

Aus dem Department für Kleintiere und Pferde
Anästhesiologie und perioperative Intensivmedizin
der Veterinärmedizinischen Universität Wien
LeiterIn: Univ.-Prof. Dr.med.vet. Maria Paula Larenza Dipl.ECVA

**Berechnung des funktionellen Shunts bei anästhesierten Pferden:
Einfluss verschiedener Faktoren wie inspiratorische
Sauerstofffraktion, Ventilationsmodus, Gewicht und Alter sowie
Lagerung. Retrospektive Pilotstudie**

Diplomarbeit

Zur Erlangung der Würde einer
Magistra Medicinae Veterinariae
der Veterinärmedizinischen Universität Wien

vorgelegt von
Bettina Schneider

Wien, November 2019

An dieser Stelle möchte ich mich bei all denjenigen bedanken, die mich auf diesem Weg begleitet, motiviert und unterstützt haben, allen voran meinem Vater Johann Schneider.

Ein großes Dankeschön gebührt meinem Großvater, Hans Wetel, der mir oft eine finanzielle Stütze war, aber meinen Abschluss leider nicht mehr miterleben konnte.

Ebenfalls möchte ich einen besonderen Dank aussprechen an Iris und Stephan Schramm und an G.V. Lehner. Ihr seid die Besten, ohne euch wäre vieles nicht möglich gewesen.
Ich liebe euch.

Betreuer: Priv.-Doz. Dr.med.vet. Ulrike Auer

Begutachter: Dipl.ACVA Drⁱⁿ med.vet. Christina Braun

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung und Fragestellung	7
2. Literaturübersicht	9
2.1. Shuntbildung	9
2.2. Arten des Rechts-Links-Shunts.....	10
2.3. Ventilation/Perfusion-Missverhältnis	11
2.4. Einflussfaktoren.....	11
2.4.1. FiO_2	11
2.4.2. Ventilationsmodus	12
2.4.3. Gewicht.....	12
2.4.4. Alter	13
3. Material und Methoden.....	14
3.1. Studienpopulation	14
3.2. Anästhesieprotokoll.....	14
3.3. Datenerfassung und f-Shunt Berechnung	15
3.3.1. Einteilung des Oxygenierungsindex nach Horowitz	16
3.4. Einflussfaktoren.....	17
3.4.1. Ventilationsmodus	17
3.4.2. Gruppeneinteilung nach PEEP	17
3.4.3. Gewicht.....	17
3.4.4. Alter	18
3.4.5. Gruppeneinteilung der Lagerung	18
3.5. Statistische Auswertung	18

4. Ergebnisse	19
4.1. f-Shunt in Abhängigkeit von Ventilationsmodus	20
4.2. Einfluss der Beatmungstherapie mit PEEP auf f-Shunt.....	23
4.3. Oxygenierungsindex nach Horowitz (P/F-Ratio)	23
4.4. Gewicht	26
4.5. Alter.....	26
4.6. Lagerung während des Eingriffes.....	27
5. Diskussion.....	29
6. Zusammenfassung	32
7. Summary	34
8. Abbildungsverzeichnis.....	36
9. Tabellenverzeichnis.....	37
10. Literaturverzeichnis.....	38

Abkürzungsverzeichnis

BG	Blutgase
CaO ₂	arterieller Sauerstoffgehalt
Cc'O ₂	pulmonal-kapillärer Sauerstoffgehalt
CO	Cardiac Output (Herzzeitvolumen)
FiO ₂	inspiratorische Sauerstofffraktion
f-Shunt.....	funktioneller Shunt
Hb.....	Hämoglobinkonzentration
HPV.....	hypoxische pulmonale Vasokonstriktion
IPPV	intermittierend positiv pressure ventilation
O ₂	Sauerstoff
P/F-Ratio	Oxygenierungsindex
PAO ₂	alveolärer Sauerstoffpartialdruck
PaO ₂	arterieller Sauerstoffpartialdruck
Pc'O ₂	pulmonal-endkapillärer Sauerstoffpartialdruck
PEEP	positive endexpiratory pressure (positiverendexpiratorsicher Druck)
PH ₂ O	Wasserdampfdruck
PO ₂	Sauerstoffpartialdruck
Q.....	pulmonaler Blutfluss
Q _s /Q _t	pulmonaler Shunt
Sc'O ₂	pulmonal-endkapilläre Sauerstoffsättigung
V	Ventilationsvolumen
V/Q	Ventilations-Perfusions-Verhältnis

1. Einleitung und Fragestellung

Anästhesierte Pferde, z.B. während eines operativen Eingriffes, sind aufgrund der Lagerung und ihres anatomischen Baus anfällig für Atelektasen (Dupont et al. 2018). Der Begriff Atelektase beschreibt in der Fachterminologie ein kollabiertes nicht ventiliertes Lungenareal (Peroni und Boner 2000). Atelektasen führen also dazu, dass Lungenareale zwar durchblutet, jedoch nicht ventiliert werden und führen somit zu einem pulmonalen Shunt (Q_s/Q_t), welcher maßgeblich die Oxygenierung des venösen Blutes in der Lunge beeinträchtigt (Dupont et al. 2018). Als Shunt wird demnach der Anteil des desoxygenierten Blutes (Q_s) am Herzzeitvolumen (Q_t) verstanden, welcher durch perfundierte, jedoch nicht ventilierte Lungenareale entsteht (Briganti et al. 2015). Aufgrund eines Shunts kommt es zu einem erniedrigten arteriellen Sauerstoffpartialdruck (PaO_2), welcher zu einem erhöhten Risiko einer Hypoxämie führt (van Loon et al. 2018). Der Begriff Hypoxämie beschreibt den Sauerstoffmangel im arteriellen Blut (Sarkar et al. 2017) und kann bei einem großen Shunt-Anteil trotz der Ventilation mit bis zu 100 % Sauerstoff (O_2) während der Narkose nicht verbessert werden (Nyman et al. 1990). Atelektasen und der dadurch entstehende Shunt sind also ein Grund für einen ineffizienten Gasaustausch und zeigen sich durch ein Ventilations-Perfusions-Verhältnis (V/Q) von null ($V=0$, $Q=1$). Umgekehrt kann der Gasaustausch auch eingeschränkt sein, wenn ventilierte Areale der Lunge nicht bzw. vermindert durchblutet werden. Es entsteht demnach ein V/Q von eins ($V=1$, $Q=0$), welches auch als alveolärer Totraum bezeichnet wird. Die Verteilung von V/Q ist dabei innerhalb der Lunge sehr heterogen, mit Arealen, die ein ideales V/Q von 0,8-1 aufweisen, bis über diverse V/Q -Missverhältnisse hin zu den beiden Extremen, d.h. Totraum und Shunt. Alle Arten eines V/Q -Missverhältnisses haben potentiell einen negativen Einfluss auf den PaO_2 (Petersson und Glenny 2014). Je nach V/Q Ratio ist es z.B. ausreichend die inspiratorische Sauerstofffraktion (FiO_2) zu erhöhen, und die Perfusion oder die Ventilation zu verbessern.

Um einem V/Q -Missverhältnis von $V=0$ entgegenzuwirken und die Effizienz des Gasaustausches in den Alveolen während der Allgemeinanästhesie von Equiden zu verbessern ist es daher hilfreich den Shunt zu berechnen (Araos et al. 2012, Wandrup 1995). Ein Shunt kann auf verschiedene Weise berechnet werden. Die unter klinischen Umständen als Goldstandard zu bezeichnende Berechnung nach Berggren bedarf invasiver Messungen des arteriellen und gemischt-venösen Blutes. Eine Vereinfachung stellt die Berechnung des f-Shunts dar, bei dem von einer fixen arterio-venösen Differenz des Sauerstoffgehaltes ausgegangen wird (Araos et al. 2012, Cane et al. 1988). Somit werden lediglich arterielle

Blutgase (BG), aber keine gemischt-venösen BG benötigt. Mehrere Faktoren konnten in der Vergangenheit mit einem erhöhten Shunt assoziiert werden: FiO_2 , Art des Ventilationsmodus, Gewicht, Alter und die Lagerung der Pferde während der Narkose.

Niyom et al. (2018) zeigten ein erniedrigtes PaO_2 im Verhältnis zum berechneten Idealwert bei anästhesierten Pferden in lateraler Lagerung. Stegmann und Littlejohn (1987) konnten in ihrer Arbeit außerdem einen Zusammenhang zwischen dem Gewicht der Pferde und dem f-Shunt feststellen. Zu dem konnte ebenfalls bei geriatrischen Pferden durch physiologische Veränderungen der ‚alternden‘ Lunge eine Erhöhung des f-Shunts gezeigt werden (Seddighi und Doherty 2012). Der Anteil des Sauerstoffs im Inspirationsgas (FiO_2) spielt ebenfalls eine Rolle bei V/Q-Missverhältnissen (Wagner 2008). Hopster et al. (2017, 2018) konnten einen positiven Effekt auf die PaO_2 durch eine intermittierende Druckbeatmung (intermittend positive pressure ventilation, IPPV) nach einer Rekrutierung der Lunge mit hohem Druck feststellen (Hopster et al. 2017, Hopster et al. 2018).

Da es noch keine größeren, klinischen Studien zu dieser Problematik gibt, war es Ziel der vorliegenden Arbeit den Zusammenhang zwischen möglichen Einflussfaktoren wie inspiratorische Sauerstoffration (FiO_2), Ventilationsmodus, d.h. intermittierende Druckbeatmung (IPPV) oder Spontanatmung, Gewicht und Alter, sowie Lagerung während des Eingriffes auf den f-Shunt zu untersuchen. Die Hypothese war, dass zunehmendes FiO_2 , Gewicht, Alter, sowie Rückenlage gegenüber Seitenlage den f-Shunt erhöhen, während IPPV den f-Shunt reduziert.

2. Literaturübersicht

2.1. Shuntbildung

Die Hauptaufgabe der Lunge ist, das desoxygenierte venöse Blut mit Sauerstoff aus der Atemluft anzureichern. Gleichzeitig wird bei der Aufnahme des Sauerstoffs in das Blut über die Lungenalveolen Kohlendioxid während der Expiration ausgeschieden. Diesen Vorgang nennt man Gasaustausch (West 2007). Der pulmonale Shunt kann ein entscheidender Grund sein, den Gasaustausch in der Lunge zu beeinträchtigen und somit zu einer Hypoxämie führen (West 2007).

