

Open Access

Berl Münch Tierärztl Wochenschr (135)
1–13
DOI 10.2376/1439-0299-2022-1

© 2022 Schlütersche Fachmedien GmbH
Ein Unternehmen der Schlüterschen
Mediengruppe
ISSN 1439-0299

Korrespondenzadresse:
Alexandra.von.altrock@tiho-hannover.de

Eingegangen: 14.01.2022
Angenommen: 07.03.2022
Veröffentlicht: 04.04.2022

<https://www.vetline.de/berliner-und-muenchener-tieraerztliche-wochenschrift-open-access>

Zusammenfassung

Summary



CC BY-NC-ND 4.0

Klinik für kleine Klautiere und forensische Medizin und Ambulatorische Klinik, Stiftung Tierärztliche Hochschule Hannover¹; Abteilung für Anästhesie, Analgesie und perioperative Intensivmedizin, Klinik für Kleintiere, Stiftung Tierärztliche Hochschule Hannover²

Untersuchung zur Optimierung der automatisierten Isoflurannarkose für die Durchführung einer sicheren, schmerzlosen Kastration von männlichen Saugferkeln

Investigation into the optimization of automated isoflurane anesthesia for the performance of safe, painless castration of male suckling pigs

Jennifer Rüdebusch¹, Sabine Kästner², Karl-Heinz Waldmann^{1†}, Michael Wendt¹, Alexandra von Altröck¹

Seit dem Erlass der Ferkelbetäubungssachkundeverordnung im Januar 2020 wurden in vielen deutschen Ferkelproduktionsbetrieben mobile Narkosegeräte zur Kastration unter acht Tage alter Saugferkel implementiert. Frühere Untersuchungen haben jedoch gezeigt, dass durch die eingeschränkte individuelle Steuerbarkeit nicht bei allen Ferkeln eine ausreichende Narkosetiefe für eine schmerzfreie Kastration erreicht wird. In einer zweiteiligen Studie wurde zunächst gewichtsabhängig die Narkosegasanflutungszeit unter Verwendung von 5 Vol.-% Isofluran in Sauerstoff bzw. in Raumluft entsprechend der Bedingungen der automatisierten Narkosegeräte bestimmt, die zum Ausbleiben des schmerzinduzierten Zwischenklauenreflexes führte. Diese Anflutungszeit wurde im zweiten Teil der Studie auf ihre Effektivität bei der Kastration überprüft und bei Bedarf angepasst. Parameter für die Schmerzdetektion waren Abwehrbewegungen, Pulsfrequenzänderungen und EEG-Messergebnisse.

Die im ersten Teil ermittelten Anflutungszeiten führten, unabhängig vom verwendeten Trägergas, zu keiner ausreichenden Anästhesietiefe bei der Kastration. Trotz Verlängerung der Anflutungszeit um jeweils 10 s auf insgesamt 100–115 s in Abhängigkeit vom Ferkelgewicht wurden bei bis zu 20,0 % (Isofluran-Raumluft) bzw. 36,4 % (Isofluran-Sauerstoff) der Ferkel einzelner Gewichtsklassen Abwehrreaktionen während der Kastration festgestellt.

Die alleinige Prüfung des Zwischenklauenreflexes erwies sich als nicht geeignet, um eine ausreichende Anästhesietiefe für die Kastration zu sichern. Bei Verwendung von Isofluran/Raumluft wurden Atemstillstände ab einer Anflutungsdauer von 100 s beobachtet. Generell führte die Isoflurannarkose zu einem deutlichen Pulsfrequenzabfall. Die EEG-Messungen führten zu keiner zuverlässigen Bestimmung der Narkosetiefe und der Schmerzempfindung.

Da trotz Isoflurananflutungszeiten von bis zu 115 s keine vollständige Analgesie während der Kastration erreicht wurde, erfüllen mobile Ferkelnarkosegeräte, die mit Anflutungszeiten von 85 s arbeiten, nicht die Forderungen des Tierschutzgesetzes.

Schlüsselwörter: Inhalationsanästhesie, Trägergas, schmerzinduzierte Reaktion, Tierschutz

