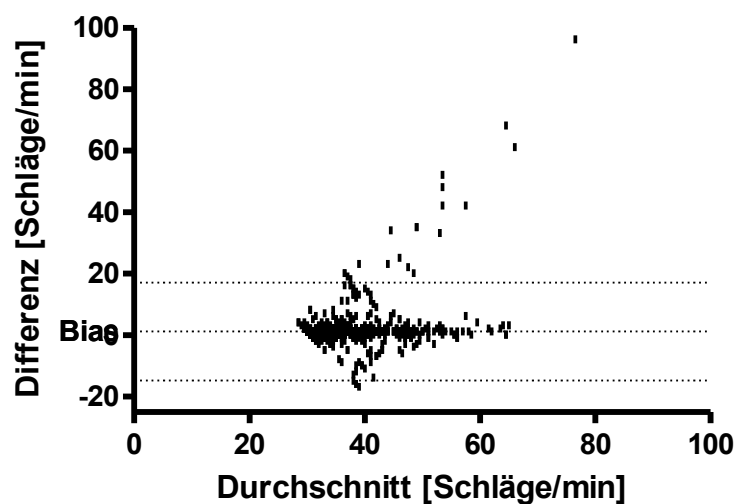
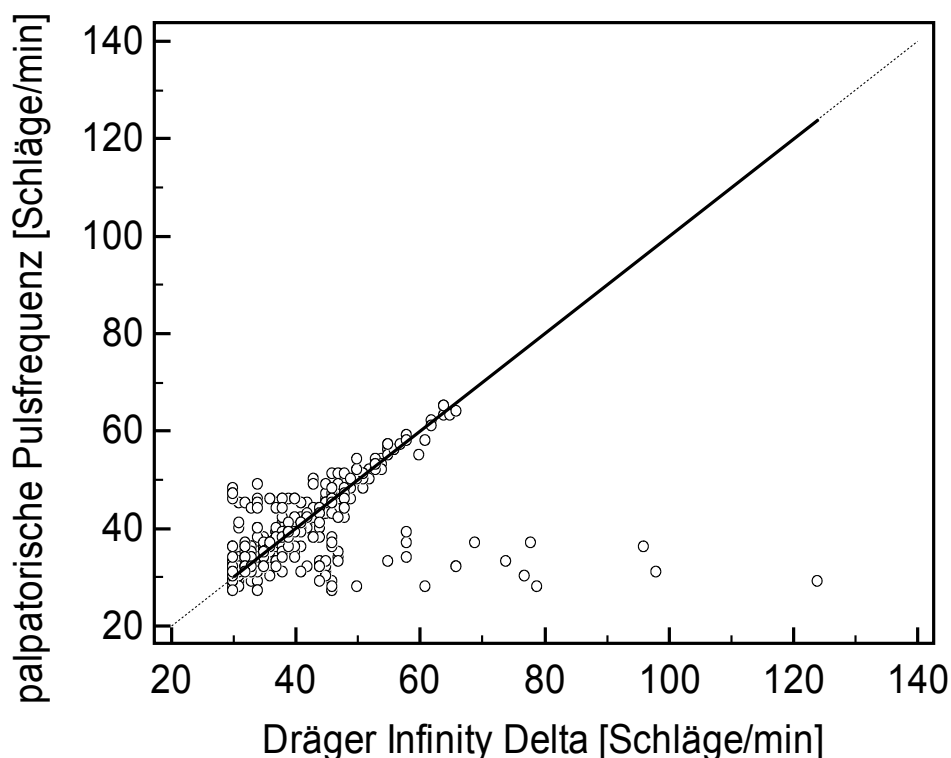


Abbildung 4.10: Bland-Altman-Plot der Pulsfrequenz ermittelt durch Dräger Infinity Delta im Vergleich mit der palpatorisch ermittelten Pulsfrequenz

Die Bias beträgt 1,2 Schläge/min. Die manuell ermittelten Werte wurden von denen des Gerätes Dräger Infinity Delta abgezogen. Die Bias zeigt, dass die vom Gerät bestimmten Werte im Durchschnitt etwas größer sind. Weiter erkennbar ist, dass einige Werte in hohe Durchschnitts- und Differenzbereiche verstreut sind. Bei all diesen Werten wurden die Pulswellen vom Gerät mehrfach gezählt. Pulsfrequenzen unter 30 Schläge/min konnten vom Gerät nicht bestimmt werden.



**Abbildung 4.11: Passing & Bablok Regression der Pulsfrequenz ermittelt mit Dräger Infinity Delta im Vergleich mit der mittels Palpation bestimmten Pulsfrequenz**

Ersichtlich ist die lineare Abhängigkeit zwischen dem Überwachungsgerät und der manuellen Pulsfrequenz. Die Steigung der Geraden beträgt 1,0, der y-Abschnitt 0,0 Schläge/min, das RSD - Intervall - 10,65 bis 10,65 Schläge/min. Das Gerät Dräger Infinity Delta kann äquivalent zur palpatorischen Pulsfrequenzbestimmung verwendet werden.

### 4.3.2 Sauerstoffsättigung

Das Handbuch gibt eine zulässige Abweichung von  $\pm 3\%$  an, für die Messung der Sauerstoffsättigung durch den Sensor (Durasensor DS-100A), angeschlossen am Gerät Dräger Infinity Delta. Die zulässige Messungsgenauigkeit bei Messung der Sauerstoffsättigung wird für das Gerät Nellcor OxiMax<sup>®</sup> N-85<sup>™</sup> mit  $\pm 2,5\%$  angegeben.

#### **4.3.2.1 Vergleich aller Wertepaare der Sauerstoffsättigung**

Der Vergleich der Sauerstoffsättigung beider Geräte mittels Bland-Altman Analyse ergibt eine mittlere Differenz von - 12,16 %, das 95 Prozent Sicherheitsintervall reicht von - 75,50 bis 51,18 %. Die mittlere Differenz der Sauerstoffsättigung befindet sich außerhalb des Toleranzbereichs. Im Bland-Altman-Plot zeigt sich eine Punktwolke knapp unterhalb der Bias bei Durchschnittswerten von 80 - 100 %. Die Bias zeigt, dass die von Dräger Infinity Delta bestimmten Werte im Durchschnitt etwas größer sind. Eine weitere Häufung von Wertepaaren findet sich bei Durchschnittswerten von 30 bis 50 %. Die Differenz geht hier deutlich in den positiven Bereich. Das Testgerät konnte hier keine Sauerstoffsättigung messen, es wurde Null angezeigt. Vom Referenzgerät Dräger Infinity Delta konnten gleichzeitig Werte ermittelt werden. (siehe Abb. 4.12).

Die Passing & Bablok Regression zeigt eine signifikante Abweichung von der Linearität ( $p < 0,01$ ). Die Streuung der Messwerte ist relativ hoch (RSD - Intervall - 47,43 bis 47,43 %). Somit können die beiden Geräte nicht äquivalent zur Bestimmung der Sauerstoffsättigung verwendet werden. Die Abweichungen sind größer als der statistische Zufall (siehe Abb. 4.13).

## 4 Ergebnisse

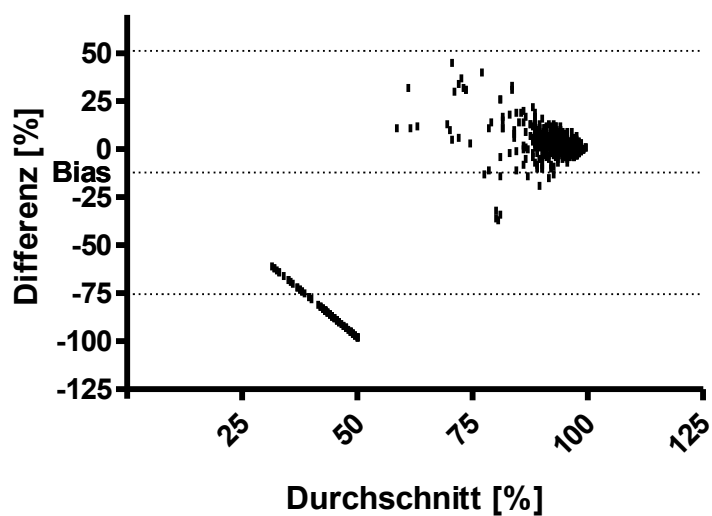


Abbildung 4.12: Bland-Altman-Plot der Sauerstoffsättigung von Nellcor OxiMax<sup>®</sup> N- 85<sup>TM</sup> im Vergleich mit der Sauerstoffsättigung von Dräger Infinity Delta

Die Bias beträgt - 12,16 %. Die Werte des Gerätes Dräger Infinity Delta wurden von denen vom Gerät Nellcor OxiMax<sup>®</sup> N-85<sup>TM</sup> Delta abgezogen. Die Bias zeigt, dass die von Dräger Infinity Delta bestimmten Werte im Durchschnitt etwas größer sind. Eine Häufung von Wertepaaren findet sich bei Durchschnittswerten von 30 bis 50 %. Die Differenz geht hier deutlich in den negativen Bereich. Das Testgerät hat hier keine Sauerstoffsättigung messen können, es wurde Null angezeigt. Vom Referenzgerät Dräger Infinity Delta konnten gleichzeitig Werte ermittelt werden.



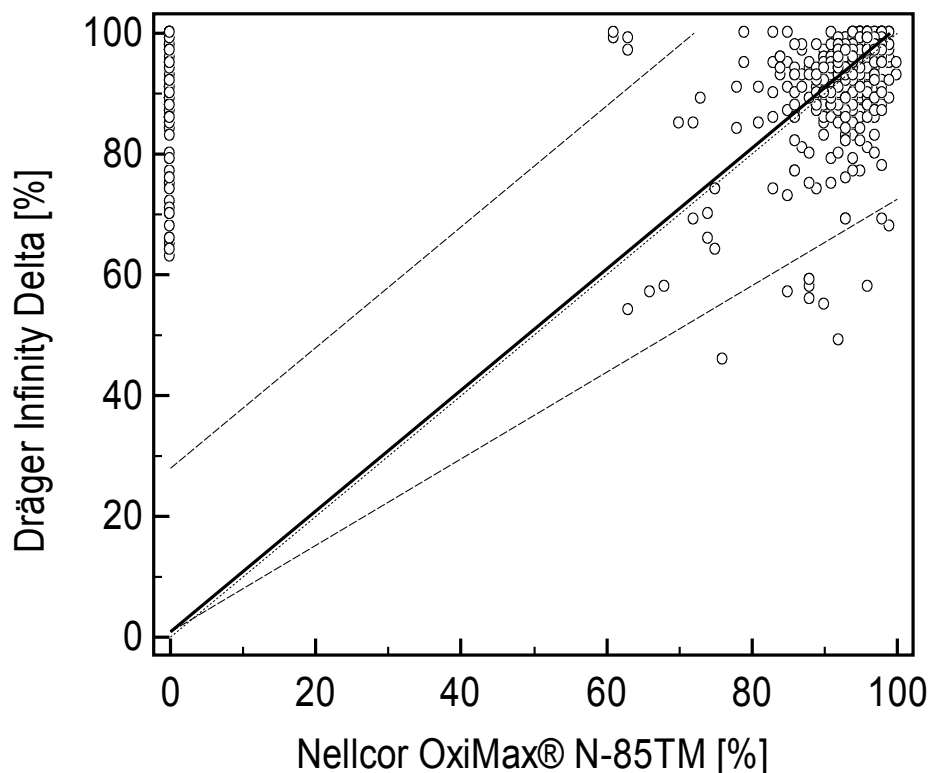


Abbildung 4.13: Passing & Bablok Regression der Sauerstoffsättigung von Nellcor OxiMax® N- 85<sup>TM</sup> im Vergleich mit der Sauerstoffsättigung von Dräger Infinity Delta

Es besteht eine signifikante Abweichung von der Linearität ( $p < 0,01$ ). Das RSD - Intervall reicht von - 47,43 bis 47,43 %. Die beiden Geräte können nicht äquivalent zur Bestimmung der Sauerstoffsättigung verwendet werden. Die Abweichungen sind größer als der zufällige statistische Fehler.