Das pulmonale Ventilationsvolumen (V) ist unter normalen Gegebenheiten annähernd gleich dem pulmonalen Blutfluss (Q) in der Lunge. Aus dem Quotienten V/Q ergibt sich das Ventilations-Perfusions-Verhältnis. Er beträgt normalerweise in etwa 0,8-1,0. Das bedeutet, dass für jeden Liter an inspiratorischem Gasvolumen nahezu dieselbe Menge an Blut die Alveolen erreichen sollte (Prentice und Ahrens 1994). Ein adäquates V/Q -Verhältnis ist für die optimale Sauerstoffaufnahme in den Alveolen notwendig (Hajian et al. 2018). Zu einem pulmonalen Shunt kommt es, wenn Lungenareale zwar durchblutet werden, aber eine ungenügende bis keine Ventilation der Alveolen stattfindet. Das venöse Blut fließt, ohne oxygeniert zu werden, durch die Lunge und nimmt somit nicht am Gasaustausch teil. Dies führt zu einer Erniedrigung des Ventilations-Perfusions-Gradienten und ergibt im Extremfall ein V/Q -Verhältnis von Null ($V/Q = 0$). Folglich kommt es zu einer Verminderung des arteriellen Sauerstoffgehaltes (CaO_2) im Blut (Cooper und Celli 2008) und der Körper kann nicht mehr ausreichend mit Sauerstoff versorgt werden (van Loon et al. 2018).

Um diese V/Q -Fehlanpassung und die Oxygenierung des Blutes aus hypoxischen Lungenarealen zu verbessern, kommt es zu einer Verengung der kleinen Lungenarterien. Diesen Vorgang nennt man hypoxische pulmonale Vasokonstriktion (HPV). Durch diesen körpereigenen Mechanismus wird das Blut, durch lokale Konstriktion der Blutgefäße, in besser ventilerte Abschnitte der Lunge geleitet, um die Shuntbildung und die damit einhergehende Hypoxämie zu minimieren. Allerdings muss beachtet werden, dass dieser Mechanismus bei Pferden weniger stark ausgeprägt ist (Muir und Hubbell 2009).

Zusätzlich können auch Inhalationsanästhetika, mit Ausnahme von Sevofluran und Desfluran, diese Gegenreaktion hemmen (Patwa und Shah 2015). Deswegen ist es hilfreich, den möglichen Shunt während der Allgemeinanästhesie zu bestimmen und einzuschätzen, um den Gasaustausch intraoperativ durch verschiedene therapeutische Maßnahmen zu verbessern (Araos et al. 2012).

2.2. Arten des Rechts-Links-Shunts

Der Hauptanteil des Herzzeitvolumens steht in Kontakt mit den Lungenbläschen und das venöse Blut wird durch Diffusion oxygeniert (Schmidt et al. 2010). Die venöse Beimischung im arteriellen Blut beträgt bei gesunden Tieren etwa 5 % des gesamten Herzzeitvolumens und kann bei einem pulmonalen Shunt erheblich größer sein (Robinson E.N. 2012).

Man kann zwischen zwei Arten von venös-arteriellen Kurzschlüssen differenzieren. Einem anatomischen Shunt und einem funktionellen Shunt. Der anatomische Shunt ergibt sich über die Bronchial- und die Thebesius-Venen, welche in den linken Ventrikel fließen, das V/Q nimmt also einen realistischen Wert von 0,8 an (Schmidt et al. 2010).

Vom anatomischen Shunt zu unterscheiden ist der f-Shunt. Durch in Ruhe nicht belüftete Areale der Lunge wird das nicht oxygenierte Blut wieder in das arterielle System geleitet und senkt den Sauerstoffpartialdruck durchschnittlich um 5-8 mm Hg, im Vergleich zum alveolären Sauerstoffpartialdruck (Schmidt et al. 2010). Durch diese Umstände kommt es zu einer Verminderung des V/Q ($V/Q = <0,8$) und zu einem Defizit des Sauerstoffgehaltes im systemischen Blutkreislauf (Cooper und Celli 2008).

2.3. Ventilation/Perfusion-Missverhältnis

Resultat eines gestörten Gasaustausches ist die Hypoxämie, welche in weiterer Folge einen erniedrigten Sauerstoffpartialdruck (PO_2) ergibt. Der PO_2 wird von zwei maßgebenden Prinzipien beeinflusst. Zum einen wird der alveoläre Sauerstoffpartialdruck (PAO_2) durch die Aufnahme von O_2 ins pulmonal-kapillare Blut verändert und zum anderen ist er auf die alveoläre Ventilation angewiesen (West 2007). Der Austausch der Atemgase mit dem Blutstrom in den Lungenalveolen steht also im engen Zusammenhang mit der Lungenperfusion. Ein adäquater Gasaustausch ist also vom Verhältnis der Ventilation in den Alveolen zur Perfusion der Lunge abhängig. Als Störung des Gasaustausches und somit einer ineffektiven systemischen Sauerstoffversorgung liegt ein verändertes V/Q zu Grunde. Häufige Ursache für ein verändertes V/Q , ist einerseits der pulmonale Totraum ($V=1$, $Q=0$) und andererseits der pulmonale Shunt ($V=0$, $Q=1$). Ein vom Ideal abweichendes V/Q z.B. durch bereits genannten Shunt ist eine häufige Ursache bei Pferden und kann zu einem erheblichen V/Q -Missverhältnis führen, welches infolgedessen eine Hypoxämie mit sich bringt (Petersson und Glenny 2014).

2.4. Einflussfaktoren

2.4.1. FiO_2

In der Atmosphäre beträgt der Sauerstoffgehalt im Gasgemisch der Luft 21 % und wird als FiO_2 von 0,21 beschrieben. Während einer Allgemeinanästhesie werden Pferde mit bis zu 100 % Sauerstoff ventiliert. Durch den erhöhten inspirierten Sauerstoffgehalt steigt ebenfalls der PaO_2 , der unter normalen Bedingungen bei Raumtemperatur 85 bis 100 mm Hg liegt (Robinson E.N. 2012). Dennoch kann es bei 100%iger Sauerstoffgabe bei Pferden zu einer Verminderung des PaO_2 kommen. Dieser gering- bis hochgradige Abfall des PaO_2 , kann in Zusammenhang mit einem f-Shunt stehen in Folge von kollabierten Lungenarealen (Wagner 2008). Ebenso muss beachtet werden, dass es bei mechanischer Druckbeatmung und einer hohen FiO_2 zu sogenannten Resorptionsatelektasen kommen kann. Hierbei kommt es zu einem Fehlen des sonst in der Atemluft vorhandenen Stickstoffs (N_2). Diffundiert der inspirierte O_2 nun über die Kapillaren ins Blut, kommt es zu einem Kollaps der Alveolen und das V/Q ist gestört (Hopster et al. 2018)

2.4.2. Ventilationsmodus

Die unterschiedlichen Ventilationstechniken mit Überdruckbeatmung bei Pferden in Allgemeinanästhesie zielen auf eine verbesserte Ausdehnung der Lunge während der Atemphasen ab und sollen den Gasaustausch in den Lungenarealen gewährleisten.

Eine Methode der kontrollierten Beatmung mit einem Beatmungsgerät ist die Beatmung mit intermittierend positivem Druck (intermittent positive pressure ventilation, IPPV). Die beiden häufigsten Varianten der IPPV sind zum einen die volumenkontrollierte, drucklimitierte Variante der mechanischen Beatmung und zum anderen die druckkontrollierte Beatmung, mit dem Zweck während der Inspiration alveolär-kollabierte Lungenbezirke wieder zu öffnen (Robinson E.N. 2009). Allerdings kann sich die IPPV negativ auf die kardiovaskulären Funktionen auswirken. Diese Auswirkungen zeichnen sich durch einen verminderten Cardiac Output (CO), durch das Sinken des arteriellen Blutdrucks und durch eine erniedrigte Sauerstoffversorgung ab (Ishizuka et al. 2014).

Eine weitere Beatmungsmethode stellt der positiv-endexpiratorische Druck dar (positive endexpiratory pressure, PEEP). Diese Beatmungstherapie vermindert eine Atelektasenbildung während der Expiration, indem ein stetiger positiver Druck in der Lunge verbleibt und die Alveolen offen hält (Hopster et al. 2018).

2.4.3. Gewicht

Aufgrund der anatomischen Konstitution des Thorax und der horizontalen Lage der Lunge besitzen Pferde ein langes, abfallendes Diaphragma, welchem die abdominalen Organe anliegen (Auckburally und Nyman 2017). Befinden sich die anästhesierten Tiere während eines chirurgischen Eingriffes in Rückenlage, führt diese Position zu einem verminderten Lungenvolumen, zu V/Q-Differenzen und es kann zu einem Anstieg des f-Shunts kommen. Das Ergebnis resultiert in einem Absinken des PaO_2 (Robinson E.N. 2009). Nach der Studie von Stegmann und Littlejohn (1987) steigt die Eventualität einer Atelektase mit einem erhöhten Körpergewicht. Diese konnten in ihrer Arbeit einen Zusammenhang zwischen dem Gewicht des Patienten und dem f-Shunt feststellen. Es zeigte sich eine positive Korrelation dieser beiden Parameter in dorsaler Lagerung. In dieser Position kommt es aufgrund der Kompression von Lungenarealen zu einer Erhöhung der alveolo-arteriellen Sauerstoffdruckdifferenz und zu einer verminderten Oxygenierung.

2.4.4. Alter

Etliche physiologische und anatomische Veränderungen der Lunge gehen mit dem Altern einher. Diese Veränderungen äußern sich z.B. in einer Erniedrigung der Lungencompliance und einer abgeschwächten Funktion, der für die Atmung notwendigen Muskeln. In weiterer Folge kommt es zu einer verminderten Lungendynamik. Zusätzlich kann es bei geriatrischen Pferden zu einer Erhöhung der Atemfrequenz kommen und die Expansion der Lunge kann ebenfalls erschwert sein. Als Resultat der eingeschränkten Funktion und Belüftung der Lungenbläschen kann es zu einem V/Q-Missverhältnis in Form eines Shunts kommen (Seddighi und Doherty 2012)

3. Material und Methoden

3.1. Studienpopulation

Insgesamt 120 Pferde, die an der Veterinärmedizinischen Universität Wien im Zeitraum von 2013-2016 für operative Eingriffe anästhesiert wurden, wurden in der vorliegenden Studie inkludiert. Die Aufnahme erfolgte nach dem Zufallsprinzip unabhängig von Rasse, Gewicht, Alter und Gesundheitsstatus des Pferdes. Nur Pferde, welche die notwendigen Parameter zur Berechnung des f-Shunt vollständig aufwiesen, wurden in die Studie aufgenommen.