Due to the Piglet Anaesthesia Competence Ordinance from January 2020, automated anaesthesia devices have been implemented in many German farms. However, previous studies have shown that due to limited individual machine settings, sufficient depth of anaesthesia for painless castration is not achieved in all piglets. In our study, we first determined weight-dependent anaesthetic induction times with 5Vol.-% isoflurane (+oxygen or room air) that resulted in the absence of the interdigital withdrawal reflex. These times were subsequently

tested for their effectiveness during castration. Defensive movements, pulse rate changes, and EEG measurements were used as pain indicators. The induction times determined in the first part did not result in sufficient anaesthetic depth during castration, regardless of the carrier gas used. Despite weight-dependent extension of the anaesthetic induction times by 10 s each to a total of 100–115 s, defensive reactions were observed in up to 20.0 % (isoflurane/room air) and 36.4 % (isoflurane/oxygen) of piglets of individual weight classes during castration. Testing of the interdigital reflex alone was insufficient to ensure adequate depth of anaesthesia for castration. Apnoea occurred in piglets breathing isoflurane in room air after induction times ≥ 100 s. Generally, isoflurane anaesthesia resulted in a marked decrease in pulse rate. EEG measurements did not reliably determine the depth of anaesthesia and pain sensation. Since complete analgesia was not achieved during castration using induction times of up to 115 s, automated piglet anaesthesia devices operating with induction times of only 85 s do not meet the requirements of the German Animal Welfare Act.

Keywords: inhalation anaesthesia, carrier gas, pain-induced responses, animal welfare

Einleitung

Mit der Novellierung des Tierschutzgesetzes im Jahr 2013 wurde die Kastration von unter acht Tage alten männlichen Schweinen neu geregelt und die bislang übliche Kastration der Tiere ohne Betäubung nach einer Übergangsfrist ab dem 01. Januar 2021 verboten. Im Laufe der Übergangszeit wurde die Verordnung zur Durchführung der Betäubung mit Isofluran bei der Ferkelkastration durch sachkundige Personen (Ferkelbetäubungssachkundeverordnung, FerkBetSachkV) am 17. Januar 2020 erlassen. Damit wurde die Möglichkeit geschaffen, dass Nichttierärztinnen/-ärzte nach Erhalt des Nachweises zur Sachkunde die Kastration von männlichen, unter acht Tage alten Ferkeln unter Isoflurannarkose mithilfe von automatisierten Ferkelnarkosegeräten durchführen dürfen.

Gegenüber der Injektionsnarkose hat die Inhalationsnarkose neben der schnellen Anflutung und damit dem Erreichen eines Stadiums der Bewusst- und Schmerzlosigkeit den Vorteil der kurzen Aufwachphase. Dies führt dazu, dass sowohl Fluchtreflex, Thermoregulation als auch Nahrungsaufnahme beim Saugferkel nach der Narkose kaum beeinträchtigt sind (Lahrman 2006, Steigmann 2013). Seit November 2018 ist der Wirkstoff Isofluran für Ferkel bis zum siebten Lebensstag für die Durchführung einer wirksamen Schmerzausschaltung bei der Ferkelkastration zugelassen (Isofluran Baxter® vet 1.000 mg/g). Er besitzt einen niedrigen Blut/Gas-Verteilungskoeffizienten, weshalb die alveoläre Konzentration sich rasch der inspiratorischen Konzentration annähert (Larsen 2018). Die niedrige Blutlöslichkeit in Verbindung mit einer hohen Lipidlöslichkeit gewährleistet eine schnelle Diffusion in das Gehirn (Ammer und Potschka 2016). Dosisabhängig tritt die Wirkung daher innerhalb weniger Sekunden bis Minuten ein (Eberspächer-Schweda 2020). Die Einleitung der Narkose erfolgt beim Saugferkel mit Isoflurankonzentrationen von bis zu 5 Vol.-%, dabei wird die Verwendung von Sauerstoff als Trägergas empfohlen (Anonymus 2018). Der Einsatz bei der Kastration muss in Verbindung mit der präoperativen Gabe eines geeigneten Analgeti-

kums erfolgen (Anonymus 2018), da Isofluran zwar eine Dämpfung des ZNS mit guter Hypnose und Muskelrelaxation bewirkt (Eberspächer-Schweda 2020), jedoch nur schwach antinozizeptiv ist (Erhardt et al. 2011), sodass die Isoflurannarkose lediglich über die Bewusstlosigkeit zur Schmerzausschaltung führt. Der Einsatz eines nicht-steroidalen Antiphlogistikums führt zu einer Reduktion der postoperativen Schmerzen.