Vergleicht man die Sauerstoffsättigung beider Geräte mit dem  $s_eO_2$ -Wert der arteriellen Blutgasanalyse, ergibt die Bland-Altman Analyse für Nellcor OxiMax® N-85<sup>TM</sup> eine mittlere Differenz von - 8,21 % (95% Bereich -51,54 - 35,11 %). Das Gerät Delta Infinity unterscheidet sich im Mittel um - 4,05 % von der Blutgasanalyse (95% Bereich - 17,66 - 9,55 %).

Die mittlere Differenz der Sauerstoffsättigung der beiden Geräte untereinander, als auch die mittlere Differenz der Sauerstoffsättigung der Geräte vom  $s_eO_2$  der Blutgasanalyse liegt außerhalb der vom Hersteller angegebenen Messtoleranz.

## 4 Ergebnisse

*Tabelle 4.2 Anzahl der ausgeschlossenen Wertepaare und Anzahl der offensichtlichen Fehlmessungen der Sauerstoffsättigung von Nellcor OxiMax® N-85™.*

*In 27,30% der Fälle lag eine offensichtliche Fehlmessung vor, die von einem geübten Anästhesisten sofort als Fehlmessung erkannt werden konnte.*

	Gesamtzahl der Messungen	Abweichung der Pulsfrequenz von der palpatorisch bestimmten Pulsfrequenz von beiden Geräten mehr als +/- 3 Schläge/min	„Null“-Messungen von Nellcor OxiMax® N-85™	Sauerstoffsättigung kleiner 80 % aber keine klinische Auffälligkeit beim Patienten
Anzahl der Messungen	606	241	75	90
Anteil der Messungen an der Gesamtzahl	100,00%	39,80%	12,40%	14,90%

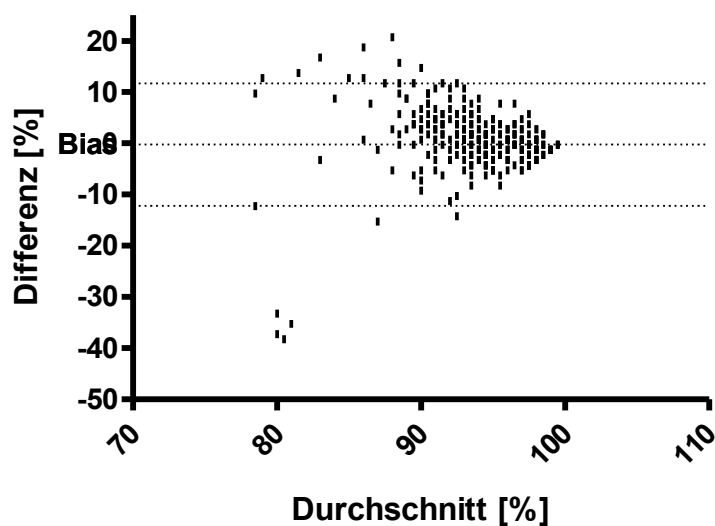
### **4.3.2.2 Abweichung der vom Gerät und palpatorisch ermittelter Pulsfrequenz beträgt maximal $\pm 3$**

Wie bereits unter 2.5.6 aufgeführt korrelieren die Zuverlässigkeit der Sauerstoffsättigung und die Exaktheit der gemessenen Pulsfrequenz. Um diesen Zusammenhang zu berücksichtigen soll der Unterschied zwischen der Pulsfrequenzmessung der Geräte und der manuell bestimmten Pulsfrequenz maximal  $\pm 3$  Schläge pro Minute betragen. Unter diesen Bedingungen ergibt die Bland-Altman-Analyse eine mittlere Differenz der Sauerstoffsättigung beider Geräte von - 0,25 %, bei einem Vertrauensbereich (95 %) von - 12,24 bis 11,73 %. Die mittlere Abweichung der Geräte liegt im Bereich der Messungenauigkeit, der Sicherheitsbereich liegt außerhalb der Messtoleranz. Die Differenz der Sauerstoffsättigung aufgetragen zum Durchschnitt der Wertepaare der Sauerstoffsättigung stellt sich im Bland-Altman-Plot als eine Punktwolke um die Bias bei Durchschnittswerten von 88 - 100 % dar (siehe Abb. 4.14).

Die Passing & Bablok Regression zeigt eine signifikante Abweichung von der Linearität ( $p = 0,05$ ). Die Streuung der Werte ist relativ hoch (RSD - Intervall - 45,77

#### 4 Ergebnisse

bis 45,77 %). Die beiden Geräte können auch unter der aufgeführten Bedingung nicht äquivalent für die Narkoseüberwachung genutzt werden (siehe Abb. 4.15).



**Abbildung 4.14: Bland-Altman-Plot die Sauerstoffsättigung von Nellcor OxiMax<sup>®</sup> N-85<sup>™</sup> im Vergleich mit der Sauerstoffsättigung von Dräger Infinity Delta, die maximale Abweichung der vom Gerät und palpatorisch ermittelter Pulsfrequenz beträgt  $\pm 3$  Schläge/min**

Die Bias beträgt -0,25 %. Die Werte des Gerätes Dräger Infinity Delta wurden von denen vom Gerät Nellcor OxiMax<sup>®</sup> N-85<sup>™</sup> abgezogen. Die Bias zeigt, dass die Werte im Durchschnitt fast gleich groß sind.

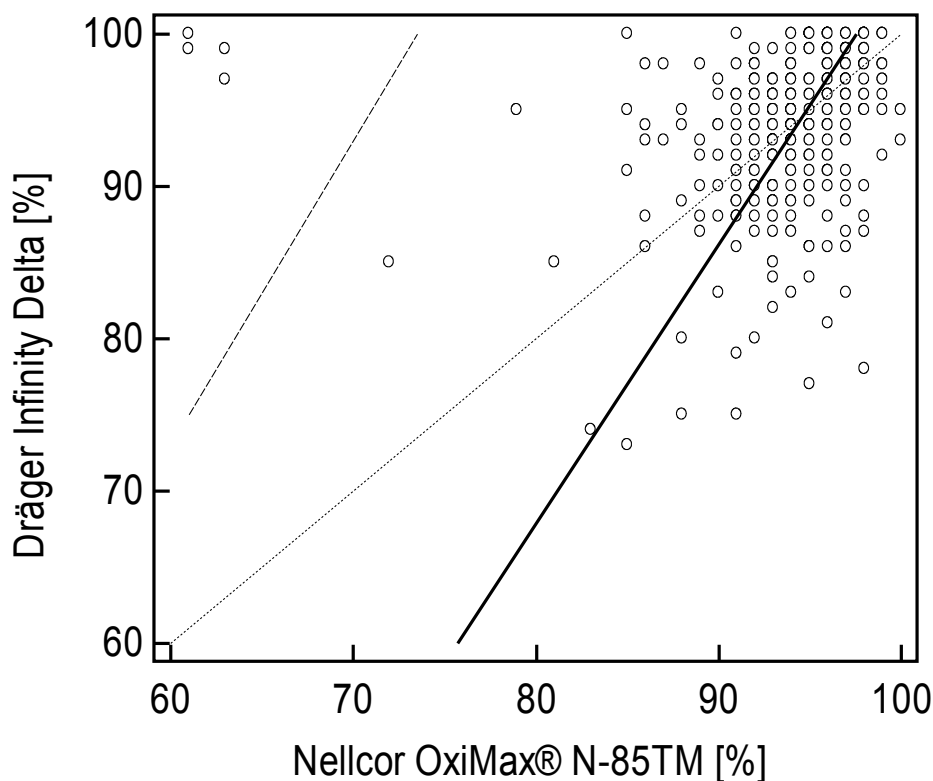


Abbildung 4.15: Passing & Bablok Regression der Sauerstoffsättigung beider Geräte im Vergleich wenn die Differenz der mittels Gerät bestimmten und der palpatorisch ermittelten Pulsfrequenz maximal  $\pm 3$  beträgt

Der Test zeigt eine signifikante Abweichung von der Linearität der Messungen beider Geräte. Das RSD - Intervall reicht von - 45,77 bis 45,77 %. Beide Geräte können auch unter der Einschränkung, dass die Pulsfrequenz übereinstimmen muss nicht äquivalent zur Narkoseüberwachung genutzt werden.

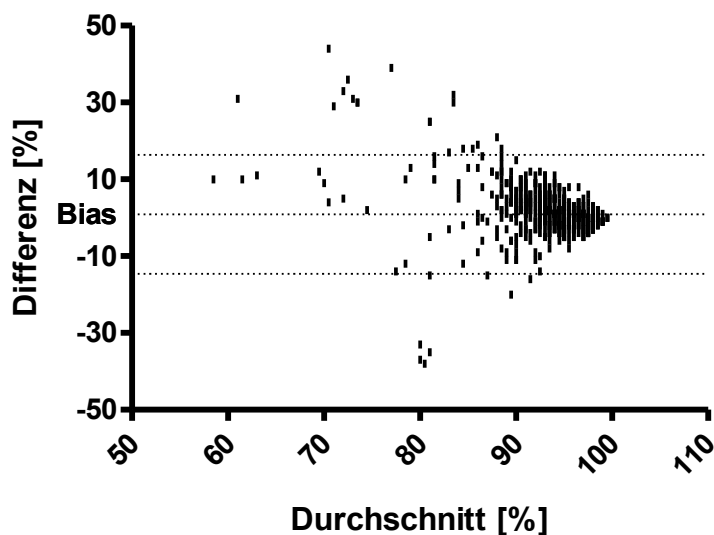
#### 4.3.2.3 Ausschluss der Nullmessungen von Nellcor OxiMax® N-85™

Werden alle Wertepaare ausgeschlossen bei denen Nellcor OxiMax® N-85™ „Null“ anzeigt, beträgt die mittlere Differenz der Sauerstoffsättigung 0,87 %. Der Vertrauensbereich (95 %) reicht von - 14,59 bis 16,34 %. Mit dieser Einschränkung sollen offensichtliche Fehlmessungen ausgeschlossen werden. Die mittlere Differenz zwischen den Geräten liegt dann im Rahmen der zulässigen Messtoleranz, der Sicherheitsbereich liegt außerhalb der Messtoleranz. Der Bland-Altman-Plot zeigt

#### 4 Ergebnisse

eine Punktwolke um die Bias bei Durchschnittswerten der Sauerstoffsättigung von 88 bis 100 % (siehe Abb. 4.16).