3.2. Anästhesieprotokoll

Da es sich um eine retrospektive Studie handelte, gab es kein vorgegebenes Anästhesieprotokoll. Jedoch wurden im Allgemeinen zur Prämedikation den Pferden Acepromazin (0,03 mg/kg i.m., Vanastress, Vana GmbH, Wien, Österreich) verabreicht. Etwa 45 Minuten danach wurde einer der beiden Alpha-2-Agonisten Xylazin, 0,6 mg/kg i.v., (Sedaxylan, Eurovet Animal Health B.V., Bladel, Niederlande) oder Detomidin, 0,01 mg/kg i.v., (Equidor, Richter Pharma AG, Wels, Österreich) gegeben mit dem Opioid Butorphanol, 0,01 mg/kg i.v., (Avegesic, Alvetra u. Werfft GmbH, Wien, Österreich) zusammen und wurden über einen Venenkatheter an der Vena jugularis intravenös appliziert.

Die Einleitung der Allgemeinnarkose erfolgte mit Midazolam 0,1 mg/kg i.v. (Dormicum, Roche Pharma AG, Deutschland) und Ketamin, 2,2 mg/kg i.v., (Narketan, Vetoquinol Österreich GmbH, Wien).

Die anschließende Allgemeinanästhesie wurde mittels des Inhalationsanästhetikums Isofluran, in Kombination mit einer partiellen intravenösen Anästhesie (PIVA) durchgeführt. Diese Dauertropfinfusionen setzen sich laut Wiener-Standardprotokoll im Triple-Drip wie folgt zusammen: In einer physiologischen Kochsalzlösung (0,9 %, 500ml) werden Xylazin (250mg), Midazolam (15 mg) und Ketamin (1g) gelöst und infundiert (0,6 ml/kg/h). Im sogenannten Double-Drip, der speziell bei Schockpatienten wie z. B. Koliker eingesetzt wird, befinden sich neben der Kochsalzlösung (0,9 %, 500ml) ausschließlich die beiden Anästhetika Ketamin (1g) und Midazolam (15mg).

3.3. Datenerfassung und f-Shunt Berechnung

Aus dem Narkoseprotokoll, den Blutgasaufzeichnungen und dem Tierinformationssystem (TIS) der Veterinärmedizinischen Universität Wien wurden folgende Informationen entnommen und tabellarisch aufbereitet: FiO_2 , barometrischer Druck, Sauerstoffsättigung, Sauerstoffpartialdruck, Kohlendioxidpartialdruck, Hämoglobinkonzentration (Hb), Ventilationsmodus (IPPV/Spontanatmung/PEEP), Gewicht, Alter und Lagerung. Die arteriellen Blutgase wurden innerhalb von 10-15 Minuten (BG1) nach der Einleitung und während der laufenden Anästhesie 30 Minuten nach der ersten Entnahme (BG2) bestimmt.

Die Berechnung des f-Shunts erfolgte, wie in Araos et al. 2012) nach folgender Formel:

$$([\text{Cc}'\text{O}_2 - \text{CaO}_2]/[\text{Cc}'\text{O}_2 - \text{CaO}_2 + 3,5 \text{ mL/dL}]) * 100$$

Die in der Kalkulation angeführten Parameter beschreiben den pulmonal-kapillären Sauerstoffgehalt ($\text{Cc}'\text{O}_2$), den arteriellen Sauerstoffgehalt (CaO_2) und die arterio-venöse Sauerstoffdifferenz, die als festgelegter Wert von 3,5 mL/dL aus der Humanmedizin bei Patienten unter mechanischer Ventilation übernommen wurde (Harrison et al. 1975). Diese wurden wie folgt berechnet:

$$\text{Cc}'\text{O}_2 = \text{Hb} \times 1,31 \times \text{Sc}'\text{O}_2 + 0,0031 \times \text{Pc}'\text{O}_2$$

$$\text{Ca}'\text{O}_2 = \text{Hb} \times 1,31 \times \text{SaO}_2 + 0,0031 \times \text{PaO}_2$$

Hb beschreibt die gemischt-venöse Hämoglobinkonzentration (g/dL), 1,31 ist die Sauerstofftransportkapazität des Hämoglobins (mL/g), $\text{Sc}'\text{O}_2$ steht für die pulmonal-endkapilläre Sauerstoffsättigung, 0,0031 beschreibt den Löslichkeitskoeffizienten des Sauerstoffes im ovinen Plasma und $\text{Pc}'\text{O}_2$ ist der pulmonal-endkapilläre Sauerstoffpartialdruck (mm Hg) welcher als äquivalent zum PAO_2 angenommen wurde (Moon et al. 2001).

Dieser wurde wie folgt berechnet:

$$\text{Pc}'\text{O}_2 = \text{PAO}_2 = \text{FIO}_2 \times (\text{Pb} - \text{PH}_2\text{O}) - (\text{PaC}_2 \times 0,8)$$

Pb steht für den Luftdruck mm Hg, PH_2O beschreibt den Wasserdampfdruck mm Hg und 0,8 ist der respiratorische Quotient.

Der aktuelle Pb wurde während jeder Blutgasanalyse vom Gerät gemessen und fehlende Luftdruckwerte wurden über eine Wetterseite, <https://kachelmannwetter.com/at/messwerte/wien/luftdruck-qff/20200115-1100z.html> (zuletzt aufgerufen am 22.01.2020) ergänzt.

Die Ergebnisse des f-Shunts wurden in vier Kategorien unterteilt. (Tab.1).

Tab. 1: Einteilung der funktioneller Shunt Kategorien

Kategorie funktioneller Shunt	Funktioneller Shunt in Prozent
KAT1	0-10
KAT2	10-15
KAT3	15-20
KAT4	> 20

3.3.1. Einteilung des Oxygenierungsindex nach Horowitz

Für die bessere Vergleichbarkeit der Ergebnisse wurde, da in Abhängigkeit der durchführenden Anästhesisten unterschiedliche Sauerstoffkonzentrationen verwendet wurden, der Oxygenierungsindex nach Horowitz (P/F-Ratio) berechnet, mit der Formel: $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$.

Zur Beurteilung der Oxygenierungsfunktion wurden die Patienten ebenfalls in vier Kategorien eingeteilt und weiters deren positive oder negative Entwicklung dargestellt. Eine P/F-Ratio von >300 kann als physiologisch angesehen werden. Werte zwischen 200-300 müssen kritisch gesehen werden. Eine P/F-Ratio von <200 deutet auf ein massives Gasaustauschproblem hin (Tab.2).

Die Korrelation zwischen f-Shunt und P/F Ratio wurde berechnet.

Tab. 2: Einteilung des Oxygenierungsindex nach Horowitz

Kategorien	P/F-Ratio
PF<200	< 200
PF200-300	200-300
PF300-400	300-400
PF>400	>400

3.4. Einflussfaktoren

Nachfolgend wurden der Ventilationsmodus, bei ventilierten Patienten die Anwendung von PEEP, sowie Gewicht, Alter und die Lagerung der Pferde auf die Höhe des f-Shunts in einen möglichen Zusammenhang gebracht.

3.4.1. Ventilationsmodus

Die Gruppeneinteilung erfolgte anhand des angewendeten Ventilationsmodus während der Allgemeinanästhesie. Es wurden drei Gruppen unterschieden: Pferde, die während der Operation Spontanatmung (Spontan) aufwiesen, welche, die mechanisch ventiliert (IPPV) wurden, und jene, bei denen ein Wechsel von Spontanatmung auf IPPV (Wechsel) stattfand.

3.4.2. Gruppeneinteilung nach PEEP

Pferde, bei denen eine Beatmung gestartet wurde, wurden hinsichtlich des Einsatzes von einem PEEP (positive endexpiratory pressure) in drei Gruppen eingeteilt. Gruppe PEEP0 wurde mit einem Druck von 0 cm H₂O beatmet. Gruppe PEEP3 mit einem Beatmungsdruck von 3 cm H₂O und Gruppe PEEP5 mit 5 cm H₂O. Von drei Pferden waren keine Daten vorhanden, und diese wurden somit aus dieser Analyse ausgeschlossen.

3.4.3. Gewicht

Die Pferde wurden bei Ankunft in der Klinik gewogen und die Angabe des Körpergewichtes erfolgt in Kilogramm Körpergewicht (kg).

3.4.4. Alter

Das Alter der Tiere wurde vom Geburtsdatum zum Zeitpunkt der Operation rückgerechnet. Fohlen und Jährlinge wurden ebenfalls in die Datensammlung miteingeschlossen.

3.4.5. Gruppeneinteilung der Lagerung

Bei der Lagerung der anästhesierten Patienten wurde zwischen Rückenlage und Seitenlage unterschieden, wobei bei Pferden in Seitenlage noch linke oder rechte Seitenlage mit einbezogen wurde (Tab 3). Von drei Tieren waren keine Aufzeichnungen über die Lagerung vorhanden. Bei einem Pferd wurde der Eingriff im Stehen vorgenommen. Diese Tiere wurden aus der Berechnung für den Einflussfaktor Lagerung ausgeschlossen.

Tab. 3: Gruppeneinteilung Lagerung

Lagerung	Anzahl	Prozent
RL	76	69,1
SL li	17	15,5
SL re	13	11,8
Total	106	96,4

3.5. Statistische Auswertung

Für die Berechnung des f-Shunts und die anschließende statistische Auswertung wurden das Programm Microsoft Excel und das Medcalc (MedCalc Statistical Software Version 19.1 MedCalc Software bv, Ostend, Belgium; <https://www.medcalc.org>; 2019) verwendet.

Die Daten werden mittels deskriptiver Statistik als Mittelwert $\pm$ Standardabweichung (SD) angeführt. Der Test auf Normalverteilung wurde mittels Kolmogorov-Smirnov Test auf Normalverteilung durchgeführt.

Mittels Student t-test wurde auf Unterschiede in Bezug auf den f-Shunt zwischen BG1 und BG2 getestet. Der Einfluss des Ventilationsmodus, sowie der Einflussfaktor Lagerung wurden mittels MANOVA berechnet. Eine Korrelation nach Pearson zwischen f-Shunt und FiO_2 , PaO_2 , sowie für Alter und Gewicht wurden berechnet. Mit p -Wert (p) $\leq 0,05$ wurde das Signifikanzniveau festgelegt.

4. Ergebnisse

Von 120 Pferden wurden 10 von der Analyse ausgeschlossen, da keine kompletten Datensätze gefunden werden konnten. Somit wurden 110 Pferde mit jeweils zwei Blutgasanalysen während der Allgemeinanästhesie für die Berechnungen des f-Shunts herangezogen. Insgesamt wurden somit 220 f-shunt Berechnungen für die Auswertung der Daten verwendet.