Seit einigen Jahren werden automatisierte Narkosesysteme für die Ferkelkastration unter Isofluran angeboten (Kupper et al. 2009). Dabei handelt es sich um mobile Narkosegeräte mit Verdampfern für das Isofluran und Anschlüssen für Trägergase. Die Geräte sind mit Fixationsschalen ausgestattet, an deren Ende eine Atemmaske befestigt ist. Nach Fixierung des Ferkels in der Schale wird per Knopfdruck das Isofluran mit einer Konzentration von 5 Vol.-% eingeleitet. Der Ablauf einer festgelegten Anflutungszeit wird dem Anwender durch ein Lichtsignal vermittelt. Optimalerweise sind die Tiere am Ende der Anflutungszeit gut anästhesiert, und es kann mit der Kastration begonnen werden (Jäggin und Burren 2008, 2009). Im Jahr 2020 zertifizierte die Deutschen Landwirtschaftsgesellschaft e. V. (DLG 2021) verschiedene automatisierte Ferkelnarkose-Geräte als Grundlage für eine staatliche Förderung bei der Anschaffung der Geräte. Voraussetzung für die Zertifizierung waren eine Anflutungsdauer mit 5 Vol.-% Isofluran in Raumluft oder Sauerstoff über insgesamt mindestens 85 s, wobei nach 70 s die Geräte die Bereitschaft zur Kastration signalisieren. Allerdings kann den Prüfberichten entnommen werden, dass die gewünschte Isoflurankonzentration in den Atemmasken der Ferkel häufig unter den vorgegebenen 5 Vol.-% lagen, insbesondere bei Aktivierung mehrerer Stationen. Zudem dauerte es zum Teil bis zu 40 s, bis eine konstante Isoflurankonzentration erreicht wurde. Geräteabhängig zeigten dabei bis zu 15 % der Ferkel Abwehrbewegungen während der Kastration.

In der Schweiz wird nach einem Verbot der betäubungslosen Kastration im Jahr 2010 in erster Linie unter Verwendung automatisierter Ferkelnarkosegeräte kastriert. Hier erfolgt die Einleitungsphase bislang über

90 s mit 5 Vol.-% Isofluran, dabei wurden allerdings auch hier bei ca. 20 % der Ferkel eine unzureichende Anästhesie beschrieben (Enz et al. 2013). Andere Autoren (Burren und Jäggin 2008, Kupper und Springer 2008) fanden bei entsprechender Anflutungszeit einen Anteil von bis zu 92 % ausreichend narkotisierter Ferkel. Weitere Untersuchungen zeigten, dass bei einer Anflutungszeit von 5 Vol.-% Isofluran über 70 s eine ausreichende Narkosetiefe nur bei 66 bzw. 77 % der betäubten Ferkel erreicht wurde (Steigmann 2013, Schwennen et al. 2016).

Ziel der vorliegenden Studie war es, mittels nichtinvasivem Reiz eine Narkosegasanflutungszeit unter Verwendung von 5 Vol.-% Isofluran für unter acht Tage alte Ferkel festzulegen, die eine sichere Schmerz- und Bewusstseinsausschaltung gewährleistet, und im Anschluss die Effektivität dieser Zeiten unter der Beobachtung von Schmerzparametern bei männlichen Ferkeln während der Kastration zu überprüfen.

Material und Methoden

Das Tierversuchsvorhaben wurde gemäß § 8 Abs. 1 beim Niedersächsischen Landesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit beantragt und unter dem Aktenzeichen 33.19-42502-19/3071 genehmigt.

Versuchstiere

Für die Untersuchung wurden klinisch gesunde Saugferkel des Bundeshybridzuchtprogrammes aus einem Ferkelproduktionsbetrieb mit 60 Sauenplätzen genutzt. Die Haltung erfolgte in konventionellen Abferkelbuchten im Kastenstand (Buchtengröße: 4,5 m²). Die Ferkelnester waren mit Bodenheizung und Infrarot-Wärmestrahler ausgestattet. Bis zum dritten Lebenstag erhielten die Ferkel 200 mg Eisendextran per Injektion sowie eine Bestandsohrmarke.

Es wurden ausschließlich klinisch gesunde Ferkel in einem Lebensalter von bis zu sieben Tagen ausgewählt, Ferkel mit Inguinal- oder Skrotalhernie oder Kryptorchiden wurden aus der Studie ausgeschlossen. Die Ferkel wurden in sechs Gewichtsklassen (GK) eingeteilt (GK1: ≤ 1 kg; GK2: > 1 kg $\leq 1,5$ kg; GK3: $> 1,5$ kg ≤ 2 kg; GK4: > 2 kg $\leq 2,5$ kg; GK5: $> 2,5$ kg ≤ 3 kg; GK6: > 3 kg). Die Tiere wurden wurfweise in einer Plastikwanne in einen separaten Raum verbracht, gewogen und farblich mittels Viehzeichenstift markiert. Zum Schutz vor Auskühlung wurde über der Wanne eine Rotlichtlampe installiert. Die Tiere verblieben in der Plastikwanne, bis die Untersuchung aller Probanden des Wurfes abgeschlossen war, und die Tiere zurück zum Muttertier in die Abferkelbucht verbracht wurden.