Die Passing & Bablok Regression zeigt eine signifikante Abweichung von der Linearität ( $p = 0,04$ ). Die Streuung der Werte ist auch unter diesen Bedingungen hoch (RSD - Intervall - 43,44 bis 43,44 %). Beide Geräte können auch bei Ausschluss der „Null“-Messungen von Nellcor OxiMax® N-85™ nicht äquivalent für die Bestimmung der Sauerstoffsättigung herangezogen werden (siehe Abb. 4.17).



**Abbildung 4.16:** Bland-Altman-Plot die Sauerstoffsättigung von Dräger Infinity Delta im Vergleich mit der Sauerstoffsättigung von Nellcor OxiMax® N- 85™, die Nullmessungen von Nellcor OxiMax® N- 85™ wurden ausgeschlossen.

Die Bias beträgt 0,87 %. Die Sauerstoffsättigungswerte des Gerätes Dräger Infinity Delta wurden von denen vom Gerät Nellcor OxiMax® N-85™ abgezogen. Die Bias zeigt, dass die vom Nellcor OxiMax® N- 85™ bestimmten Werte im Durchschnitt etwas größer sind. Auffällig ist eine Punktwolke um die Bias bei Durchschnittswerten von 88 bis 100 %.

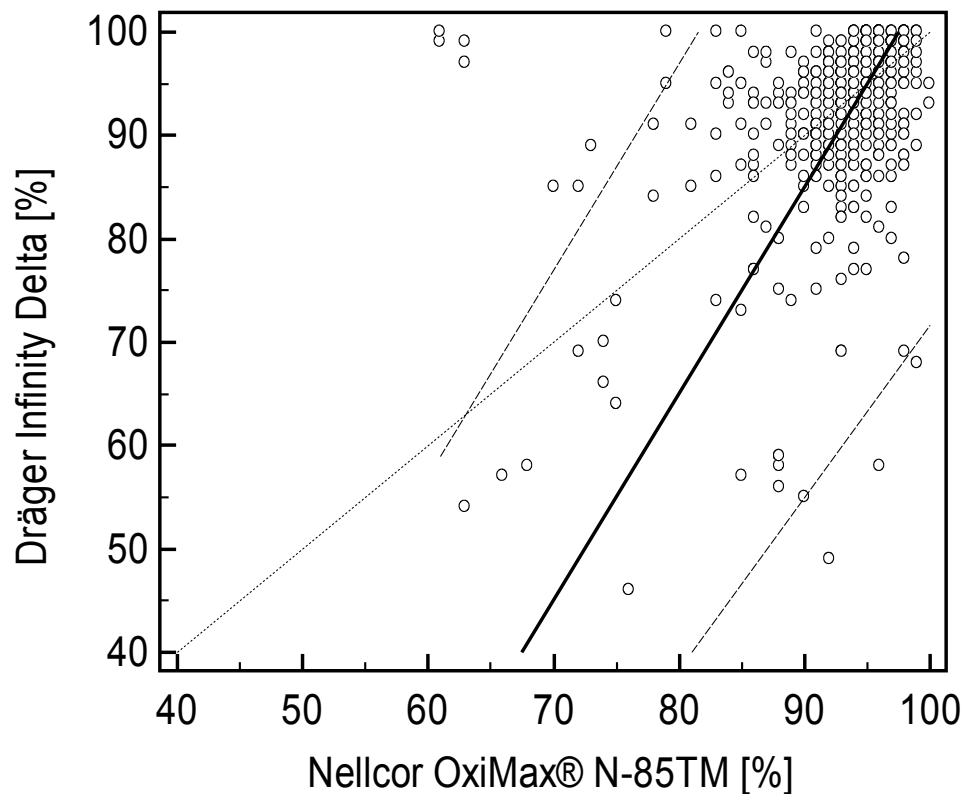


Abbildung 4.17: Passing & Bablok Regression der Sauerstoffsättigung beider Geräte im Vergleich, Nullmessungen von Nellcor OxiMax® N- 85<sup>TM</sup> wurden ausgeschlossen

Der Test zeigt eine signifikante Abweichung von der Linearität. Die Normalgerade liegt nicht innerhalb des 95 % Sicherheitsbereiches. Das RSD - Intervall reicht von - 43,44 bis 43,44 %. Auch wenn die Nullmessungen von ausgeschlossen werden kann das Gerät Nellcor OxiMax® N- 85<sup>TM</sup> nicht äquivalent zum Gerät Dräger Infinity Delta für die Narkoseüberwachung verwendet werden.

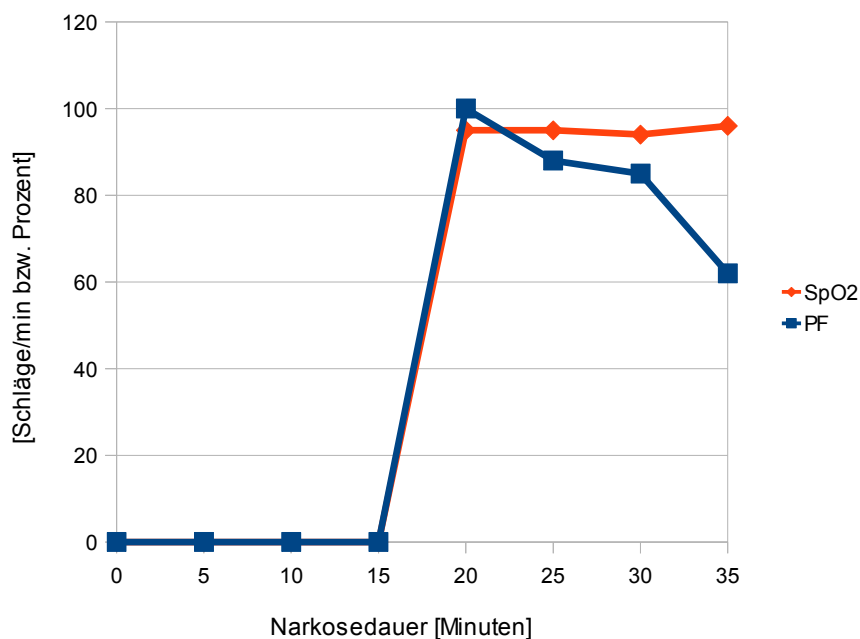
### 4.3.3 Fehlmessungen

Das Gerät Nellcor OxiMax® N-85<sup>TM</sup> zeigte bei Augenoperationen wiederholt Fehlmessungen. Zu Beginn der Narkose war keine Messung von Sauerstoffsättigung und Pulsfrequenz möglich. Das Gerät zeigte dann für beide Werte „Null“ an. Zehn bis zwanzig Minuten nach Narkosebeginn konnte eine Sauerstoffsättigung gemessen werden. Gleichzeitig wurde vom Gerät eine Pulsfrequenz angezeigt die zumeist weit über dem manuell ermittelten Wert für die Pulsfrequenz lag. Die Pulswelle wurde zeitgleich als gut fühlbar (+) beurteilt. Diese Art der Fehlmessung trat bei einem Pferd

## 4 Ergebnisse

während allen drei Augenoperationen auf. Bei anderen mehrfach operierten Pferden, trat das Problem nur während einer Narkose auf. Abbildung 4.18 zeigt einen typischen Verlauf einer Fehlmessung während einer Augenoperation.

Diese Messprobleme könnten im Zusammenhang mit dem tieferen Narkosestadium stehen. Sie traten bei 33 Augenoperationen (von gesamt 64 Augenoperationen) auf und erstreckten sich über einen längeren Zeitraum. Bei sieben anderen Operationen kam es nur bei vereinzelt Messpunkten zu Problemen bei der Ermittlung von Pulsfrequenz und Sauerstoffsättigung. Diese Schwierigkeiten zeigten sich bei keinem Pferd bei der Nutzung des Gerätes Dräger Infinity Delta.



**Abbildung 4.18:** Darstellung der Pulsoximetrie während einer Vitrektomie als Beispiel für den Verlauf einer Fehlmessung

**Dargestellt ist der typische Verlauf einer Fehlmessung des Pulsoximeters von Nellcor OxiMax® N-85™. Zuerst wird "Null" angezeigt, nach durchschnittlich 10 - 20 Minuten ist eine Messung möglich. Die Pulswelle wird dann mehrfach gezählt. Das Problem tritt nur bei Augenoperationen auf und scheint mit dem nötigen, tieferen Toleranzstadium bei Augenoperationen im Zusammenhang zustehen. Der Sensor von Dräger Infinity Delta hatte gleichzeitig keine Schwierigkeiten mit den Messungen der Pulsoximetrie.**

## **5 Diskussion**

### **5.1 Diskussion der Methode**

#### **5.1.1 Patientenauswahl**

Die vorliegende Untersuchung wurde an 88 Pferden durchgeführt. Nellcor OxiMAX® N-85™ sollte als kostengünstige Alternative zu großen Überwachungsmonitoren getestet werden. In der Praxis kann das Gerät bei allen Patienten und bei allen Operationen zur Anwendung kommen. Aus diesem Grund erschienen Einschränkungen bei der Probandenauswahl nicht sinnvoll. Die Patienten wurden elektiven Operationen unterzogen. Ein Großteil der Operationen wurde am Auge durchgeführt. Alle Patienten waren bei ungestörtem Allgemeinbefinden.

#### **5.1.2 Narkosemanagement**

Alle Pferde wurden mit Ketamin und Guaifenesin oder Diazepam in Narkose gelegt. Dies ist eine übliche Kombination zur Narkoseinduktion (TAYLOR u. CLARKE, 2007). Die Aufrechterhaltung erfolgte mit Xylazin und Ketamin oder mit Isofluran in Sauerstoff.

Die Narkosen wurden routinemäßig unter Spontanatmung durchgeführt. Insbesondere während Augenoperationen wurden die Atemfrequenz, das Atemzugvolumen und der Blutdruck zur Einschätzung der Narkosetiefe herangezogen, da der Lid- und Kornealreflex nicht bestimmt werden konnten. Zusätzlich wurde der positive Einfluss eines moderaten  $p_a\text{CO}_2$ -Anstiegs auf das Herz- und Kreislaufsystem genutzt (WAGNER, 1990; HUBBEL, 1991). Es bestand dadurch die Möglichkeit, das Gerät auch bei sehr niedrigen Atemfrequenzen zu testen.



### **5.1.3 Vergleich von Nellcor OxiMAX® N-85™, Dräger Infinity Delta und arterieller Blutgasanalyse**

Der Vergleich zwischen der arteriellen Blutgasanalyse und dem endexpiratorischen CO<sub>2</sub>-Wert ist kritisch zu bewerten. Auf Grund der beschriebenen Perfusions- und Ventilationsmissverhältnisse bei Pferden in Narkose kann nicht von einer exakten Übereinstimmung von p<sub>a</sub>CO<sub>2</sub> und etCO<sub>2</sub> ausgegangen werden. Insbesondere weichen diese Werte unter Spontanatmung voneinander ab. In der Regel ist der etCO<sub>2</sub>-Wert niedriger (McKELVEY u. HOLLINGSHEAD, 2003; KOENIG ET ALL, 2003). Pulsoximeter können bei reinem Sauerstoff als Trägergas Veränderungen des p<sub>a</sub>O<sub>2</sub> nicht sicher erkennen (WATNEY ET ALL, 1993; ALEF u. OECHTERING, 1994).