Sechzig (54,50 %) Pferde zeigten eine negative Entwicklung d.h. eine Erhöhung des f-Shunt Wertes im Vergleich zwischen BG1 und BG2. Eine positive Entwicklung und somit eine Erniedrigung des f-shunts konnte bei 50 (45,50 %) der Patienten festgestellt werden, siehe Abbildung 1.

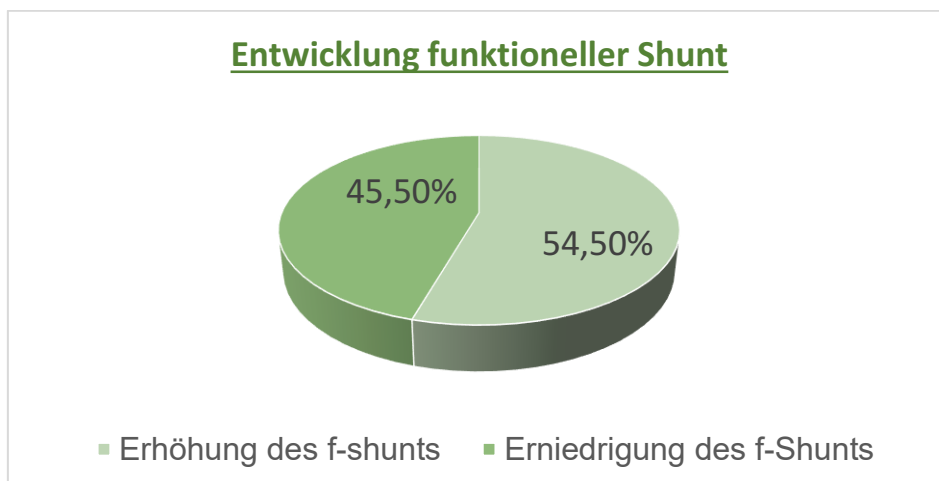


Abb. 1: Auswertung über die zeitliche Entwicklung (Blutgas 1 zu Blutgas 2) des funktionellen Shunts, unabhängig vom Ventilationsmodus (n=110)

Der mittlere f-Shunt, unabhängig von potentiellen Einflussfaktoren für BG1 betrug $17,5 \pm 6,2\%$ und für BG2 $18,4 \pm 6,8\%$. Zwischen den beiden Probeentnahmezeitpunkten konnte kein signifikanter Unterschied ermittelt werden ($p=0,5273$). In Folge wurden für die weiteren Auswertungen die gepoolten Daten aus BG1 und BG2 verwendet.

In Bezug auf die Einteilung des f-Shunts in Kategorien umfasst die KAT1 12,7 % der Messwerte, in KAT2 konnten 20,5 % der f-Shunt Werte zusammengefasst werden. 25 % der Messwerte verteilen sich in KAT3 und der höchste prozentuelle Anteil befindet sich mit 41,8 % in KAT4. In dieser Kategorie lag der f-Shunt bei >20 %.

Der mittlere arterielle Sauerstoffpartialdruck der einzelnen f-Shunt Kategorien also das Ausmaß des f-Shunts ist in Abbildung 2 ablesbar. Dabei zeigten sich in KAT1 PaO_2 Werte von $385,8 \pm 75,2$. Ein Sauerstoffpartialdruck von $139,5 \pm 68$ und damit ein niedriger PaO_2 wurde in KAT.4 beschrieben.

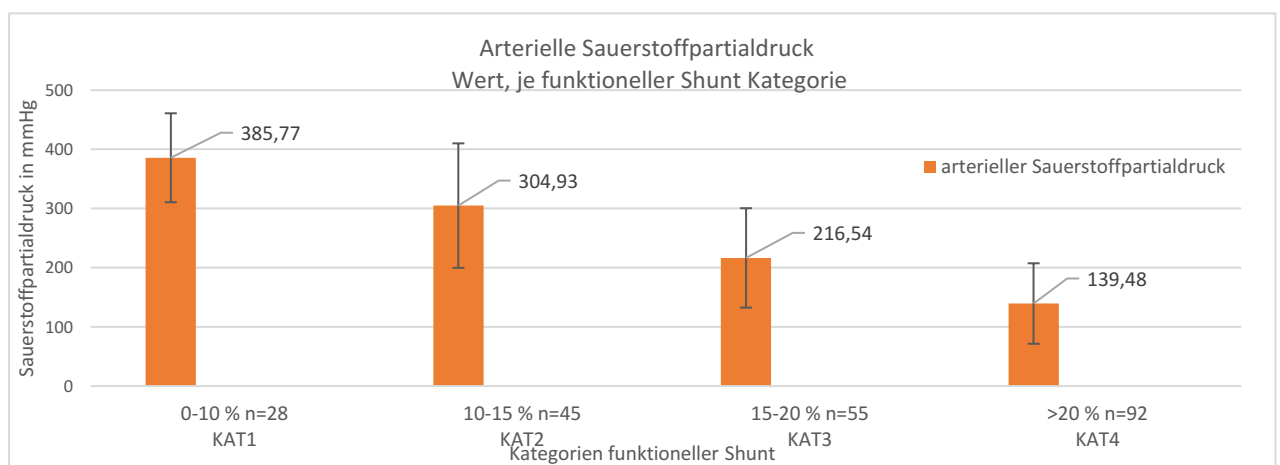


Abb. 2: Mittlere arterielle Sauerstoffpartialdruckwerte in mmHg der jeweiligen funktioneller Shunt Kategorie.

4.1. f-Shunt in Abhängigkeit von Ventilationsmodus

Die prozentuelle Aufteilung der Pferde in die drei Ventilationsgruppen ist in Tabelle 4 zusammengefasst.

Tab. 4: Aufteilung und prozentuelle Verteilung der Pferde in die drei Ventilationsgruppen

Gruppe	Anzahl	Prozent
1 (Ventiliert)	69	62,7
2 (Spontan)	27	24,5
3 (Wechsel Spontan-IPPV)	14	12,7
Total	110	100

Die Gruppe der ventilierten Pferde umfasste 62,7 % (n=69), davon zeigten 33,6 % (n=37) eine Steigerung des Wertes und somit eine negative Entwicklung des funktionellen Shunts. Eine Verringerung konnte bei 29,07 % (n=32) festgestellt werden. Bei spontan atmenden Patienten 24,5 % (n=27) konnte man bei 13,6 % (n=15) eine Verschlechterung festmachen und bei 10,8 % (n=12) wurde eine positive Entwicklung gezeigt. In der Gruppe, in der die Pferde während der Allgemeinanästhesie von Spontanatmung auf IPPV umgestellt wurden, insgesamt 12,7 % (n=14), zeigten 7,3 % (n=8) eine negative - und 5,4 % (n=6) eine positive Entwicklung.

Die Abbildung 3 zeigt die Veränderung des f-Shunts zwischen den beiden Messzeitpunkten in Abhängigkeit zum Ventilationsmodus. Die Veränderung der Werte zu den beiden Messzeitpunkten war nicht signifikant ($p = 0,9$).

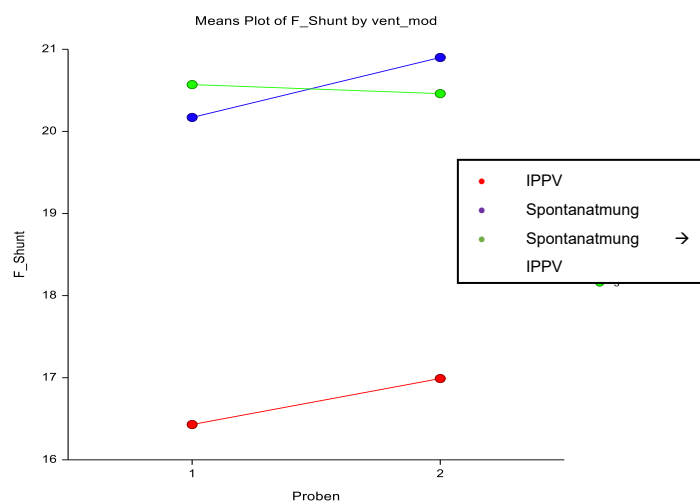


Abb. 3: f-Shunt Abhängigkeit von Ventilationsmodus. Die Graphik zeigt die Entwicklung des funktionellen Shunts zwischen den beiden Blutgasen BG1 und BG2

Der f-Shunt in der Gruppe 2 (Spontanatmung) betrug im Mittel (Mittelwert aus BG1 und BG2) $20,5 \pm 5,1$ %. Pferde der Gruppe 1, die von Beginn an ventiliert wurden, hatten einen durchschnittlichen f-Shunt von $16,7 \pm 6,7$ %, bei Wechsel des Ventilationsmodus betrug der mittlere f-Shunt $20,51 \pm 6,3$ %. Der f-Shunt der ventilierten Pferde war signifikant niedriger ($p < 0,001$) im Vergleich zu den beiden anderen Gruppen.

Die Verteilung der f-Shunt Kategorie in Abhängigkeit des Ventilationsmodus ist in Abbildung 4 abgebildet.