Alle Ferkel wurden vor der Narkose mit EEG-Elektroden ausgestattet. Dafür wurden drei Nadelelektroden (Stahl, Klaus Schuler GmbH Medizintechnik, Freiburg, D) mit einer Größe von 13 x 0,4 mm subkutan auf dem Kopf der Ferkel platziert. Die beiden Messelektroden wurden auf jeder Seite circa 0,5 cm lateral der Medianen im Bereich des kaudalen Jochbogenrandes und in Höhe des rostralen Ohrmuschelansatzes und die Referenzelektrode medial im Bereich des Os occipitale angelegt (nach Waldmann et al. 1994). Um einen besseren Halt während der Untersuchung zu gewährleisten, wurden die Elektroden zusätzlich mit Klebeband fixiert. Mit dem Narcotrend® Multiparameter-EEG-Monitor (MT Monitor Technik GmbH & Co, KG, Bad Bramstedt, D,

Baujahr 2015) wurden die Ableitungen verarbeitet und aufgezeichnet.

Während der Narkosegasanflutung wurde auf Höhe des Karpalgelenkes ein Pulsoxymeter (Mehrzwecksensor Nellcor® DURA-Y™ Drägerwerk AG & Co. KGaA, Lübeck, D) zur Bestimmung der Pulsfrequenz mithilfe eines Klettbandes befestigt.

Für Teil 1 waren maximal 480 Tiere vorgesehen. In jeder der sechs Gewichtsklassen standen je 40 Tiere pro Narkosegasgemisch (Isofluran/Sauerstoff und Isofluran/Raumluft) zur Verfügung, die wiederum in fünf Untergruppen à acht Tiere unterteilt wurden. Anhand der Untergruppen konnten bis zu fünf verschiedene Narkosegasanflutungszeiten (105 s, 100 s, 95 s, 90 s, 85 s) untersucht werden.

Für Teil 2 befanden sich in jeder Gewichtsklasse je 22 Tiere pro Narkosegasgemisch, die mit den aus Teil 1 ermittelten, optimalen Anflutungszeiten narkotisiert wurden. Eine zweimalige Erhöhung der Anflutungszeit mit erneut 22 Tieren war im Rahmen des Versuchs möglich, sodass maximal 66 Tiere pro Gewichtsklasse und Narkosegasgemisch und insgesamt maximal 792 Tiere nach Tierversuchsgenehmigung untersucht werden konnten. Da gesunde Tiere mit einem Körpergewicht von ≤ 1 kg nur in eingeschränktem Rahmen zur Verfügung standen, wurden in Teil 2 der Studie nach zweimaliger Erhöhung der Narkosegasanflutungsdauer lediglich jeweils zehn Tiere unter Isofluran-Sauerstoff- und die Isofluran-Raumluftnarkose kastriert.

Sämtliche Ferkel aus Teil 2 der Studie erhielten 30 min vor der Kastration Meloxicam (0,4 mg/kg KGW, Metacam 5 mg/ml® Boehringer Ingelheim, Ingelheim, D).

Durchführung der Isoflurannarkose

Für die Allgemeinnarkose wurden sämtliche Ferkel in Rückenlage in einen Fixateur verbracht. Die Narkosegaszufuhr erfolgte über eine Narkosegasmaske aus der Kleintiermedizin (Narkosemaske Größe 3, MarMed GmbH, Cölbe, D) mittels eines Anästhesiegerätes (FabiusPlus XL®, Drägerwerk AG & Co. KGaA, Lübeck, D) mit Isofluran-Präzisionsverdampfer (Dräger Vapor® 2000, Drägerwerk AG & Co. KGaA, Lübeck, D). Die Tiere atmeten spontan am halboffenen Bain-System. Die Masken wurden über Rüssel und Maulspalte der Ferkel geschoben und dort von einer Hilfsperson während der Untersuchung derart fixiert, dass der Abschlussring der Maske kaudal der Maulspalte dem Kopf anlag. Die eine Hälfte aller Probanden erhielt Sauerstoff (O₂), die andere komprimierte Raumluft (RL) als Trägergas bei einer Flussrate von 2 l/min. Die Anflutung erfolgte mit 5 Vol.-% Isofluran (Isofluran Baxter® vet 1.000 mg/g, Baxter Deutschland GmbH, Unterschleißheim, D). Die Isoflurankonzentration wurde über eine Gasmessbank mittels Infrarotspektroskopie (Scio Four oxi plus, Drägerwerk AG & Co. KGaA, Lübeck, D) gemessen und über den Überwachungsmonitors (Infinity® Delta Monitor, Drägerwerk AG & Co. KGaA, Lübeck, D) kontrolliert. Mithilfe einer künstlichen Lunge wurde die Isoflurankonzentration von 5 Vol.-% durch manuelles Pumpen bis zum HME-Filter (12 mm Totraum, 15 mm Durchmesser, MarMed GmbH, Cölbe, D), an dem die Messsonde befestigt war, aufgebaut und erst dann ein Ferkel an das Anästhesiegerät angeschlossen. Nach Ablauf der Anflutungszeit wurde die Isofluranzufuhr gestoppt. Die Frischgaszufuhr blieb während der gesamten Untersuchungszeit bei unveränderter Flussrate bestehen.