Aus diesem Grund wurden die Messwerte des Testgerätes OxiMAX® N-85™ von Nellcor während Inhalationsnarkosen mit den Werten eines professionellen Überwachungsmonitors (Dräger Infinity Delta) verglichen. Ziel dieser Untersuchung war die Evaluierung eines tragbaren Überwachungsgerätes für die Praxis. Es sollte insbesondere getestet werden, ob das mit Microstream-Technologie arbeitende Nellcor OxiMAX® N-85™ eine gut funktionierende Alternative zu großen Geräten ist. Trotzdem erfolgte punktuell der Vergleich beider Geräte mit der arteriellen Blutgasanalyse.

Während der Injektionsnarkosen bestand lediglich die Möglichkeit des Vergleiches mit der arteriellen Blutgasanalyse. Ziel der Studie war es herauszufinden, in wieweit die Kapnographie bei nicht-intubierten Pferden möglich ist und ob die Werte ähnlich zuverlässig dem p<sub>a</sub>CO<sub>2</sub> entsprechen wie dies bei der Kapnographie im Rahmen von Inhalationsnarkosen der Fall ist.

## **5.2 Diskussion der Ergebnisse**

### **5.2.1 Kapnographie**

#### **5.2.1.1 Inhalationsnarkosen**

##### **5.2.1.1.1 Endexpiratorisches CO<sub>2</sub>**

Die mittlere Differenz der endexpiratorischen CO<sub>2</sub>-Werte beider Geräte liegt mit - 0,88 mmHg im Bereich der Messtoleranz. Die Passing & Bablok Regression zeigt keine Abweichung von der Linearität der Messungen. Der y-Abschnitt beträgt 1 mmHg. Die Werte zeigen, dass das Testgerät Nellcor OxiMAX<sup>®</sup> N-85<sup>™</sup> geringfügig kleinere Messwerte liefert. Die Abweichung der beiden Geräte ist klinisch nicht relevant. Weiter liegt die Streuung der Messwerte mit - 8,81 bis 8,81 mmHg in einem akzeptablen Bereich. Beide Geräte können gleichwertig für die Überwachung der endexpiratorischen CO<sub>2</sub>-Konzentration bei Pferden in Allgemeinnarkose verwendet werden.

Die Messung beider Geräte, OxiMAX<sup>®</sup> N-85<sup>™</sup> von Nellcor und Infinity Delta von Dräger weichen im Mittel mit - 9 bzw. - 9,81 mmHg deutlich von der arteriellen Blutgasanalyse ab. Zwischen etCO<sub>2</sub> und p<sub>a</sub>CO<sub>2</sub> besteht eine mittlere Differenz die weit außerhalb der für die Geräte angegebenen Messtoleranz liegt. Die unphysiologische Lagerung von Pferden in Narkose führt zu Perfusions- und Ventilationsmissverhältnissen der Lunge (HALL, 1984; NYMANN, 1989; SCHATZMANN, 1995). Durch die atemdepressive Wirkung der Narkotika sind die physiologischen Kompensationsmechanismen eingeschränkt. Während Spontanatmung kommt es dadurch zu einer Hyperkapnie, Hypoxämie und respiratorischen Azidose (STRAUB, 1996). Die tatsächliche CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Ausatemluft kann dadurch vom p<sub>a</sub>CO<sub>2</sub> abweichen und aus einer Differenz zwischen den beiden Werten kann nicht auf eine Fehlmessung der Geräte geschlossen werden. Kapnographen können die arterielle Blutgasanalyse nicht vollständig ersetzen (AUER u. STICK, 2006).

#### **5.2.1.1.2 Atemfrequenz**

Die mittlere Differenz der beiden Geräte bei Bestimmung der Atemfrequenz durch die Gerät liegt unter einem Zug pro Minute. Die Streuung der Werte ist mit - 1,73 bis 1,73 Zügen/min relativ gering. Jedoch besteht kein linearer Zusammenhang zwischen den Messungen der beiden Geräte. Es ist somit kein Rückschluss von einem Messgerät auf die Messung des anderen Gerätes möglich.

Es traten bei beiden Geräten Probleme bei der Bestimmung der Atemfrequenz auf, deren Ursache das große interrespirative Intervall und die intermittierende Atmung der anästhesierten Pferde war, welches die Messintervalle beider Geräte deutlich überstieg.

#### **5.2.1.2 Injektionsnarkosen**

Die Kapnographie im offenen System ist bei nicht intubierten Pferden möglich. Die gemessenen Werte liegen zum überwiegenden Teil im Normbereich für anästhesierte Pferde (23 - 46 mmHg, im Mittel 37,7 mmHg). Es scheint keine Beeinträchtigung der Messung durch die Umgebungsluft vorzuliegen, da durch den Verdünnungseffekt der Probe mit der Raumluft typischer Weise niedrigere CO<sub>2</sub>-Werte zu erwarten gewesen wären. Somit kann davon ausgegangen werden, dass die gemessenen Werte dem tatsächlichen CO<sub>2</sub>-Gehalt in der Ausatemluft entsprechen.

Die mittlere Differenz zwischen etCO<sub>2</sub> und p<sub>a</sub>CO<sub>2</sub> ist mit - 4,4 mmHg höher als die Messtoleranz des Gerätes. Die Diskrepanz zwischen etCO<sub>2</sub> und p<sub>a</sub>CO<sub>2</sub> ist auf das Perfusion- und Ventilationsmissverhältnis der Lunge bei Pferden in Seitenlage zurückzuführen. In der Literatur ist beschrieben, dass der etCO<sub>2</sub> insbesondere bei Spontanatmung niedriger ist als der p<sub>a</sub>CO<sub>2</sub> (KOENIG ET ALL, 2003; McKELVEY u. HOLLINGSHEAD, 2003). Dieses Verhältnis zwischen den beiden Werten liegt auch hier vor, allerdings ist das Verhältnis von etCO<sub>2</sub> und p<sub>a</sub>CO<sub>2</sub> zueinander bei nicht-intubierter Messung besser als bei intubierter Messung. Auf Grund der kürzeren Narkosedauer kam es bei Injektionsnarkosen zu einer geringeren Ausbildung der Perfusion- und Ventilationsmissverhältnisse der Lunge als bei Inhalationsnarkosen.

Diese Messmethode wurde während Kurznarkosen getestet und hat durchgehend Messwerte geliefert, die als realistisch angesehen werden können. Es kann heute gesagt werden, dass die Kapnographie auch bei nicht intubierten Pferden möglich ist. Allerdings sollte das Messverhalten des Gerätes auch bei Narkosen getestet werden, die einen längeren Überwachungszeitraum als sechs bis zehn Minuten zulassen. Zusätzlich sollte durch weitere Vergleiche mit der arteriellen Blutgasanalyse genauer ermittelt werden, in wieweit ein Rückschluss auf den  $p_a\text{CO}_2$  möglich ist. Besonders bei dieser Methode ist es interessant, da während Operationen im Stall normalerweise keine Möglichkeit für Blutgasanalysen besteht.

### **5.2.2 Pulsoximetrie**

#### **5.2.2.1 Pulsfrequenz**

Die Messung der Pulsfrequenz durch Nellcor OxiMAX<sup>®</sup> N-85<sup>™</sup> weicht um 3,94 Schläge/min von der palpatorisch ermittelten Pulsfrequenz ab. Dieser Wert ist größer als die für das Gerät angegebene Messtoleranz, sowohl wenn alle Wertepaare in die Auswertung miteinbezogen werden, als auch wenn nur die Wertepaare berücksichtigt werden, die gemessen wurden wenn die Pulswelle als gut fühlbar bewertet wurde, wird die Messtoleranz überschritten. Daran ändert auch der Ausschluss aller offensichtlichen Fehlmessungen nichts. Die Passing & Bablok Regression zeigt eine signifikante Abweichung von der Linearität. Die Ideallinie liegt deutlich außerhalb des Vertrauensbereichs. Der unsystematische Fehler ist relativ hoch (RSD - Intervall - 22,02 bis 22,02 Schläge/min). Das Gerät Nellcor OxiMAX<sup>®</sup> N-85<sup>™</sup> kann nicht äquivalent zur palpatorischen Pulsfrequenzbestimmung für die Pulsüberwachung bei Pferden in Vollnarkose verwendet werden. 28,34 % der Messungen waren offensichtliche Fehlmessungen, die von einem erfahrenen Anästhesisten sofort als solche eingestuft werden konnten.

Die Differenz zwischen der palpatorisch und der pulsoximetrisch bestimmten Pulsfrequenz liegt bei Dräger Infinity Delta, mit 1,2 Schlägen/min im Bereich der, für das Gerät angegebenen Messungengenauigkeit. Die Passing & Bablok Regression zeigt

keine Abweichung von der Linearität der Messungen, die Gerade entspricht der Ideallinie. Der unsystematische Fehler liegt in einem akzeptablen Bereich (RSD - Intervall - 10,65 bis 10,65 Schläge/min) Das Gerät Dräger Infinity Delta kann entsprechend der manuellen Pulsfrequenzbestimmung für die Narkoseüberwachung bei Pferden verwendet werden.

Beide Geräte waren mit unterschiedlichen Sensoren ausgestattet. Um das Gerät OxiMAX® N-85™ von Nellcor umfassend bewerten zu können sollte ausgeschlossen werden, dass die Fehlmessungen auf eine Inkompatibilität des Sensors mit der Pferdezungel zurückzuführen sind. Wie bei ALEF und OECHTERING (1994) beschrieben ist, muss bedacht werden, dass die Sensoren sehr spezifisch auf einen Messort beim Menschen geeicht werden. Somit hat die Auswahl des Sensors einen entscheidenden Einfluss auf die Verlässlichkeit der Werte (AUER u. STICK, 2006) Es sollte in weiteren Untersuchungen überprüft werden, ob die Zuverlässigkeit der beiden Geräte identisch ist, wenn für beide der Durasensor DS-100A von Nellcor verwendet wird. Momentan gibt es bessere Geräte als Nellcor OxiMAX® N-85™, um die Pulsfrequenz bei Pferden zu bestimmen.

### **5.2.2.2 Sauerstoffsättigung**

Die mittlere Differenz zwischen den beiden Geräten ist bei der Messung der Sauerstoffsättigung, in Abhängigkeit von der Pulsfrequenz sehr unterschiedlich. Werden alle Wertepaare in die Auswertung mit einbezogen ist die mittlere Differenz deutlich höher als die zulässige Messungsgenauigkeit. Berücksichtigt man die Erkenntnisse von KOENIG et al (2003), dass eine Korrelation zwischen Genauigkeit der korrekten Messung der Pulsfrequenz und der Genauigkeit der Sauerstoffsättigung besteht, ergeben die Messungen beider Geräte übereinstimmende Ergebnisse. Die Messungen der Sauerstoffsättigung stimmen dann bei beiden Geräten im Rahmen der vom Hersteller angegebenen Messtoleranz überein. Ebenso ist die mittlere Differenz der Sauerstoffsättigung zwischen beiden Geräten niedrig wenn alle offensichtlichen Fehlmessungen von Nellcor OxiMAX® N-85™ ausgeschlossen werden. Die Passing & Bablok Regression zeigt in allen Fällen

eine signifikante Linearitätsabweichungen der Messungen, die Idealgerade liegt außerhalb des Vertrauensbereichs. Die Streuung der Messwerte ist als hoch anzusehen (RSD - Intervall - 47,43 bis 47,43 %). Die beiden Geräte können nicht äquivalent zur Ermittlung der Sauerstoffsättigung bei Pferden in Narkose verwendet werden. Bei 25,10 % der Messungen lagen Fehlmessungen vor die von einem erfahrenen Anästhesisten sofort als solche eingestuft werden konnten.