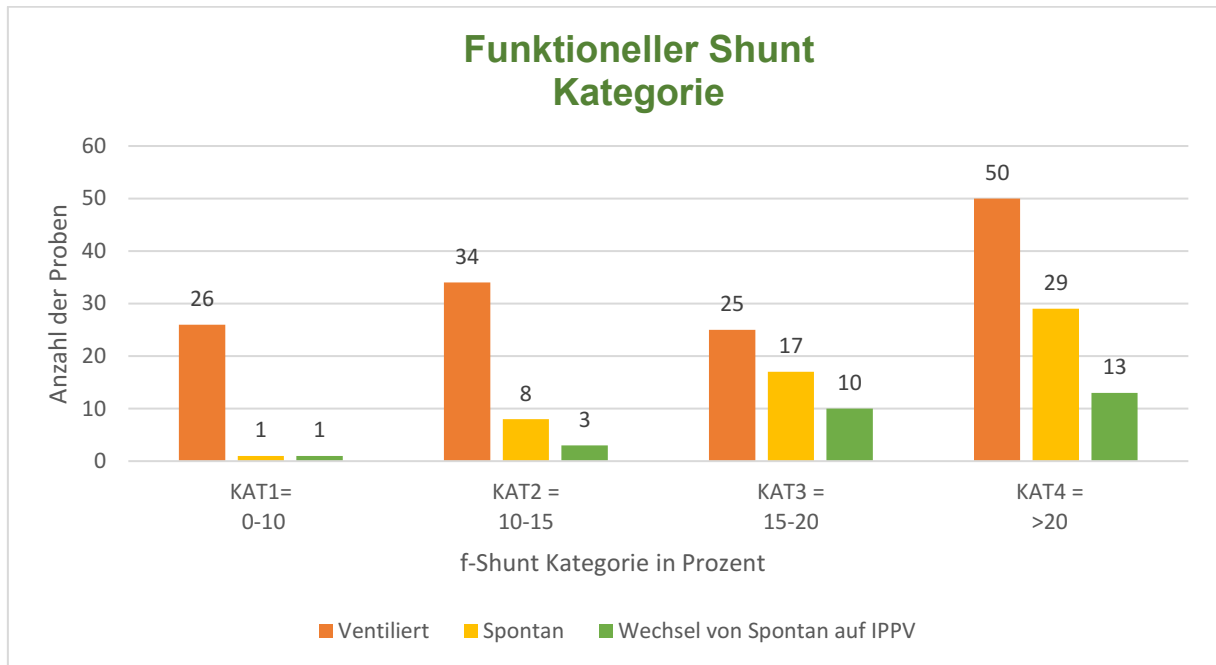


Abb. 4: Entwicklung gruppiert nach funktioneller Shunt Kategorie

Insgesamt umfasst KAT1 12,7 % (n=28) der Proben, davon fallen 11,8 % (n=26) der Werte in die Untergruppe der ventilierten Pferde und jeweils 0,5 % (n=1) konnten bei den spontanatmenden und wechselnden Pferden auf IPPV festgestellt werden.

In KAT2 befanden sich 20,5 % (n=45) der Proben. Hier umfasst die Untergruppe der Ventilierten 15,5 % (n=34), zu den Spontanatmenden zählen 3,6 % (n=8) der f-Shunt Werte und 1,4 % (n=3) können in die Untergruppe der Wechselnden, spontan zu IPPV zugeteilt werden.

KAT3 mit insgesamt 25 % (n=55) der Werte kann in 12,7 % (n=28) Ventilierte, 7,7 % (n=17) Spontanatmende und 4,5 % (n=10) Wechselnde aufgeteilt werden. Die Mehrheit der Proben fallen mit 41,8 % (n=92) in KAT4. Davon umfasst die Untergruppe der ventilierten Pferde 22,75 % (n=50) der f-Shunt Werte, 13,2 % (n=29) der Werte verteilen sich in der Untergruppe der spontanatmenden Tiere und 5,9 % (n=13) finden sich bei den wechselnden Tieren von spontan auf IPPV.

4.2. Einfluss der Beatmungstherapie mit PEEP auf f-Shunt

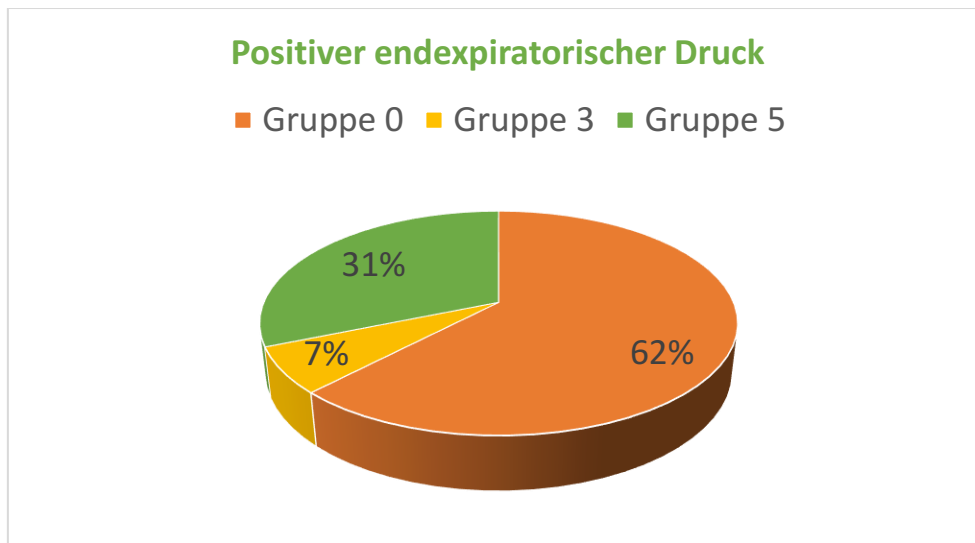


Abb. 5: Prozentuelle Verteilung der PEEP Stufen aller ventilierten Pferde (n=69)

Die Messwerte des f-Shunts betragen in Gruppe PEEP0 im Mittel $18,2 \pm 6,4\%$, in Gruppe PEEP3 ergibt sich ein Mittel von $21,3 \pm 6,2$ und in Gruppe PEEP5 von $17,7 \pm 6,6$. Es konnte kein signifikanter Einfluss ($p < 0,171$) der Beatmungstherapie mit PEEP auf den F-Shunt festgestellt werden.

4.3. Oxygenierungsindex nach Horowitz (P/F-Ratio)

Die durchschnittlich verwendete inspiratorische Sauerstoffkonzentration lag bei $79 \pm 11\%$. Der durchschnittliche PaO_2 aller Messproben betrug 223 ± 119 mmHg. Die mittlere P/F Ratio aller Blutgasmessungen lag bei $278,8 \pm 138$.

In die Kategorie $\text{PF} < 200$ mit der schlechtesten P/F Ratio waren 80 / 36,4% der Messwerte von BG1 und BG2 unabhängig vom Ventilationmodus zu finden. In $\text{PF} 200-300$ entfielen 47 / 21,4 % aller Werte, in $\text{PF} 300-400$ waren 37 / 16,8 % der Werte zu finden. Eine P/F Ratio über 400 $\text{PF} > 400$ wiesen 56 / 25,5% der Messwerte.

Es konnte kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Messzeitpunkten festgestellt werden. Die Entwicklung der P/F Ratio zwischen den beiden Blutgasen BG1 Und BG2 ist in Tabelle 5 ablesbar.

Tab. 5: zeigt eine Verringerung der PaO₂/FiO₂ Ratio und damit eine negative Entwicklung bei 36,4 % (n=40) der Pferde. Bei 63,6 % (n=70) der Tiere konnte eine Steigerung des Oxygenierungsindex errechnet werden

P/F-Ratio	Anzahl	Prozent
Verringerte P/F-Ratio	40	36,4
Gesteigerte P/F-Ratio	70	63,6
Total	110	100

Die Art der Ventilation hatte keinen signifikanten Einfluss auf die P/F Ratio ($p < 0,325$). In der Gruppe der ventilierten Pferde gab es eine deutliche, aber nicht signifikante Steigerung der P/F Ration zwischen BG1 und BG2.

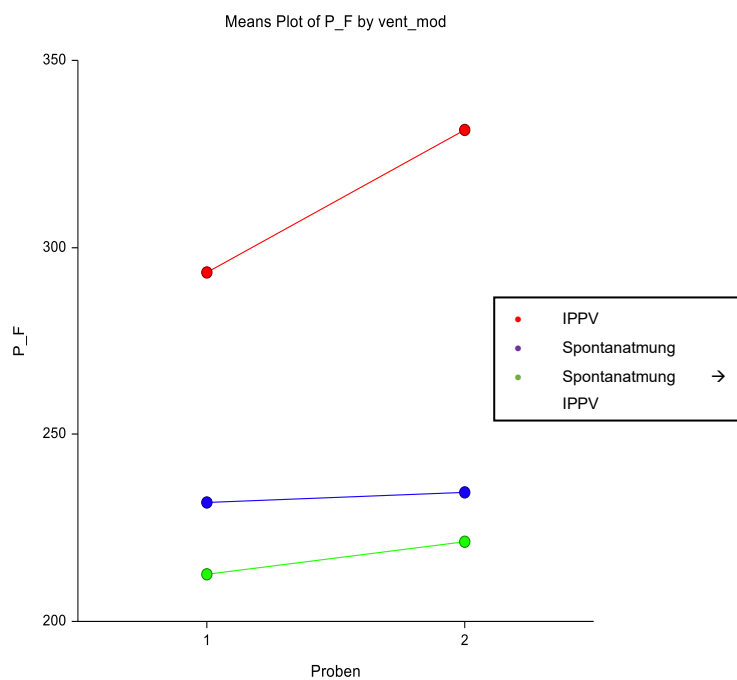


Abb. 6: Entwicklung der P/F-Ratio zwischen den Proben in Abhängigkeit des Ventilationsmodus

Die Korrelation zwischen f-Shunt und FiO_2 , sowie PaO_2 sind in der Abbildung 7 dargestellt. Die Sauerstoffkonzentration hat keinen signifikanten Einfluss auf den f-Shunt, da auch keine deutliche Korrelation ($r=0,3454$) mit den PaO_2 besteht.

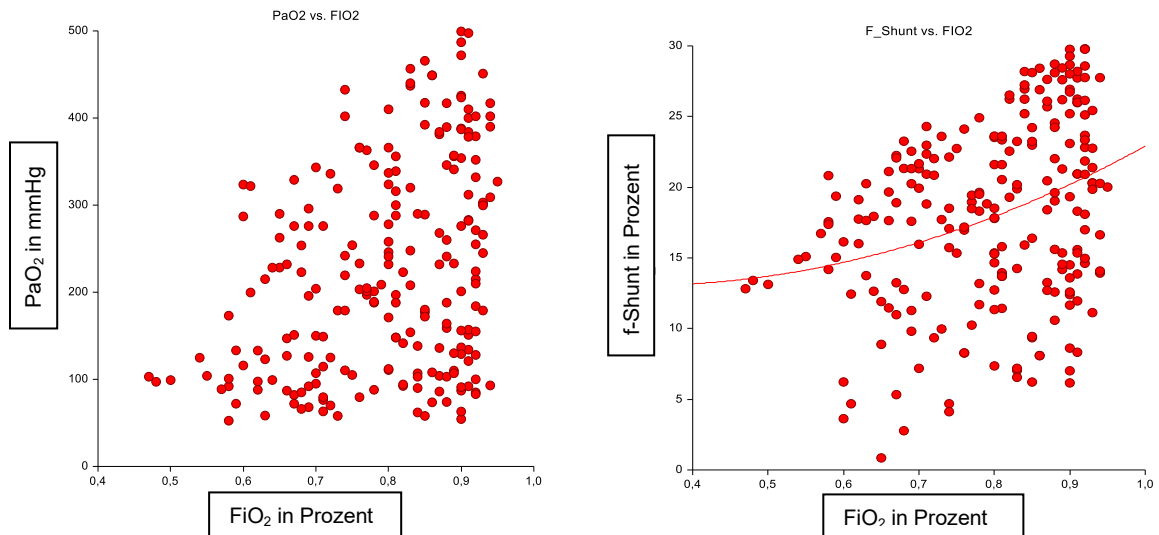


Abb. 7: Korrelation zwischen arteriellen Sauerstoffpartialdruck und inspiratorische Sauerstofffraktion (linke Graphik) und inspiratorische Sauerstofffraktion und funktioneller Shunt (rechte Graphik)

4.4. Gewicht

Im Durchschnitt betrug das Gewicht der Tiere $499,8 \pm 76,4$ (200-778) Kilogramm. Es konnte kein Zusammenhang zwischen Körpergewicht und f-Shunt festgestellt werden ($r = 0,158$).