Versuchsablauf

In Teil 1 der Studie wurde in jeder Gewichtsklasse bei einer Gruppe von acht Ferkeln mit der höchsten geplanten Narkosegasanflutungsdauer von 105 s begonnen. Zeigte sich keinerlei Reaktion auf die gesetzten, nicht invasiven Reize bei allen acht Tieren innerhalb der ersten 2 min nach Beendigung der Anflutung, so wurde die Anflutungszeit für die nächste Versuchsgruppe aus acht Ferkeln um 5 s verkürzt und die Betäubung wiederum mittels Setzen der Reize überprüft. Dieses Vorgehen wurde so lange wiederholt (bis minimal zu einer Anflutungsdauer von 85 s), bis ein Tier eine Schmerzreaktion zeigte. In diesem Fall wurde die Narkosetiefe als unzureichend beurteilt. Weitere Ferkel der Gewichtsklasse wurden weder bei der entsprechenden noch bei niedrigerer Anflutungsdauer untersucht, da diese und kürzere Anflutungszeiten in der Konsequenz als ungeeignet eingestuft wurden. Bei Zeichen einer Überdosierung (EEG-Nulllinie bzw. Narcotrend®-Stadium F, Atemstillstand) wurde die entsprechende Anflutungszeit als zu lang kategorisiert. In diesem Fall wurde ebenfalls die Untersuchung der Gruppe aus der jeweiligen Gewichtsklasse abgebrochen und mit der nächsten Gruppe, bestehend aus acht Ferkeln, mit einer um 5 s verkürzten Anflutungsdauer fortgefahren, bis eine für die jeweilige Gewichtsklasse optimale Anflutungsdauer festgelegt war.

In Teil 2 wurden die in Teil 1 ermittelten effektiven Anflutungszeiten des jeweiligen Narkosegasgemisches für die Gewichtsklasse auf ihre Eignung für die Durchführung einer schmerzfreien Kastration überprüft. Dafür wurden 22 Tiere pro Gewichtsklasse und Narkosegasgemisch nacheinander narkotisiert und kastriert. Zeigte ein Ferkel bei der Kastration eine Schmerzreaktion, so galt die angewandte Anflutungszeit als ungenügend für den chirurgischen Eingriff. In diesem Fall wurde die Untersuchung für die entsprechende Gruppe in der Gewichtsklasse abgebrochen und eine neue Gruppe von 22 Ferkeln mit der nächsthöheren Anflutungszeit (plus 5 s) narkotisiert. Im Fall einer erneuten Reaktion wurde ein weiteres Mal die Anflutungszeit um 5 s erhöht und die entsprechende Untersuchung an 22 Ferkeln durchgeführt. Traten auch hier wieder schmerzinduzierte Reaktionen auf, erfolgte keine weitere Erhöhung der Anflutungszeit, sondern alle 22 Tiere der Gruppe wurden unter Verwendung der Narkosegasanflutungszeit kastriert, und der Anteil an Ferkeln, der trotz zweimaliger Erhöhung der Anflutungszeit immer noch Schmerzreaktionen zeigte, wurde dokumentiert. Ebenso wurde der Anteil an Versuchstieren protokolliert, der Anzeichen einer Überdosierung (EEG-Nulllinie bzw. Narcotrend®-Stadium F, Atemstillstand) zeigte.

Setzen des Schmerzreizes, Kastration

Zum Setzen der Schmerzreize in Teil 1 der Untersuchung wurde eine Arterienklemme mit einheitlicher Arretierung verwendet, die zum Schutz vor Hautverletzungen mit einem Silikonüberzug versehen wurde. Nach Beendigung der Narkosegasanflutung wurden im Abstand von 30 s über einen Zeitraum von 3 min insgesamt sechs Reize (Zeitpunkte R1–R6) durch Kneifen in die Haut am Schwanzansatz und des Zwischenklauenspalts eines Hinterbeines zur Überprüfung des Flexorreflexes gesetzt. Nach der ersten Reaktion erfolgte der Abbruch der Untersuchung bei dem Tier.