Die Sauerstoffsättigung ist meist niedriger als der  $s_eO_2$ -Wert der arteriellen Blutgasanalyse (MATTHEWS ET ALL, 1994; KOENIG ET ALL, 2003). Bei der vorliegenden Studie gibt es, entsprechend der Literatur, eine deutliche Diskrepanz zwischen den beiden Werten.

Wie schon unter Punkt 5.2.2.1 beschrieben wäre es interessant, falls technisch möglich an beiden Geräten den selben Sensor zu verwenden. Eventuell liegen die Messschwierigkeiten von Nellcor OxiMAX® N-85™ bei der Pulsoximetrie nicht am Gerät sondern am Sensor und möglicherweise könnten mit einem anderen Sensor exaktere und zuverlässigere Werte erzielt werden.

### 5.2.3 Empfehlung

Das Gerät OxiMax® N-85™ von Nellcor kann für die Kapnographie beim intubierten Pferd empfohlen werden. Es stellt eine gute und kostengünstige Alternative zu großen und teuren Überwachungsmonitoren dar. Bei der Bestimmung der Atemfrequenz zeigten beide Geräte in gleichem Maße Fehler.

Die Kapnographie bei nicht intubierten Pferden ist mit dem Gerät OxiMax® N-85™ von Nellcor ebenfalls möglich. Die Anwendung des leichten, kleinen Gerätes kann auch unkompliziert während Narkosen in der Fahrpraxis erfolgen.

Für die Pulsoximetrie bei Pferden ist das Gerät OxiMax® N-85™ von Nellcor nur bedingt anwendbar. Der vom Hersteller mitgelieferte Sensor scheint nicht besonders für die Verwendung bei Pferden geeignet zu sein. Unter Umständen führt die Verwendung eines anderen Sensors zu exakteren Messwerten. Bis dahin sollten die Messwerte kritisch überprüft werden. Die mittlere Differenz der Pulsfrequenz von 3,94 Schlägen/min ist an sich nicht wirklich klinisch relevant, aber es traten relativ

## 5 Diskussion

häufig deutliche Fehlmessungen auf. Während den Untersuchungen haben die Messfehler zu keiner Zeit zu einer Gefährdung der Patienten geführt. Es wurden immer bedrohliche Komplikationen vorgetäuscht, während alle Vitalparameter des Pferdes im Normbereich waren.

Wenn die Verwendung eines anderen Sensors positive Ergebnisse liefert, kann das Gerät OxiMax® N-85™ von Nellcor uneingeschränkt als Alternative zu großen Überwachungsmonitoren empfohlen werden.

## 6 Zusammenfassung

Die technischen Möglichkeiten der Narkoseüberwachung haben sich in den letzten Jahrzehnten weiter entwickelt. Die Geräte sind immer handlicher und technisch ausgefeilter geworden. Ziel der vorliegenden Arbeit war es, ein kleines tragbares Überwachungsgerät auf seine Zuverlässigkeit zu testen. Das Gerät OxiMAX® N-85™ von Nellcor (Pleasanton, USA; bezogen über die Firma SCIL ANIMAL CARE COMPANY GmbH, Viernheim) vereint die Möglichkeiten der Kapnographie und Pulsoximetrie. Zusätzlich bietet das Gerät durch die Microstream®-Technologie die Möglichkeit, den endexpiratorischen CO<sub>2</sub>-Gehalt im offenen System zu messen. Diese Überwachungsmöglichkeit sollte an nicht intubierten Pferden in Kurznarkose getestet.

Das Gerät Nellcor OxiMAX® N-85™ wurde während 101 Narkosen bei Pferden eingesetzt. Verglichen wurden die Messwerte des Gerätes mit denen des Überwachungsmonitors Infinity Delta (Dräger Medical Systems, Inc. Telford, USA) und arteriellen Blutgasanalysen. Die statistische Auswertung und die graphische Darstellung erfolgte mittels Bland-Altman-Analyse und Passing & Bablok Regression.

Zwischen den beiden Geräten zeigte sich bei Messung der endexpiratorischen CO<sub>2</sub>-Konzentration im geschlossenen System bei Pferden nur eine geringe Abweichung. Die Differenz zwischen den Geräten betrug für den gesamten Untersuchungszeitraum im Mittel - 0,88 mmHg. Dies liegt im Rahmen der Messungenauigkeit der Geräte und ist klinisch irrelevant.

Die Kapnographie im offenen System ist mit der Microstream®-Technologie bei Pferden möglich. Die gemessenen Werte lagen im Normbereich für anästhesierte Pferde. Somit ist nicht von einem klinisch relevanten Verdünnungseffekt durch die Raumluft auszugehen.

Beide Geräte zeigten eine deutliche Abweichung zur arteriellen Blutgasanalyse. Die mittlere Differenz zwischen dem p<sub>a</sub>CO<sub>2</sub> der arteriellen Blutgasanalyse und dem



endexpiratorisch gemessenem CO<sub>2</sub> betrug - 9 mmHg für Dräger Infinity Delta und - 9,81 mmHg für Nellcor OxiMAX<sup>®</sup> N-85<sup>™</sup>. Die beobachteten Differenzen zwischen etCO<sub>2</sub> und p<sub>a</sub>CO<sub>2</sub> sind bekannt und werden allgemein auf das Perfusions- und Ventilationsmissverhältnis bei Pferden in Narkose zurückgeführt.

Bei der Messung der Atemfrequenz stimmten die beiden Geräte zufriedenstellend überein.

Bei Pferden war die Messung der Pulsfrequenz von Nellcor OxiMAX<sup>®</sup> N-85<sup>™</sup> ungenauer als bei Dräger Infinity Delta. Im Mittel wich die Pulsfrequenz bei Nellcor OxiMAX<sup>®</sup> N-85<sup>™</sup> um 3,94 Schläge/min und bei Dräger Infinity Delta um 1,2 Schläge/min von der palpatorisch gezählten Pulsfrequenz ab. Die mittlere Abweichung der Pulsfrequenz ist klinisch unbedeutend. Einige Messwerte von Nellcor OxiMAX<sup>®</sup> N-85<sup>™</sup> wiesen eine deutlich höhere Abweichung der Pulsfrequenz auf, die aber sofort als Fehlmessung eingestuft werden konnten.

Die korrekte Messung der Sauerstoffsättigung stand in engem Zusammenhang mit der exakt gemessenen Pulsfrequenz.

Auffällig war, dass bei dem Gerät Nellcor OxiMAX<sup>®</sup> N-85<sup>™</sup> deutlich mehr Fehlmessungen bei der Pulsoximetrie aufgetreten sind als bei Dräger Infinity Delta. Beide Geräte waren vom Hersteller mit unterschiedlichen Sensoren ausgestattet worden, so dass diese Probleme eventuell durch die Verwendung eines anderen Sensors behoben werden können.

Das Gerät OxiMAX<sup>®</sup> N-85<sup>™</sup> von Nellcor ist uneingeschränkt empfehlenswert für die Kapnographie im geschlossenen System bei Pferden. Die Kapnographie im offenen System ist bei Pferden möglich.

Die Messwerte der Pulsoximetrie sollten bei Nellcor OxiMAX<sup>®</sup> N-85<sup>™</sup> kritisch hinterfragt werden. Im Laufe der Untersuchungen war es zu keiner Gefährdung der Patienten durch Fehlmessungen gekommen. Es stellt eine kostengünstige Möglichkeit der Narkoseüberwachung für die Praxis dar.

## 7 Summary

The technical possibilities of anesthesia monitoring have been improved in recent decades. The appliances became smaller and more sophisticated. The primary aim of this thesis was to test the reliability of a small portable observation appliance. The appliance OxiMAX<sup>®</sup> N-85<sup>™</sup> from Nellcor (Pleasanton, USA; ordered from SCIL ANIMAL CARE COMPANY GmbH, Viernheim) combines the functions of capnography and pulse oximetry. In addition with microstream<sup>®</sup> technologies the appliance provides the possibility to measure endexpiratory CO<sub>2</sub> in an open system. This was tested on non intubated horses in short anesthesia.

Nellcor OxiMAX<sup>®</sup> N-85<sup>™</sup> was used during 103 anesthetics of horses and donkeys. Measurements of this appliance were compared with the tall observation monitor Infinity Delta (Dräger Medical Systems, Inc. Telford, USA) and arterial bloodgas analysis. The statistical analysis was done with and graphs were made by Bland-Altman-Analysis and Passing & Bablok Regression.

Measurement of endexpiratory CO<sub>2</sub> concentration in a closed system by anesthetized horses shows only a marginal mean difference of - 0,88 mmHg. This is within the limits of tolerance of measurement and is clinically not relevant. Capnography in an open system with microstream<sup>®</sup> technology could be utilized with horses. The measurements were within the normal range for anesthetized horses. Consequently compartment air does not dilute the findings. Both instruments showed a great difference between their measurements and arterial bloodgas analysis. The mean difference between p<sub>a</sub>CO<sub>2</sub> from arterial bloodgas analysis and endexpiratory CO<sub>2</sub> was - 9 mmHg for Dräger Infinity Delta and - 9,81 mmHg for Nellcor OxiMAX<sup>®</sup> N-85<sup>™</sup>. The recognized difference between etCO<sub>2</sub> and p<sub>a</sub>CO<sub>2</sub> is known and well founded by the perfusion and ventilation discrepancy in anesthetized horses. In the measurement of respiratory frequency both appliances were similar within the tolerance of measurements.

## 7 Summary

With horses measurement of pulse frequency from Nellcor OxiMAX<sup>®</sup> N-85<sup>™</sup> was not so exact as from Dräger Infinity Delta. Mean difference between Nellcor OxiMAX<sup>®</sup> N-85<sup>™</sup> and manual counted pulse frequency was 3,94 beats/min, between Dräger Infinity Delta and manual counted pulse frequency was 1,2 beats/min. The mean difference of pulse frequency is clinically not relevant. Some points of measurement from Nellcor OxiMAX<sup>®</sup> N-85<sup>™</sup> had shown a higher difference of pulse frequency, but this was immediately known as a malfunction.

A correct measurement of oxygen saturation was associated with an exact measurement of pulse rate.

It was noticed that Nellcor OxiMAX<sup>®</sup> N-85<sup>™</sup> had more malfunctions in pulsoximetry than Dräger infinity Delta. Both instruments were featured with different pulsoximetry sensors by the manufacturing company. The use of a different sensor could possibly eliminate this problem.