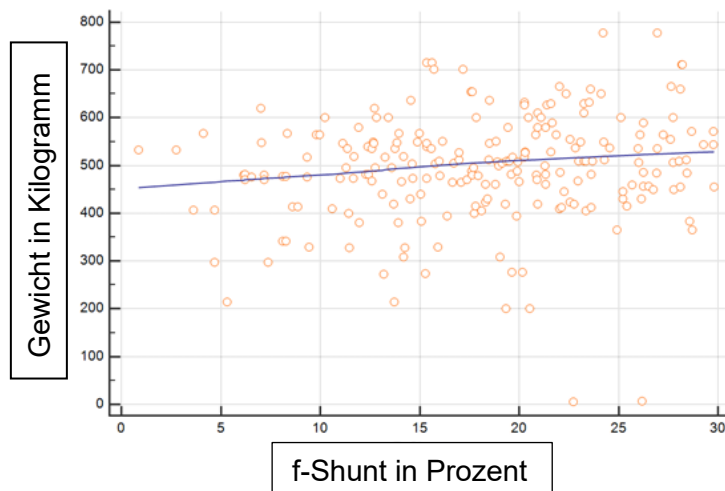


Abb. 8: Korrelation des Gewichtes der Pferde zum funktionellen Shunt

4.5. Alter

Im Mittel waren die Pferde $7,9 \pm 5,3$ Jahre alt. Das Minimum lag bei 4 Monaten und das Maximum bei 27 Jahre. Das Alter zeigte mit einem Korrelationskoeffizienten nach Person ($r = 0,255$) keine Korrelation zu den f-Shunt Werten.

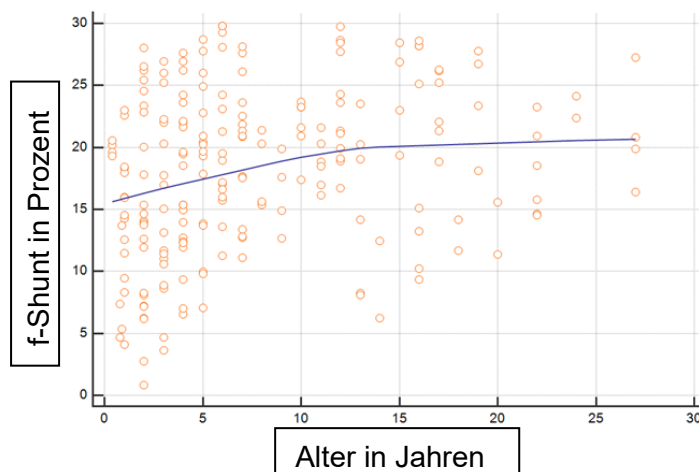


Abb. 9: Korrelation des Alters der Pferde zum funktionellen Shunt

4.6. Lagerung während des Eingriffes

Von 106 Pferden wurden 76 Pferde während des Eingriffes in Rückenlage positioniert und wiesen einen Mittelwert des f-Shunts von $18,3 \pm 6,9$ auf. In linke Seitenlage wurden 17 Pferde gebracht, wobei der f-Shunt einen Mittelwert von $17,4 \pm 6,2$ betrug. In rechter Seitenlage wurden 13 Pferde abgelegt. Bei diesen Tieren lag der Mittelwert im Bereich von $18,0 \pm 3,9$. Es konnte kein signifikanter Einfluss ($p < 0,749$) der Lagerung auf den f-Shunt festgestellt werden.

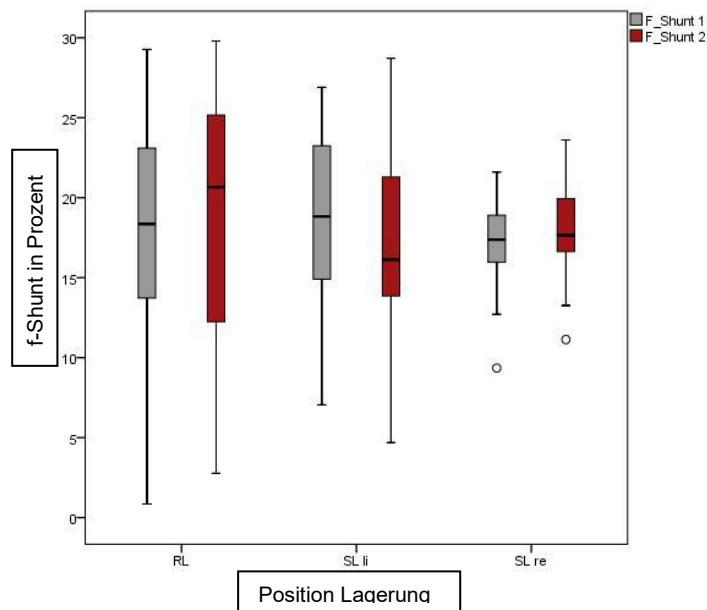


Abb. 10: Einfluss der Lagerung auf funktionellen Shunt. ° markiert Ausreißer.

Der Einfluss der Lagerung und des Ventilationsmodus auf den f-Shunt konnte ebenfalls nicht nachgewiesen werden ($p < 0,684$).

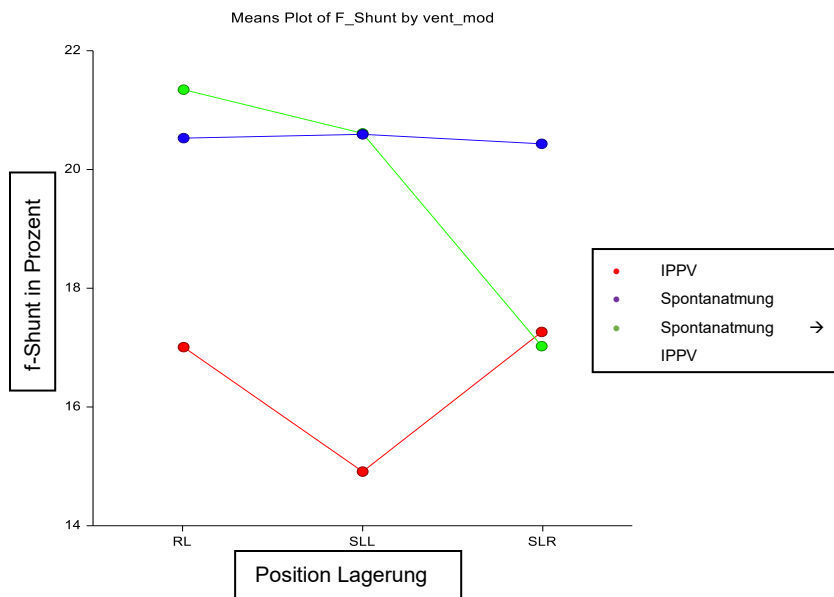


Abb. 11: Einfluss von Ventilationsmodus in Abhängigkeit mit der Lagerung

5. Diskussion

In dieser retrospektiven Studie an der Veterinärmedizinischen Universität Wien wurde von 110 Pferden unter Allgemeinanästhesie der funktionelle Shunt berechnet und ausgewertet. Dazu wurden insgesamt 220 f-Shunt Werte, also zwei vergleichende Werte pro Pferd, analysiert.

Im Zuge dieser Studie konnte ein hoher Anteil an erhöhten Shuntfraktionen festgestellt werden. Insgesamt 41,8 % der Proben wiesen einen f-Shunt Wert von >20 % auf. Hingegen konnte lediglich bei 12,7 % ein f-Shunt Wert von unter 10 % ermittelt werden. Es liegen keine vergleichbaren Studien an einer größeren, klinischen Pferdepopulation in Bezug auf Referenzwerte des f-Shunts vor, jedoch konnten Nyman und Hedenstierna (1989) einen Shuntanteil von 1,1 % beim lungengesunden, wachen Pferd feststellen. Außerdem konnte ein signifikant erniedrigter PaO_2 bei einem erhöhten Shuntanteil festgestellt werden. Daraus ergibt sich, je höher der f-Shunt im Lungengewebe, desto niedriger der PaO_2 (Hedenstierna et al. 1987). Dieses Ergebnis konnte auch in dieser Studie bestätigt werden. Hier zeigten sich in KAT4, der Kategorie mit f-Shunt Werten über 20 %, ebenfalls tiefere arterielle Sauerstoffpartialdrücke im Unterschied zu den Kategorien mit niedrigeren f-Shunt Werten.

Des Weiteren wurde in dieser Studie festgehalten, dass f-Shunt Werte $n=138$ in der Gruppe der ventilierten Pferde mit IPPV eine signifikant niedrigere Shuntfraktion ($p < 0,001$) aufwiesen als Pferde, die während der gesamten Dauer der Anästhesie spontan geatmet hatten. Ebenfalls zeigte die Gruppe der wechselnden Pferde von Spontanatmung auf IPPV einen höheren Shuntanteil. Diese Ergebnisse stimmen mit dem Resultat der Studie von (Wolff und Moens 2010) überein. Hier konnte ebenso bestätigt werden, dass bei umgehender Überdruckbeatmung mit IPPV das Ausmaß einer Diffusionsstörung verringert werden kann. Dies könnte auf ein verbessertes V/Q-Verhältnis und eine Minimierung des f-Shunts zurückzuführen sein. Bei der Beatmungstherapie mit PEEP konnte im Gegenzug keine signifikante Korrelation bezüglich des f-Shunts festgestellt werden. In der Studie von (Hedenstierna und Rothen 2000) konnte ebenfalls keine erkennbare Verbesserung der arteriellen Sauerstoffversorgung durch PEEP bemerkt werden. Zu ähnlichen Ergebnissen kommen auch (Araos et al. 2019).