In Teil 2 wurde das Erreichen des wahrnehmungs- und empfindungslosen Zustandes direkt nach der Narkosegasanflutung durch einmaliges Kneifen in die Hautfalte des Zwischenklauenspalts des linken Hinterbeins mithilfe der Arterienklemme überprüft. Danach wurde die Skrotalhaut mit PVP-Jod-Lösung desinfiziert. Es erfolgte die Fixierung der Hoden im Skrotum mit Daumen, Zeigefinger und Mittelfinger und die Durchtrennung der Haut und des Processus vaginalis durch zwei parallele Schnitte mit einem chirurgischen Einmalskalpell. Beide Hoden wurden vorgelagert und gemeinsam mit einem Emaskulator abgesetzt, der nach ca. 10–15 s vom Samenstrang gelöst wurde. Die Arbeitsschritte (Überprüfung der Narkosewirkung, Hautschnitte, Vorlagern der Hoden, Durchtrennung der Samenstränge) erfolgten in Abständen von 15 s über einen Zeitraum von 1 min (Zeitabschnitte K0, K1, K2, K3), um eine Zuordnung der erhobenen Schmerzparameter zu ermöglichen.

Das Setzen der Schmerzreize sowie die Kastration wurden immer von derselben Person durchgeführt. Diese Person bewertete auch die schmerzinduzierten Reaktionen. Eine zweite Person fixierte die Tiere in dem Fixateur und platzierte die Narkosemaske. Dabei achtete diese Person auf die Regelmäßigkeit der Atmung.

Bewertung schmerzinduzierter Reaktionen

Verhaltensparameter

Bei allen Ferkeln erfolgte eine Analgesiekontrolle durch Beobachtung des schmerzspezifischen Abwehrverhaltens einschließlich Lautäußerungen mittels Scoring-Systems (Tab. 1). In Teil 1 der Studie wurde die Reaktionen auf nichtinvasive Schmerzreize und in Teil 2 die Reaktionen auf die Kastration erfasst und bewertet. Bei einem Gesamtscore von ≥ 1 wurde die Narkose als nicht ausreichend angesehen, wobei in Teil 1 nur die ersten 2 min für die Narkosebewertung berücksichtigt wurden.

Pulsfrequenz

Die Pulsfrequenz wurde gegen Ende der Anflutung (Zeitpunkt R0 bzw. K0) sowie direkt nach Setzen der jeweiligen Schmerzreize (Teil 1: Zeitpunkte R1–R6; Teil 2: Zeitabschnitte K1–K3) erfasst. Bei einer Pulsfrequenzsteigerung von über 10 % vom Ausgangswert wurde die Anästhesietiefe als nicht ausreichend angesehen. Falls vom Pulsoxymeter aus technischen Gründen nicht über den gesamten Untersuchungszeitraum eine Pulsfrequenz angezeigt wurde, wurde der jeweils erste angezeigte Wert mit dem zuletzt angezeigten Wert verglichen. Da die Frequenzanzeige auf 250 Schläge/min nach oben begrenzt war, wurde bei Tieren, die diesen

TAB. 1: Bewertungsscore für Abwehrbewegungen und Lautäußerungen (nach Hoppe 2011)

Score	Abwehrbewegungen	Score	Lautäußerung
0	Keine Bewegung	0	Keine Lautäußerung
1	Leichte Bewegung = langsames Anziehen eines oder beider Hinterbeine	1	Leichtes Grunzen
2	Mäßige Bewegung = ruckartiges Anziehen eines oder beider Hinterbeine	2	Moderates Schreien
3	Ständige Bewegung = mehrfaches Anziehen und Strecken der Hinterbeine und Bewegungen des gesamten Körpers	3	Lautes Schreien

Wert überschritten, eine Pulsfrequenz von 251 Schlägen/min protokolliert.

EEG-Stadien

Die Auswertung der Anästhesietiefe erfolgte mittels EEG-Score (Tab. 2), der sich an der Klassifikation der Narcotrend®-Stadien nach Kreuer et al. (2004) orientiert. Eine Narkose wurde als ausreichend beurteilt, wenn Score 3 oder Score 4 erreicht wurden. Bei einem Score von 1 oder 2 wurde die Narkose als nicht ausreichend angesehen. Bei einem Score von 5 wurde das betroffene Ferkel aus der Fixation genommen und ggf. reanimiert. Falls das Gerät keine Klassifikation, also kein Narcotrend®-Stadium und -Index anzeigte, wurde kein Score vergeben. Der Anästhesiegrad wurde in Teil 1 jeweils zu den Zeitpunkten R1–R4 bewertet, in Teil 2 zu den Zeitabschnitten Kastration (K) 1–3. Stimmt klinische Beobachtungen der Narkosetiefe nicht mit der Klassifikation des EEG-Gerätes überein, wurde die Narkosebewertung durch den EEG-Score in diesen Fällen nicht berücksichtigt.