Nellcor OxiMAX<sup>®</sup> N-85<sup>™</sup> is endorsed for capnography in a closed system by horses. Capnography in an open system by horses is possible.

Measurements of pulsoximetry from Nellcor OxiMAX<sup>®</sup> N-85<sup>™</sup> should be critically checked. During this study, there was no threat to patients by malfunctions. Finally this constitutes an economic instrument for anesthesia monitoring for praxis.

## 8 Literaturverzeichnis

**ALEF, M.; G. OECHTERING**

Nichtinvasive Patientenüberwachung in der Tiermedizin: Pulsoximetrie und Kapnographie Teil I: Pulsoximetrie

Tierärztliche Praxis 22, 596 – 606, 1994

**ALEF, M.; G. OECHTERING**

Nichtinvasive Patientenüberwachung in der Tiermedizin: Pulsoximetrie und Kapnographie Teil II: Kapnographie

Tierärztliche Praxis 23, 1 – 16, 1995

**ALTEMEYER, K. H.; J. MAYER, S. BERG-SEITER, TH. FÖSEL**

Die Pulsoximetrie als kontinuierliches, nicht-invasives Überwachungsverfahren – Ein Vergleich zweier Geräte

Anästhesist 35, 43 – 45, 1986

**AUER, J. A.; J. A. STICK**

Equine surgery

Saunders Elsevier, St. Louis Missouri 3. Auflage, 2006

**BENSON, G. J.; M. MANOHAR, S. K. KNELLER, J. C. THURMON, E. P. STEFFEY**

Radiographic Characterization of Diaphragmatic Excursion in Halothane Anesthetized Ponies – Spontaneous and Controlled Ventilation Systems

American Journal of Veterinary Research 43, 617 – 621, 1982

**BOWE, E. A.; P. G. BOYSEN, J. A. BROOME, E. F. KLEIN JR.**

Accurate determination of end-tidal carbon-dioxide during administration of oxygen by nasal cannulas

Journal Clinical Monitoring 5, 105 – 110, 1989

**COLMAN, Y.; B. KRAUSS**

Microstream capnography technology: A new approach to an old problem

Journal Clinical Monitoring 15, 403 – 409, 1999

**DAUNT, D. A.; E. P. STEFFEY**

Alpha-2 adrenergic agonists as analgesics in horses

Veterinary Clinics of North America-Equine Practice 18, 39 – 46, 2002

**DAY, T. K.; J. S. GAYNOR, W. W. MUIR, R. M. BEDNARSKI, D. E. MASON**

Blood-gas values during intermittent positive pressure ventilation and spontaneous ventilation in 160 anesthetized horses positioned in lateral or dorsal recumbency

Veterinary Surgery 24, 266 – 276, 1995

**DOBSON, A.; R. D. GLEED, R. E. MEYER, B. J. STEWART**

Changes in blood-flow distribution in equine lungs induced by anesthesia

Quarterly Journal of Experimental Physiology and Cognate Medical Sciences 70, 283 – 297, 1985

**ERHARDT, W.; C. LENDL, R. HIPPEL, M. SCHINDELE, G. BLÜMEL**

Die Pulsoximetrie – ein nicht invasives Verfahren zur unmittelbaren und kontinuierlichen Überwachung von Sauerstoffsättigung und Pulsfrequenz – Vergleichsstudien zur Blutgasanalyse und zum Hämoreflektometer an Hund, Schwein und Schaf

Berliner Münchener Tierärztliche Wochenschrift 102(9), 289 – 292, 1989

**FINNERUP, E.; M. A. MILLER**

Zum Verständnis der Puls-Oximetrie-Messungen

Radiometer, Kopenhagen, 1988

FOWLER, R. C.

A rapid infra-red gas analyzer

Revue Science Instructions 20, 175, 1949

FREEMAN, S. L.; I. M. BOWEN, R. BETTSCHART-WOLFENSBERGER, H. I. K.

ALIBHAI, G. C. W. ENGLAND

Cardiovascular effects of romifidine in the standing horse

Research in Veterinary Science 72, 123 – 129, 2002

GASTHUYS, F. M. R.; A. DE MOOR

Anästhesiologie

In: DIETZ, O. und HUSKAMP, B.; Handbuch Pferdepraxis

Enke Verlag, Stuttgart 3. Auflage, 2006

GEHLEN, H.; A. WEICHLER, K. BUBECK, B. OHNESORGE, E. DEEGEN, P.

STADLER

Effects of two different dosages of dobutamine on pulmonary artery wedge pressure, systemic arterial blood pressure and heart rate in anaesthetized horses

Journal of Veterinary Medicine Series a-Physiology Pathology Clinical Medicine 53, 476 – 480, 2006

GERHARDS, H.

Vorlesungsunterlagen Allgemeine Chirurgie Pferd 5. Semester

2006

GRANDY, J. L.; E. P. STEFFEY, D. S. HODGSON, M. J. WOLINER

Arterial Hypotention and the Development of Postanesthetic Myopathy in Halothane-Anesthetized Horses

American Journal of Veterinary Research 48, 192 – 197. 1987

GRANDY, J. L.; D. S. HODGSON

Anesthetic Considerations for Emergency Equine Abdominal-Surgery

Veterinary Clinics of North America-Equine Practice 4, 63 – 78, 1988

GROSENBAUGH, D. A.; W. W. MUIR

Cardiorespiratory effects of sevoflurane, isoflurane and halothane anesthesia in horses

American Journal of Veterinary Research 59, 101 – 106, 1998

HALL, L. W.

Cardiovascular and pulmonary effects of recumbency in two conscious ponies

Equine Veterinary Journal 16(2), 89 – 92, 1984

HALL, L. W.; K. W. CLARKE

Anaesthesia of the Horse In: Veterinary Anaesthesia

Baillière Tindall, London , 191 – 235, 1991

HORNOF, W. J.; C. I. DUNLOP, R. PRESTAGE, T. C. AMIS

Effects of lateral recumbency on regional lung function in anesthetized horses

American Journal of Veterinary Research 47, 277 – 282, 1986

HUBBELL, J. A. E.

Oxygen supplementation and ventilatory assist devices in W. W. MUIR & J. A. E.

HUBBELL (Hrsg.): Equine anesthesia. Monitoring and emergency therapy

Mosby Year Book, St Louis Missouri, 401 – 418, 1991a

HUBBELL, J. A. E.

Monitoring. In: Muir, W. W., Hubbell, J. A. E. Equine Anesthesia

Mosby Year Book, St Louis Missouri, 153 – 179, 1991b

HUBBELL, J. A. E.

Anaesthesia of the horse: Monitoring, recovery and complications

AAEP Proceedings 50, 2004

IONITA, I.-C.

Seminarunterlagen Modul 2: Sedation, Analgesie und Allgemeinanästhesie für Untersuchungen und Behandlungen in der Gynäkologie/Andrologie, Chirurgie, Innere Medizin Vortrag: Narkoseüberwachung

2. Weiterbildungskurs für Pferde der LTK Sachsen, Universität Leipzig, 2009

JOHNSTON, G. M.

Findings from the CEPEF epidemiological studies into equine perioperative complications

AAEP Proceedings 50, 281 – 286, 2004

KÄSTNER, S. B. R.

Injektionsanästhesie beim Pferd – Was gibt es Neues?

Pferdespiegel 3, 98 – 107, 2010

KALENDA, Z.

Equipment for capnography

British Journal Equipment 9, 180, 1980

KALENDA, Z.

Mastering infrared capnography

Kerkebosch, Zeist Niederlande, 1989

KOENIG, J.; W. McDONELL, A. VALVERDE

Accuracy of pulse oximetry and capnography in healthy and compromised horses



during spontaneous and controlled ventilation

The Canadian Journal of Veterinary Research 67, 169 – 174, 2003

LÖSCHER, W.; F. R. UNGEMACH, R. KROKER

Pharmakotherapie bei Haus- und Nutztieren

Parey Medizinverlag, Stuttgart 2.Auflage, 39 – 103, 2002

MAIER, F. P.; H.-J. WINTZER

Möglichkeiten und Grenzen der Pulsoximetrie bei der Narkoseüberwachung des Pferdes

Berliner Münchener Tierärztliche Wochenschrift 107(1), 7 – 11, 1994

MAMA, K.; A. WAGNER, E. STEFFEY, C. KOLLIAS-BAKER, P. HELLYER, A.

GOLDEN, L. BREVARD

Evaluation of xylazine and ketamine for total intravenous anesthesia in horses

American Journal of Veterinary Research 66, 1002 – 1007, 2005

MANOHAR, M.; R. GUSTAFSON, D. NGANWA

Skeletal-muscle perfusion during prolonged 2.03-percent end-tidal isoflurane-O<sub>2</sub> anesthesia in isocapnic ponies

American Journal of Veterinary Research 48, 946 – 951, 1987

MATTHEWS, N. S.; S. M. HARTSFIELD, E. A. SANDERS, G. S. LIGHT, M. S.

SLATER

Evaluation of pulse oximetry in horses surgically treated for colic

Equine Veterinary Journal 26(2), 114-116, 1994

MCDONELL, W. N.; L. W. HALL, L. B. JEFFCOTT

Radiographic evidence of impaired pulmonary function in laterally recumbent

anaesthetised horses

Equine Veterinary Journal 11, 24 – 32, 1979

**McKELVEY, D.;** K. W. **HOLLINGSHEAD**

Veterinary anesthesia and analgesia

MOSBY, St Louis Missouri 3. Auflage, 2003

**MERTZLUFFT, F.**

Capnometry In: Neue Aspekte der Veterinärnarkose und Intensivtherapie. Schmidt-Oechtering G., Alef M. (Hrsg.)

Parey, Berlin, Hamburg, 304, 1993

**MOENS, Y.;** P. **GOOTJE, E. LAGERWEIJ, P. VAN DIJK**

Überwachung der Sauerstoffsättigung von Pferden in Halothannarkose durch Pulsoximetrie am Septum Nasale

Berliner Münchener Tierärztliche Wochenschrift 104(10), 375 – 360, 1991

**MUIR, W.;** R. **SKARDA, D. WILME**

Evaluation of xylazine and ketamine hydrochloride for anesthesia in horses

American Journal of Veterinary Research 38, 195 – 201, 1977

**MUIR, W.**

The equine stress response to anaesthesia

Equine Veterinary Journal 22, 302 – 303, 1990

**MUIR, W.**

Complications: induction, maintenance and recovery phases of anesthesia in: in W. W. MUIR & J. A. E. HUBBELL (Hrsg.): Equine anesthesia. Monitoring and emergency therapy

Mosby Year Book, St Louis Missouri , 419 – 443, 1991

**MUIR, W. W.; J. A. E. HUBBELL, R. M. BEDNARSKI, R. T. SKARDA**

Handbook of Veterinary Anesthesia

Mosby Elsevier, St Louis Missouri, 2007

**NYMAN, G.; G. HEDENSTIERNA**

Ventilation-perfusion relationships in the anaesthetised horse

Equine Veterinary Journal 21(4), 274 – 281, 1989

**PLUMB, D. C.**

Veterinary Drug Handbook

PharmaVet Publishing, White Bear Lake (USA) , 853 ff, 1999

**REIMOLD, R.**

Vergleich der Wirkung von Blutdruck steigernden Medikamenten und Prüfung der Wirkung von Vasopressin bei Pferden in Isoflurannarkose

München, Klinik für Pferde der Ludwig-Maximilians-Universität, Inaugural Dissertation, 2006

**SCHÜRMAN, P.**

PEEP-Beatmung mit Überdruck-Lungen-Eröffnungsmanövern während Risikonarkosen bei Kolikpferden

Hannover, Pferdeklinik der Tierärztlichen Hochschule, Inaugural Dissertation, 2005

**SCHATZMANN, U.; M. KOEHLI, F. DUDAN, W. ROHR, R. S. JONES**

Effect of postural changes on certain circulatory and respiratory values in the horse

American Journal of Veterinary Research 43, 1003 – 1005, 1982

**SCHATZMANN, U.; P. GIRARD**

Die Narkose des Pferdes

Tierärztliche Praxis 12, 323 – 328, 1984

SCHATZMANN, U.