Bei der Kalkulation der P/F-Ratio mit der Formel $\text{PaO}_2 / \text{FiO}_2$ stellte man in dieser Studie fest, dass 36,4 % ein massives Gasaustauschproblem hatten. Von einer massiven Diffusionsstörung spricht man bei einer P/F-Ratio von unter 200. Die Berechnung der P/F-Ratio erlaubt eine

ungefähre Schätzung der Shuntfraktion. Bei einer P/F-Ratio von unter 200 beträgt nach Covelli et al. 1983) der Shunt über 20 %.

Weiters wurden in dieser retrospektiven Analyse unterschiedliche Einflussfaktoren eruiert und ausgewertet. Der Konstitutionsfaktor Gewicht zeigte in dieser Studie keine Korrelation mit der Höhe des f-Shunts ($r = 0,158$). Dieses Ergebnis unterscheidet sich von der Abhandlung von Stegmann und Littlejohn (1987). In deren Studie konnte eine positive Korrelation zwischen Körpergewicht und f-Shunt in Rückenlage gezeigt werden.

Das Alter der Pferde in dieser Analyse betrug im Mittel 7,9 Jahre. Das Minimum betrug vier Monate und das Maximum lag bei 27 Jahren. Es konnte ebenfalls keine signifikante Korrelation ($r = 0,255$) zwischen f-Shunt und dem Alter der Tiere festgestellt werden. Seddighi und Doherty (2012) beschreiben allerdings, dass bei geriatrischen Patienten unter Inhalationsanästhesie das Residualvolumen und der PaO_2 absinken können. Weiters kann die Lungenexpansion eingeschränkt sein und es könnte z.B. durch einen pulmonalen Shunt zu V/Q-Missverhältnissen kommen.

Als weiterer Einflussfaktor auf den f-Shunt wurde die Lagerung der Pferde während des Eingriffes untersucht. Niyom et al. (2018) stellten in deren Studie fest, dass Pferde in lateraler Seitenlage ein vermindertes Lungenvolumen der betreffenden unteren Lungenareale aufwiesen. Zu einem ähnlichen Resultat kommen auch Nyman und Hedenstierna (1989), sie konnten bei narkotisierten Pferden in Rückenlage eine Shuntfraktion von 34 % und bei Pferden in Seitenlage von 20 % festmachen. Diese hohen Shunt Werte könnten der Grund für einen eingeschränkten Gasaustausch sein. Zu dieser Annahme kommen auch McDonnell et al. (1979). Stegmann und Littlejohn (1987) konnten sowohl in dorsaler als auch in lateraler Lagerung eine signifikante Erhöhung des f-Shunts feststellen. Diese Ergebnisse konnten in der vorliegenden Studie nicht bestätigt werden. Die Lagerung hatte keinen signifikanten Einfluss auf die Höhe des f-Shunts ($p = 0,749$).

Es muss jedoch berücksichtigt werden, dass es sich in dieser Arbeit um eine retrospektive Studie handelt. Aufgrund der vorrangegangenen Datenerhebung konnten keine bis wenig Rückschlüsse über mögliche therapeutische Maßnahmen während der Narkose auf den f-Shunt, noch über den Gesundheitszustand der Pferde während der Datensammlung gezogen werden. Weiters konnte nicht auf verschiedene Rasseunterschiede eingegangen werden. Der Faktor Rasse stellt somit ebenso eine Limitation dieser Studie dar.

Anhand der Daten konnte gezeigt werden, dass ein großer Anteil (42,8 %) der Proben einen f-Shunt Wert über 20 % aufwiesen. Bei 36,4 % konnte mittels P/F-Ratio ein massives Gasaustauschproblem festgemacht werden. Es kann also angenommen werden, dass die Berechnung und die Bewertung des f-Shunts durch die Blutgasanalyse während der Pferdeanästhesie hilfreich sein kann um durch mechanische Ventilation, wie IPPV, den f-Shunt zu minimieren und somit einer angehenden Hypoxämie entgegenzuwirken.

6. Zusammenfassung

Berechnung des funktionellen Shunts bei anästhesierten Pferden: Einfluss verschiedener Faktoren wie inspiratorische Sauerstofffraktion, Ventilationsmodus, Gewicht und Alter sowie Lagerung. Retrospektive Pilotstudie

**Bettina Schneider
2019**

Im Rahmen dieser retrospektiven Studie wurden von 110 Pferden, in den Jahren 2014-2016, bei denen an der Veterinärmedizinischen Universität Wien eine Allgemeinanästhesie durchgeführt wurde, Blutgasanalysen ausgewertet, um anschließend den f-Shunt zu berechnen. Ziel dieser Studie war es das Ausmaß und die Entwicklung des f-Shunts während der Narkose von Pferden zu untersuchen. Dabei wurden Einflussfaktoren, wie inspiratorische Sauerstofffraktion, Ventilationsmodus, Gewicht und Alter, sowie Lagerung auf einen möglichen Effekt auf den f-Shunt geprüft.

Die Ergebnisse des f-Shunts wurden in vier Kategorien eingeteilt. Es liegen keine verbindlichen Referenzwerte bei Pferden bezüglich des f-Shunts vor. Jedoch konnte man bei lungengesunden, wachen Equiden einen Shuntanteil von 1,1 % ermitteln. Beim Menschen liegt der Normbereich der Shuntfraktion zwischen 2-6 %. Um Diffusionsstörungen in der Lunge aufzuzeigen, wurde der Oxygenierungsindex nach Horowitz (P/F-Ratio) hinzugezogen.

Von 110 Pferden wurden insgesamt 220 Proben zur Berechnung des f-Shunts ausgewertet. Bei 12,7 % (n=28) der Proben lag der f-Shunt unter 10 %. Eine Shuntfraktion zwischen 10 %-15 % konnte bei 20,5 % (n=45) nachgewiesen werden. 25 % (n=55) hatten einen f-Shunt zwischen 15 %-20 % und bei 41,8 % (n=92) konnte ein f-Shunt Wert von über 20 % festgestellt werden.

Die Kalkulation der P/F-Ratio (n=220) ergab, dass 36,4 % der analysierten Proben Werte unter 200 mm Hg aufwiesen. Eine P/F-Ratio von über 400 mm Hg konnte bei 25,5 % festgestellt werden.

Bei der Untersuchung auf einen möglichen Einfluss des Ventilationsmodus auf den f-Shunt konnten in dieser Studie signifikant niedrigere f-Shunt Werte in der Gruppe der ventilierten Pferde aufgezeigt werden.

Für die Konstitutionsfaktoren Gewicht und Alter konnte keine signifikante Korrelation dargestellt werden. Ebenfalls konnte kein signifikanter Einfluss der Lagerung während der Allgemeinanästhesie festgestellt werden.

Durch die Berechnungen des f-Shunts konnte ein großer Anteil der Pferde mit Diffusionsstörungen während der Narkose dargestellt werden. In dieser Studie konnte gezeigt werden, dass die Kalkulation des f-Shunts durchaus hilfreich sein kann, V/Q-Missverhältnisse festzustellen. Durch therapeutische Maßnahmen wie mechanische Ventilation kann eine entstehende Hypoxämie vermieden bzw. verbessert werden. Die Ergebnisse der f-Shunt Werte waren ähnlich denen aus der Literatur. Die Analyse der Einflussfaktoren stand nur teilweise im Konsens mit anderer Literatur.

7. Summary

**Calculation of f-shunt during general anaesthesia in horses:
Importance of different influencing factors such as inspired oxygen fraction,
ventilation mode, body mass, age as well as recumbency.**

A retrospective study

Bettina Schneider

2019

This is a retrospective study, executed by the Veterinary University of Vienna during the years 2014-2016. Blood gas analysis samples had been taken from 110 horses during general anaesthesia with which the f-shunt could be calculated. The aim of the study was to analyse the extent and the development of the f-shunt during anaesthesia in horses in consideration of ventilation mode, weight, age and recumbency.

The results had been organised in four sections. No binding reference values exist for horses however, it was possible to determine an f-shunt of 1,1% in lung-healthy, awake equids. In humans the normal range of the shunt fraction lies within 2 and 6%. Possible diffusion disorder in the lungs were detected by making use of the oxygenation index by Horowitz (P/F-ratio).

220 samples from 110 horses had been analysed to calculate the f-shunt. In 12.7% (n=28) of the samples the f-shunt was below 10%. In 20.5% (n=45) the f-shunt did lie within a range of 10-15%. In 25% (n=55) it was between 15-20% und in 41.8% (n=92) the f-shunt value was above 20%. The calculation of the P/F-ratio result in 36.4% of all samples (n=220) displayed a value below 200 mmHg and 25.5% above 400 mmHg.

The analysis of a possible influence of the ventilation mode on the f-shunt during general anaesthesia showed significantly lower f-shunt values in ventilated horses. The factors weight, age and recumbency showed no significant results.

The calculation of the f-shunt made it possible to show the proportion of horses with a diffusion disorder during general anaesthesia. Therefore, the calculation of the f-shunt can be a helpful tool to detect V/Q imbalances and set therapeutic measures such as mechanical ventilation to avoid or prevent hypoxaemia. Our results of the f-shunt values resemble existing literature however, influencing factors such as ventilation mode, weight, age and recumbency differ from it and may need further research.

8. Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Auswertung über die zeitliche Entwicklung (Blutgas 1 zu Blutgas 2) des funktionellen Shunts, unabhängig vom Ventilationsmodus (n=110).....	19
Abb. 2: Mittlere arterielle Sauerstoffpartialdruckwerte in mmHg der jeweiligen funktioneller Shunt Kategorie.	20
Abb. 3: f-Shunt Abhängigkeit von Ventilationsmodus. Die Graphik zeigt die Entwicklung des funktionellen Shunts zwischen den beiden Blutgasen BG1 und BG2	21
Abb. 4: Entwicklung gruppiert nach funktioneller Shunt Kategorie.....	22
Abb. 5: Prozentuelle Verteilung der PEEP Stufen aller ventilierten Pferde (n=69).....	23
Abb. 6: Entwicklung der P/F-Ratio zwischen den Proben in Abhängigkeit des Ventilationsmodus.....	24
Abb. 7: Korrelation zwischen arteriellen Sauerstoffpartialdruck und inspiratorische Sauerstofffraktion (linke Graphik) und inspiratorische Sauerstofffraktion und funktioneller Shunt (rechte Graphik).....	25
Abb. 8: Korrelation des Gewichtes der Pferde zum funktionellen Shunt.....	26
Abb. 9: Korrelation des Alters der Pferde zum funktionellen Shunt	26
Abb. 10: Einfluss der Lagerung auf funktionellen Shunt. ° markiert Ausreißer.....	27
Abb. 11: Einfluss von Ventilationsmodus in Abhängigkeit mit der Lagerung.....	28

9. Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Einteilung der funktioneller Shunt Kategorien.....	16
Tab. 2: Einteilung des Oxygenierungsindex nach Horowitz	17
Tab. 3: Gruppeneinteilung Lagerung.....	18
Tab. 4: Aufteilung und prozentuelle Verteilung der Pferde in die drei Ventilationsgruppen ...	20
Tab. 5: zeigt eine Verringerung der PaO_2/FiO_2 Ratio und damit eine negative Entwicklung bei 36,4 % (n=40) der Pferde. Bei 63,6 % (n=70) der Tiere konnte eine Steigerung des Oxygenierungsindex errechnet werden.....	24

10. Literaturverzeichnis

Araos JD, Lacitignola L, Stripoli T, Grasso S, Crovace A, Staffieri F. 2019. Effects of positive end-expiratory pressure alone or an open-lung approach on recruited lung volumes and respiratory mechanics of mechanically ventilated horses. *Veterinary anaesthesia and analgesia*, (19): 1467–2987. DOI 10.1016/j.vaa.2019.04.016.