Aufwachzeit

In beiden Teilen der Studie wurde nach Setzen des letzten Reizes (Teil 1: R6, Teil 2: K3) das jeweilige Ferkel aus dem Fixateur genommen, das Pulsoxymeter und die EEG-Elektroden entfernt, und das Tier in eine Plastikwanne gesetzt. Die Dauer vom Beenden der Narkosegasanflutung bis zum Zeitpunkt des Erreichens der Steh- und Gehfähigkeit wurde protokolliert. Im Anschluss wurden die Ferkel wieder zum Muttertier in die Abferkelbucht verbracht.

Narkosezwischenfälle

Narkosezwischenfälle (hier: Apnoe) wurden protokolliert. Als Atemaussetzer wurde eine Unterbrechung des Atemrhythmus ab 10 s definiert. Bei betroffenen Ferkeln wurde reiner Sauerstoff zugeführt und die Atmung durch Kompression des Brustkorbs stimuliert.

Statistik

Die statistische Auswertung der Daten erfolgte mit den Programmen SAS Enterprise Guide 7.1 (SAS Institute Inc., Cary, USA) und Microsoft Excel 2016 (Microsoft Corporation, Redmond, USA). Die Daten wurden im Vorfeld mittels Shapiro-Wilk-Test und visuell auf Normalverteilung überprüft. Bei normal verteilten Zielmerkmalen wurde für verbundene Stichproben der t-Test für gepaarte Beobachtungen und für den multiplen Mittelwertvergleich der globale F-Test durchgeführt und auf Signifikanz geprüft. Im weiteren Verfahren wurde für die multiplen paarweisen Vergleiche der Gruppen untereinander im Rahmen einer einfaktoriellen Varianzanalyse der Fisher's least significant difference-Test

(LSD-Test) mit vergleichsbezogener Irrtumswahrscheinlichkeit durchgeführt. Bei nicht normal verteilten Daten erfolgte die Auswertung verbundener Stichproben durch den Wilcoxon's signed rank Test und die multiplen Mittelwertvergleiche durch Anwendung des Kruskal-Wallis-Test zur Signifikanzbestimmung und ggf. nachfolgendem Wilcoxon's Two-Sample Test für die paarweisen Gruppenvergleiche. War nur ein Teil der zu vergleichenden Daten normal verteilt, wurde von allgemein nicht normal verteilten Daten ausgegangen, sodass für die weitere Auswertung auf die parameterfreien rangkorrelierten Tests zugegriffen wurde.

Zur Überprüfung eines Zusammenhangs zwischen den Anflutungszeiten und den Nachschlafauern wurde eine Korrelation nach Pearson durchgeführt und der Pearson'sche Korrelationskoeffizient berechnet. Zum Vergleich der Ergebnisse aus Teil 2 hinsichtlich der Effektivität der verwendeten Trärgase, erfolgte eine mehrfaktorielle Varianzanalyse mit multiplen Mittelwertvergleich nach t-Test. Durch Betrachtung des F-Werts wurde die Signifikanzbestimmung hinsichtlich der Klassifizierungsvariablen Trärgase und Schmerzreaktionen vorgenommen. Zum Vergleich der Anzahl der Reagenten (Merkmal: positiv) und der Anzahl der Nicht-Reagenten (Merkmal: negativ) der sechs Gewichtsklassen innerhalb der Trärgas-Gruppen Sauerstoff und Raumluft sowie zum paarweisen Vergleich der Klassen untereinander wurde der Pearson Chi-Quadrat-Homogenitätstest durchgeführt. Als Signifikanzniveau diente $p \leq 0,05$.

Ergebnisse

Teil 1 der Studie

Narkosezwischenfälle

In Teil 1 der Studie gingen insgesamt 257 Ferkel beiderlei Geschlechts (im Mittel 4,6 Tage alt) ein (53,5 % der genehmigten Tierzahl). Bei drei Ferkeln wurden Narkosezwischenfälle in Form von Apnoen unter Isofluran-Raumluft-Narkose beobachtet, die zum Abbruch des Versuchsabschnitts und einer Verkürzung der Narkosegasanflutungsdauer um 5 s für die betroffene Gewichtsklasse (GK) führte. Betroffen waren zwei Tiere der GK1: Nach einer Narkosegasanflutungszeit von 105 s zeigte das fünfte und nach 100 s das vierte Tier Apnoe, in der GK4 trat ein entsprechender Zwischenfall beim fünften Ferkel der Gruppe nach einer Anflutungsdauer von 105 s auf. Bei allen Tieren setzte die Spontanatmung nach Sauerstoffzufuhr und Brustkorbkompressionen ein. Die Tiere zeigten im Folgenden keinerlei gesundheitliche Beeinträchtigungen.