Pulmonary perfusion and ventilation: a mismatch?

Equine Veterinary Journal 27, 80 – 81, 1995a

SCHATZMANN, U.

Sedation und Anästhesie des Pferdes

Blackwell Wissenschafts-Verlag, Berlin 1.Auflage, 1995b

STEFFEY, E. P.; D. HOWLAND

Comparison of circulatory and respiratory effect of isoflurane and halothane anesthesia in horses

American Journal of Veterinary Research 41, 821 – 825, 1980

STEFFEY, E. P.; P. J. PASCOE, M. J. WOLINER, E. R. BERRYMAN

Effects of xylazine hydrochloride during isoflurane-induced anesthesia in horses

American Journal of Veterinary Research 61, 1225 – 1231, 2000

STRAUB, A.

Künstliche Beatmung während der Halothannarkose des Pferdes bei elektiven Eingriffen und im Rahmen von Kolikoperationen

München, Klinik für Pferde der Ludwig-Maximilians-Universität, Inaugural Dissertation, 1996

TAYLOR, P. M.; K. W. CLARKE

Handbook of Equine Anaesthesia

Saunders Elsevier, St. Louis Missouri 1.Auflage, 2003

TAYLOR, P. M.; K. W. CLARKE

Handbook of Equine Anaesthesia

Saunders Elsevier, St. Louis Missouri 2.Auflage, 2007

WAGNER, A. E.; R. M. BEDNARSKY, W. W. MUIR

Hemodynamic effects of carbon dioxide during intermittent positive-pressure ventilation in horses

American Journal of Veterinary Research 51, 1922 – 1929, 1990

WATNEY, G. C. G.; W. M. NORMAN, J. P. SCHUMACHER, E. BECK

Accuracy of a reflectance pulse oximeter in anesthetized horses

American Journal of Veterinary Research 54(4), 497 – 501, 1993

WOLFF, K.; Y. MOENS

Gas exchange during inhalation anaesthesia of horses: a comparison between immediate versus delayed start of intermittent positive pressure ventilation – A clinical study

Pferdeheilkunde 26(5), 706 – 711, 2010

WOLLANKE, B.

Persönliche Mitteilung

2011

WOLLANKE, B.; H. GERHARDS

Vorlesungsunterlagen Anästhesie Pferd 5.Semester

2006

YOUNG, L. E.; K. J. BLISSITT, R. E. CLUTTON, V. MOLONY

Temporal effects of an infusion of dobutamine hydrochloride in horses anesthetized with halothane

American Journal of Veterinary Research 59, 1027 – 1032, 1998

YOUNG, S. S.; P. M. TAYLOR

Factors influencing the outcome of equine anaesthesia: a review of 1,314 cases  
Equine Veterinary Journal 25(2), 147 – 151, 1993

Isofluran: Eigenschaften / Wirkungen; Pharmakokinetik.

CliniPharm Fachinformationen Wirkstoffe/Inhaltsstoffe, 2010

[www.vetpharm.uzh.ch/reloader.htm?tak/05000000/0056761.01?inhalt\\_c.htm](http://www.vetpharm.uzh.ch/reloader.htm?tak/05000000/0056761.01?inhalt_c.htm)

:

Fachinformationen Gesellschaft für Pferdemedizin (GPM):

Standards zur Durchführung von Pferdenarkosen in Praxis und Klinik

bpt, DVG, BTK, GPM

[www.g-p-m.org](http://www.g-p-m.org)

## 9 Anhänge

### 9.1 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.1: Auswirkungen der Rückenlage auf das Lungenvolumen.....	13
Abbildung 2.2: Auswirkungen der Seitenlage auf das Lungenvolumen.....	14
Abbildung 2.3: Absorptionsverhalten des durchstrahlten Gewebes bei der Pulsoximetrie.....	31
Abbildung 2.4: Sigmoide Sauerstoffsättigungskurve.....	33
Abbildung 2.5: Prinzip der Kohlenstoffdioxidmessung in der Ausatemluft; Messung im Seitenstomverfahren.....	36
Abbildung 3.1: Nellcor OxiMax® 85TM.....	41
Abbildung 3.2: Microstream®-EtCO <sub>2</sub> -Verbrauchsmaterial Filterline für intubierte Patienten	43
Abbildung 3.3: Dräger Infinity Delta.....	44
Abbildung 3.4: Atemwegsadapter für Intubationstuben .....	52
Abbildung 3.5: Nicht intubierte Kapnographie.....	53
Abbildung 3.6: Detailaufnahme der nicht intubierten Kapnographie.....	54
Abbildung 3.7: Verbindung beider Probenschläuche mittels Dreiwegehahn und Anschluss einer 18G Kanüle für die Positionierung im Tubuslumen. ....	55
Abbildung 3.8: Pulsoximeter an der Zunge des Pferdes.....	56
Abbildung 3.9: Bipolare EKG-Ableitung an der Thoraxwand .....	57
Abbildung 4.1: Bland-Altman-Plot der endexpiratorischen CO <sub>2</sub> -Konzentration alle mit beiden Kapnographen gemessenen Wertepaare.....	64
Abbildung 4.2: Passing & Bablok Regression der endexpiratorischen CO <sub>2</sub> -Konzentration .	65
Abbildung 4.3: Bland-Altman Plot beide Kapnographen im Vergleich mit der arteriellen Blutgasanalyse.....	66
Abbildung 4.4: Darstellung der expiratorischen CO <sub>2</sub> -Messung bei nicht-intubierten Pferden .....	67
Abbildung 4.5: Bland-Altman-Plot des endexpiratorischen CO <sub>2</sub> bei nicht-intubierten Pferden.....	68
Abbildung 4.6: Bland-Altman-Plot Atemfrequenzen beider Geräte bei Pferden.....	70
Abbildung 4.7: Passing & Bablok Regression Atemfrequenz.....	71

## 9 Anhänge

Abbildung 4.8: Bland-Altman-Plot der Pulsfrequenz ermittelt durch Nellcor OxiMax® N-85TM im Vergleich mit der palpatorisch ermittelten Pulsfrequenz.....	74
Abbildung 4.9: Passing & Bablok Regression palpatorisch bestimmte Pulsfrequenz und Nellcor OxiMax® N-85TM.....	75
Abbildung 4.10: Bland-Altman-Plot der Pulsfrequenz ermittelt durch Dräger Infinity Delta im Vergleich mit der palpatorisch ermittelten Pulsfrequenz.....	77
Abbildung 4.11: Passing & Bablok Regression der Pulsfrequenz ermittelt mit Dräger Infinity Delta im Vergleich mit der mittels Palpation bestimmten Pulsfrequenz .....	78
Abbildung 4.12: Bland-Altman-Plot der Sauerstoffsättigung von Nellcor OxiMax® N- 85TM im Vergleich mit der Sauerstoffsättigung von Dräger Infinity Delta.....	80
Abbildung 4.13: Passing & Bablok Regression der Sauerstoffsättigung von Nellcor OxiMax® N- 85TM im Vergleich mit der Sauerstoffsättigung von Dräger Infinity Delta.....	81
Abbildung 4.14: Bland-Altman-Plot die Sauerstoffsättigung von Nellcor OxiMax® N-85TM im Vergleich mit der Sauerstoffsättigung von Dräger Infinity Delta, die maximale Abweichung der vom Gerät und palpatorisch ermittelter Pulsfrequenz beträgt $\pm 3$ Schläge/min .....	83
Abbildung 4.15: Passing & Bablok Regression der Sauerstoffsättigung beider Geräte im Vergleich wenn die Differenz der mittels Gerät bestimmten und der palpatorisch ermittelten Pulsfrequenz maximal $\pm 3$ beträgt .....	84
Abbildung 4.16: Bland-Altman-Plot die Sauerstoffsättigung von Dräger Infinity Delta im Vergleich mit der Sauerstoffsättigung von Nellcor OxiMax® N- 85TM, die Nullmessungen von Nellcor OxiMax® N- 85TM wurden ausgeschlossen.....	85
Abbildung 4.17: Passing & Bablok Regression der Sauerstoffsättigung beider Geräte im Vergleich, Nullmessungen von Nellcor OxiMax® N- 85TM wurden ausgeschlossen.....	86
Abbildung 4.18: Darstellung der Pulsoximetrie während einer Vitrektomie als Beispiel für den Verlauf einer Fehlmessung.....	87

### 9.2 Tabellenverzeichnis

Tabelle 4.1 Auswertung der Häufigkeit von Fehlmessungen bei der Pulsfrequenzbestimmung durch das Gerät Nellcor OxiMax® N-85TM .....	74
---	----



## 9 Anhänge

Tabelle 4.2 Anzahl der ausgeschlossenen Wertepaare und Anzahl der offensichtlichen Fehlmessungen der Sauerstoffsättigung von Nellcor OxiMax® N-85TM. ....	82
Tabelle 9.1: Inhalationsnarkosen.....	113
Tabelle 9.2: Injektionsnarkosen.....	117

### 9.3 Liste aller Patienten

*Tabelle 9.1: Inhalationsnarkosen*

<b>Pferd Nummer</b>	<b>Alter</b> in Jahren	<b>Geschlecht</b>	<b>Rasse</b>	<b>Operation</b>	<b>Lagerung</b>	<b>Überwachung</b> in Minuten
1	12	Wallach	Connemara Pony	Vitrektomie	rechts lat.	35
2	8	Stute	Deutsches Reitpferd	Konjunktiva-Flap	links lat.	30
3	13	Wallach	Appaloosa	Lasercyclocoagulation	rechts lat.	20
3	13	Wallach	Appaloosa	Lasercyclocoagulation	rechts lat.	20
3	13	Wallach	Appaloosa	Bulbus ex	rechts lat.	30
4	3	Hengst	Haflinger	Kastration	dorsal	25
5	3	Hengst	Haflinger	Kastration	dorsal	45
6	4	Wallach	Traber	Kehlkopfpfeiffer-Op	rechts lat.	75
7	9	Wallach	KWPN	Vitrektomie	rechts lat.	30
8	19	Stute	Haflinger	Plattenepithelkarzinom	links lat	20
9	9	Stute	Hannoveraner	Konjunktiva-Flap	links lat.	30
9	9	Stute	Hannoveraner	Stildurchtrennung	links lat.	20
10	1 Monat	Hengst	Trakehner	Omphalitis	dorsal	30