Araos JD, Larenza MP, Boston RC, Monte V de, Marzo C de, Grasso S, Haskins SC, Crovace A, Staffieri F. 2012. Use of the oxygen content-based index, Fshunt, as an indicator of pulmonary venous admixture at various inspired oxygen fractions in anesthetized sheep. *American journal of veterinary research*, 73 (12): 2013–2020. DOI 10.2460/ajvr.73.12.2013.

Auckburally A, Nyman G. 2017. Review of hypoxaemia in anaesthetized horses: predisposing factors, consequences and management. *Veterinary anaesthesia and analgesia*, 44 (3): 397–408. DOI 10.1016/j.vaa.2016.06.001.

Briganti A, Portela DA, Grasso S, Sgorbini M, Tayari H, Bassini JRF, Vitale V, Romano MS, Crovace A, Breggi G, Staffieri F. 2015. Accuracy of different oxygenation indices in estimating intrapulmonary shunting at increasing infusion rates of dobutamine in horses under general anaesthesia. *Veterinary journal (London, England : 1997)*, 204 (3): 351–356. DOI 10.1016/j.tvjl.2015.04.002.

Cane RD, Shapiro BA, Templin R, Walther K. 1988. Unreliability of oxygen tension-based indices in reflecting intrapulmonary shunting in critically ill patients. *Critical care medicine*, 16 (12): 1243–1245. DOI 10.1097/00003246-198812000-00014.

Cooper CB, Celli B. 2008. Venous admixture in COPD: pathophysiology and therapeutic approaches. *COPD*, 5 (6): 376–381. DOI 10.1080/15412550802522783.

Covelli HD, Nesson VJ, Tuttle WK3. 1983. Oxygen derived variables in acute respiratory failure. *Critical care medicine*, 11 (8): 646–649. DOI 10.1097/00003246-198308000-00012.

Dupont J, Serteyn D, Sandersen C. 2018. Prolonged recovery from general anesthesia possibly related to persistent hypoxemia in a draft Horse. *Frontiers in veterinary science*, 5: 235. DOI 10.3389/fvets.2018.00235.

- Hajian B, Backer J de, Vos W, van Geffen WH, Winter P de, Usmani O, Cahn T, Am Kerstjens H, Pistolesi M, Backer W de. 2018. Changes in ventilation-perfusion during and after an COPD exacerbation: an assessment using fluid dynamic modeling. *International journal of chronic obstructive pulmonary disease*, 13: 833–842. DOI 10.2147/COPD.S153295.
- Harrison RA, Davison R, Shapiro BA, Meyers SN. 1975. Reassessment of the assumed A-V oxygen content difference in the shunt calculation. *Anesthesia and analgesia*, 54 (2): 198–202. DOI 10.1213/00000539-197503000-00008.
- Hedenstierna G, Nyman G, Kvarth C, Funkquist B. 1987. Ventilation-perfusion relationships in the standing horse: an inert gas elimination study. *Equine veterinary journal*, 19 (6): 514–519. DOI 10.1111/j.2042-3306.1987.tb02662.x.
- Hedenstierna G, Rothen HU. 2000. Atelectasis formation during anesthesia: causes and measures to prevent it. *Journal of clinical monitoring and computing*, 16 (5-6): 329–335. DOI 10.1023/A:1011491231934.
- Hopster K, Duffee LR, Hopster-Iversen CCS, Driessen B. 2018. Efficacy of an alveolar recruitment maneuver for improving gas exchange and pulmonary mechanics in anesthetized horses ventilated with oxygen or a helium-oxygen mixture. *American journal of veterinary research*, 79 (10): 1021–1027. DOI 10.2460/ajvr.79.10.1021.
- Hopster K, Rohn K, Ohnesorge B, Kastner SBR. 2017. Controlled mechanical ventilation with constant positive end-expiratory pressure and alveolar recruitment manoeuvres during anaesthesia in laterally or dorsally recumbent horses. *Veterinary anaesthesia and analgesia*, 44 (1): 121–126. DOI 10.1111/vaa.12390.
- Ishizuka T, Tamura J, Nagaro T, Sudo K, Itami T, Umar MA, Miyoshi K, Sano T, Yamashita K. 2014. Effects of intermittent positive pressure ventilation on cardiopulmonary function in horses anesthetized with total intravenous anesthesia using combination of medetomidine, lidocaine, butorphanol and propofol (MLBP-TIVA). *The Journal of veterinary medical science*, 76 (12): 1577–1582. DOI 10.1292/jvms.14-0077.
- McDonnell WN, Hall LW, Jeffcott LB. 1979. Radiographic evidence of impaired pulmonary function in laterally recumbent anaesthetised horses. *Equine veterinary journal*, 11 (1): 24–32. DOI 10.1111/j.2042-3306.1979.tb01290.x.

- Moon PF, Bliss SP, Posner LP, Erb HN, Nathanielsz PW. 2001. Fetal oxygen content is restored after maternal hemorrhage and fluid replacement with polymerized bovine hemoglobin, but not with hetastarch, in pregnant sheep. *Anesthesia and analgesia*, 93 (1): 142–150. DOI 10.1097/00000539-200107000-00029.
- Muir W, Hubbell JAE. 2009. *Equine anesthesia. Monitoring and emergency therapy*. Second Edition. St. Louis, Mo: Saunders/Elsevier, S. 20.
- Niyom S, Mama KR, King M, Contino E, Ferris D, Valdes-Martinez A, Frisbie DD, McIlwraith W, Zumbrunnen J. 2018. Influence of changing lateral recumbency and mode of ventilation on the alveolar-arterial oxygen tension gradient and selected laboratory analytes in adult isoflurane anesthetized horses. *The Journal of veterinary medical science*, 80 (10): 1584–1589. DOI 10.1292/jvms.18-0032.
- Nyman G, Funkquist B, Kvart C, Frostell C, Tokics L, Strandberg A, Lundquist H, Lundh B, Brismar B, Hedenstierna G. 1990. Atelectasis causes gas exchange impairment in the anaesthetised horse. *Equine veterinary journal*, 22 (5): 317–324. DOI 10.1111/j.2042-3306.1990.tb04280.x.
- Nyman G, Hedenstierna G. 1989. Ventilation-perfusion relationships in the anaesthetised horse. *Equine veterinary journal*, 21 (4): 274–281. DOI 10.1111/j.2042-3306.1989.tb02167.x.
- Patwa A, Shah A. 2015. Anatomy and physiology of respiratory system relevant to anaesthesia. *Indian journal of anaesthesia*, 59 (9): 533–541. DOI 10.4103/0019-5049.165849.
- Peroni DG, Boner AL. 2000. Atelectasis: mechanisms, diagnosis and management. *Paediatric respiratory reviews*, 1 (3): 274–278. DOI 10.1053/prrv.2000.0059.
- Petersson J, Glenny RW. 2014. Gas exchange and ventilation-perfusion relationships in the lung. *England*, 1023-1041.
- Prentice D, Ahrens T. 1994. Pulmonary complications of trauma. *Critical care nursing quarterly*, 17 (2): 24–33. DOI 10.1097/00002727-199408000-00004.
- Robinson E.N. 2009. The respiratory system. In: Muir, W.W. and Hubbell J.A.E.: *Equine Anesthesia: Monitoring and Emergency Therapy*. Second Edition. St. Louis, Mo: Saunders/Elsevier, 340-348.
- Robinson E.N. 2012. Respiratory funktion. In: Cunningham, J.G.: *Textbook of Veterinary Physiologie*. Fifth Edition. St. Louis Mo.: Elsevier Saunders, 486-493.

- Sarkar M, Niranjana N, Banerjee PK. 2017. Mechanisms of hypoxemia. *Lung India : official organ of Indian Chest Society*, 34 (1): 47–60. DOI 10.4103/0970-2113.197116.
- Schmidt RF, Lang F, Heckmann M, Hrsg. 2010. *Physiologie des Menschen*. Einunddreißigste Auflage. Heidelberg: Springer-Medizin-Verl., S. 73.
- Seddighi R, Doherty TJ. 2012. Anesthesia of the geriatric equine. *Veterinary medicine (Auckland, N.Z.)*, 3: 53–64. DOI 10.2147/VMRR.S34162.
- Stegmann GF, Littlejohn A. 1987. The effect of lateral and dorsal recumbency on cardiopulmonary function in the anaesthetised horse. *Journal of the South African Veterinary Association*, 58 (1): 21–27.
- van Loon JP, Grauw JC de, van Oostrom H. 2018. Comparison of different methods to calculate venous admixture in anaesthetized horses. *Veterinary anaesthesia and analgesia*, 45 (5): 640–647. DOI 10.1016/j.vaa.2018.02.010.
- Wagner AE. 2008. Complications in equine anesthesia. *The Veterinary clinics of North America. Equine practice*, 24 (3): 735-52, x. DOI 10.1016/j.cveq.2008.10.002.
- Wandrup JH. 1995. Quantifying pulmonary oxygen transfer deficits in critically ill patients. *Acta anaesthesiologica Scandinavica. Supplementum*, 107: 37–44. DOI 10.1111/j.1399-6576.1995.tb04328.x.
- West JB. 2007. *Respiratory physiology. The essentials*. Eighth Edition. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 1-60.
- Wolff K, Moens Y. 2010. Gas exchange during inhalation anaesthesia of horses: A comparison between immediate versus delayed start of intermittent positive pressure ventilation - A clinical study. *Pferdeheilkunde*, 26: 706–711.