## 9 Anhänge

11	14	Wallach	Arabisches Vollblut	Vitrektomie	links lat.	25
12	4	Hengst	PRE	Kastration	dorsal	30
13	23	Stute	Appaloosa	Plattenepithelkarzinom	rechts lat.	15
14	17	Stute	Appaloosa	Bulbus ex	rechts lat.	20
15	4	Stute	Hannoveraner	Vitrektomie	rechts lat.	35
16	13	Hengst	Warmblut	Kastration	dorsal	35
17	10	Hengst	Westfale	Kastration	dorsal	70
18	6	Stute	Warmblut	Vitrektomie	rechts lat.	30
19	3,5 Monate	Stute	Bayer	Phakoemulsifikation	rechts lat.	55
20	2	Stute	Isländer	Abszessspaltung	rechts lat.	25
21	4	Hengst	Friese	Laparoskopie	dorsal	100
22	14	Wallach	Quarter Horse	Vitrektomie	rechts lat.	45
23	15	Stute	Süddeutsches Kaltblut	Plattenepithelkarzinom	rechts lat.	15
24	10	Stute	Warmblut	Stildurchtrennung	rechts lat.	10
25	6	Stute	Süddeutsches Kaltblut	Equines Sarkoid	links lat.	40
26	14	Wallach	Deutsches Reitpferd	Hornhautfremdkörper	rechts lat.	5
27	15	Wallach	Warmblut	Vitrektomie	links lat.	30
28	1	Hengst	Arabisches Vollblut	Kastration	dorsal	30
29	16	Wallach	Bayer	Vitrektomie	rechts lat.	30
30	2	Hengst	Dartmoor Pony	Kastration	dorsal	30
31	2	Hengst	Bayer	Kastration	dorsal	25

## 9 Anhänge

32	3	Hengst	Bayer	Kastration	dorsal	40
33	10	Stute	Bayer	Arthroskopie	rechts lat.	65
34	15	Wallach	Welsh Cob	Arthroskopie	rechts lat.	50
35	9	Wallach	Friesenmix	Konjunktiva-Flap	rechts lat.	40
36	6	Wallach	Fjordpferd	Parazentese	rechts lat.	15
37	3	Stute	Hannoveraner	Vitrektomie	rechts lat.	50
38	9	Wallach	Warmblut	Konjunktiva-Flap	rechts lat.	25
39	11	Stute	Schwed. Warmblut	Lasercyclocoagulation	rechts lat.	30
39	11	Stute	Schwed. Warmblut	Lasercyclocoagulation	rechts lat.	25
40	6	Hengst	Bayer	Equines Sarkoid	rechts lat.	55
41	5	Stute	Quarter Horse	Vitrektomie	links lat.	35
41	5	Stute	Quarter Horse	Vitrektomie	rechts lat.	40
42	13	Wallach	Brandenburger	Griffelbeinfraktur	rechts lat.	85
43	8	Wallach	Hannoveraner	Vitrektomie	rechts lat.	35
44	13	Wallach	Tschech. Warmblut	Griffelbeinfraktur	links lat.	35
45	8	Stute	Warmblut	Trepanation	rechts lat.	80
46	7	Wallach	Tschech. Warmblut	Vitrektomie	rechts lat.	25
46	7	Wallach	Tschech. Warmblut	Vitrektomie	links lat.	30
47	18	Stute	PRE	Chemosis	links lat.	15
48	3	Hengst	Vollblut	Vitrektomie	links lat.	25
49	12	Wallach	Isländer	Vitrektomie	links lat.	15

## 9 Anhänge

50	15	Wallach	Isländer	Vitrektomie	links lat.	25
51	7	Stute	Holsteiner	Bulbus ex	rechts lat.	30
52	5	Stute	Haflinger	Konjunktiva-Flap	rechts lat.	90
53	4	Hengst	Arabisches Vollblut	Kastration	dorsal	45
54	7	Wallach	Hannoveraner	Bulbus ex	links lat.	45
55	15	Stute	Tschech. Warmblut	Vitrektomie	rechts lat.	40
56	16	Stute	Traber	Luftsackmykose	links lat.	45
57	3	Stute	Tschech. Warmblut	Vitrektomie	links lat.	20
58	6	Wallach	Haflinger	Plattenepithelkarzinom	rechts lat.	20
59	3	Hengst	Trakehner	Vitrektomie	rechts lat.	50
59	3	Hengst	Trakehner	Vitrektomie	links lat.	20
60	13	Stute	Rheinländer	Equines Sarkoid	links lat.	20
61	1	Wallach	Ponymix	Lidverletzung	rechts lat.	30
62	2	Stute	Paint Horse	Vitrektomie	rechts lat.	10
63	16	Wallach	Brandenburger	Bulbus ex	links lat.	25
64	4	Stute	Warmblut	Vitrektomie	rechts lat.	25
65	5	Wallach	New-Forest-Pony	Zubildung Lider	rechts lat.	20
66	5	Hengst	Traber	Kastration	dorsal	30
67	5	Stute	Württembergischer	Vitrektomie	rechts lat.	25
68	20	Wallach	Brandenburger	Bulbus ex	links lat.	25
69	11	Stute	Tinker	Lasercyclocoagulation	rechts lat.	25

## 9 Anhänge

70	15	Stute	Warmblut	Konjunktiva-Flap	rechts lat.	25
71	5	Stute	Hannoveraner	Vitrektomie	rechts lat.	25
72	7	Wallach	Bayer	Vitrektomie	rechts lat.	25
73	9	Wallach	Bayer	Equines Sarkoid	links lat.	45
74	19	Stute	Haflinger	Bulbus ex	links lat.	30
75	3	Hengst	Paso Peruano	Vitrektomie	rechts lat.	35
75	3	Hengst	Paso Peruano	Vitrektomie	links lat.	30
76	4	Wallach	Westfale	Vitrektomie	rechts lat.	20
77	11	Stute	Warmblut-Haflinger-Mix	Plattenepithelkarzinom	links lat.	15
78	18	Stute	Deutsches Reitpony	Vitrektomie	links lat.	25
79	18	Wallach	Arabermix	Plattenepithelkarzinom	rechts lat.	15
80	2 Monate	Stute	Shetlandpony	Spülung Tränennasenkanal	rechts lat.	10
81	9	Stute	Haflinger	Plattenepithelkarzinom	rechts lat.	20

*Tabelle 9.2: Injektionsnarkosen*

<b>Pferd Nummer</b>	<b>Alter</b> in Jahren	<b>Geschlecht</b>	<b>Rasse</b>	<b>Operation</b>	<b>Lagerung</b>	<b>Überwachung</b> in Minuten
15	4	Wallach	Hannoveraner	Parazentese	rechts lat.	4
43	8	Wallach	Hannoveraner	Parazentese	links lat.	10
59	3	Hengst	Trakehner	Parazentese	links lat.	4
71	5	Stute	Hannoveraner	Parazentese	rechts lat.	8

## 9 Anhänge

73	7	Wallach	Bayer	Parazentese	rechts lat.	8
82	20	Stute	Oldenburger	Parazentese	links lat.	8
83	6	Stute	Hannoveraner	Parazentese	links lat.	10
84	5	Stute	Vollblut	Parazentese	links lat.	6
85	7	Stute	Warmblut	Parazentese	rechts lat.	8
86	13	Hengst	Lipizzaner	Parazentese	links lat.	4
87	5	Wallach	Belg. Warmblut	Parazentese	links lat.	6
88	14	Wallach	Traber	Parazentese	rechts lat.	10

### 9.4 Narkoseprotokoll

Datum:	Uhrzeit Beginn:	Patient
	Uhrzeit Ende:	Kliniknummer:
Operation:		Alter:
Narkoseart: <input type="checkbox"/> Inhalation	Intubation: <input type="checkbox"/> ja	Geschlecht:
<input type="checkbox"/> Injektion	<input type="checkbox"/> nein	Rasse:

Lagerung:	
<input type="checkbox"/> R. lat.	<input type="checkbox"/> dorsal
<input type="checkbox"/> L. lat.	<input type="checkbox"/> andere

Pulsstelle manuell: <input type="checkbox"/> A. facialis
<input type="checkbox"/> A. metatarsa dorsalis
Blutgas: <input type="checkbox"/> A. transversa faiei
<input type="checkbox"/> A. carotis communis dex.
<input type="checkbox"/> andere

9 Anhänge

	Narkosedauer Minuten	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
	Isofluran													
	Sauerstoff													
	Atmung S = spontan; B = beatmet													
Dräger	Herzfrequenz													
	Pulsfrequenz													
	SpO2													
	Atemfrequenz													
	et CO2													
	insp CO2													
	et O2													
	insp O2													
	ISO exsp.													
	ISO insp.													
	MAC													
Scil	Pulsfrequenz													
	SpO2													
	Atemfrequenz													
	etCO2													
Manuell	Pulsfrequenz													
	Blutdruck													
	Blutgas pO2													
	Blutgas pCO2													

## 10 Danksagung

Bedanken möchte ich mich insbesondere bei meiner Doktormutter PD Dr. Bettina Wollanke für die Überlassung des Themas, hervorragende, flexible Betreuung und zeitnahe Unterstützung bei der Durchführung der Versuche und Anfertigung dieser Arbeit.

Herrn Prof. Dr. Hartmut Gerhards danke ich für das Zurverfügungstellen aller nötigen Geräte für diese Doktorarbeit und die Möglichkeit, die Untersuchungen an der Klinik für Pferde durchzuführen.

Des Weiteren möchte ich mich bei dem gesamten Klinikteam für die lehrreiche Zeit an der Klinik, das nötige Verständnis und die Geduld für meine Versuche bedanken. Besonders hervorheben möchte ich Herrn Markus Unger, der mich während der Durchführung meiner Versuche freundlich in „seinem“ OP aufnahm und mir in jeder Hinsicht eine Unterstützung war.

Meinen Eltern danke ich für alle die Unterstützung während meiner Schul-, Studiums- und Doktorandenzeit. Ohne ihre Unterstützung all die Jahre wären Studium und Doktorarbeit nicht möglich gewesen.

Frau von Sassen danke ich für die Durchsicht und Korrektur der Übersetzung.

Yvonne Stieninger und meinem Bruder Werner danke ich für das Bearbeiten der Zeichnungen.

Erwähnt werden soll auch mein Papagei „Newton“, der immer genau dann Blödsinn machte, wenn mir die beste Formulierung eingefallen war. Außerdem mein Pferd „Amadeus“, der mich jeden Tag „gezwungen“ hat den Schreibtisch zu verlassen und den Kopf frei zu bekommen.

Ein großer Dank geht an Herrn Daniel Wehner der meiner kaputten Festplatte in mühevoller und sehr geduldiger Arbeit doch noch die zuletzt bearbeitete Version meiner Doktorarbeit entlocken konnte.

Herrn PD Dr. Sven Reese gilt mein Dank für die Unterstützung bei der Überarbeitung der Arbeit.

Last but not least, möchte ich mich bei meiner Freundin Patricia Traub bedanken. Ohne die mein Computer und ich heute noch „Feinde“ wären und ich lange nicht soviel über die Pferdemedizin erfahren hätte.

„Mut ist zu kämpfen. Auch wenn der Gegner übermächtig ist.“ (Misereor)