Abwehrbewegungen und Lautäußerungen

Abwehrreaktionen unterschiedlicher Ausprägungen (Score 1 und Score 2) zeigten sich in Abhängigkeit vom Gewicht der Ferkel nach unterschiedlichen Narkosegasanflutungszeiten (Tab. 3), wobei die Reaktionen bei beiden Trärgasen bei vergleichbaren Anflutungszeiten auftraten und so einen ähnlichen Bedarf an der Dauer der Narkosegaszufuhr vermuten ließen. Unterschiedliche Festlegungen der effektiven Anflutungszeiten für Teil 2 der Studie erfolgten bei GK2 und GK3, wobei bei GK2 das letzte der acht untersuchten Ferkel, das unter Verwendung von Raumluft (Anflutung: 90 s) anästhesiert wurde, bei R4 Abwehrreaktionen zeigte, wodurch die Anflutungszeit auf 95 s festgelegt wurde, während

TAB. 2: Bewertungsscore für die Narkosetiefe mittels EEG-Messung

Score	Anästhesiegrad	Narcotrend®-Stadium	Narcotrend®-Index
1	Wachheit/Sedierung	A–B2	100–80
2	Oberflächliche Anästhesie	C0–C2	79–65
3	Allgemeinanästhesie	D0–D2	64–37
4	Allgemeinanästhesie mit tiefer Hypnose	E0–E2	36–13
5	Burst-Suppression bis Nulllinie	F0–F1	13–0

TAB. 3: Darstellung der Anzahl der Tiere mit Abwehrreaktionen (Reagenten/Anzahl untersuchter Tiere) sowie der Ausprägung der Reaktion (Bewegungsscore in Klammern) bei unterschiedlichen Narkosegasanflutungszeiten (ANF) zu den Zeitpunkten der Reizsetzung (R) unter Verwendung einer Isofluran-Sauerstoff-Narkose bzw. Isofluran-Raumluft-Narkose für die unterschiedlichen Gewichtsklassen (Versuchsteil 1)

ANFL	Reiz (R)	Anzahl der Reagenten/Anzahl der untersuchten Tiere (Bewegungsscore)											
		Isofluran/Sauerstoff						Isofluran/Raumluft					
		GK1	GK2	GK3	GK4	GK5	GK6	GK1	GK2	GK3	GK4	GK5	GK6
105 s	1	0/8	0/8	0/8	0/8	0/8	0/8	0/4	0/8	0/8	0/4	0/8	0/8
	2	0/8	0/8	0/8	0/8	0/8	0/8	0/4	0/8	0/8	0/4	0/8	0/8
	3	0/8	0/8	0/8	0/8	0/8	0/8	0/4	0/8	0/8	0/4	0/8	0/8
	4	0/8	0/8	0/8	0/8	0/8	0/1	0/4	0/8	0/8	0/4	0/8	0/8
100 s	1	0/8	0/8	0/8	0/8	0/4	0/1	0/3	0/8	0/8	0/8	0/2	0/1
	2	0/8	0/8	0/8	0/8	0/4	0/1	0/3	0/8	0/8	0/8	0/2	0/1
	3	0/8	0/8	0/8	0/8	0/4	0/1	0/3	0/8	0/8	0/8	0/2	0/1
	4	0/8	0/8	0/8	0/8	1/4 (1)	1/1 (1)	0/3	0/8	0/8	0/8	1/2 (2)	1/1 (2)
95 s	1	0/8	0/8	0/4	0/6	-	-	0/8	0/8	0/8	0/3	-	-
	2	0/8	0/8	0/4	0/6	-	-	0/8	0/8	0/8	0/3	-	-
	3	0/8	0/8	1/4 (1)	1/6 (2)	-	-	0/8	0/8	0/8	0/3	-	-
	4	0/8	0/8	0/3	0/5	-	-	0/8	0/8	0/8	1/3 (2)	-	-
90 s	1	0/8	0/8	-	-	-	-	0/8	0/8	1/8 (1)	-	-	-
	2	0/8	0/8	-	-	-	-	0/8	0/8	0/7	-	-	-
	3	0/8	0/8	-	-	-	-	0/8	0/8	0/7	-	-	-
	4	0/8	0/8	-	-	-	-	0/8	1/8 (2)	0/7	-	-	-
85 s	1	0/1	0/4	-	-	-	-	0/1	-	-	-	-	-
	2	0/1	0/4	-	-	-	-	0/1	-	-	-	-	-
	3	1/1 (1)	0/4	-	-	-	-	1/1 (2)	-	-	-	-	-
	4	-	1/4 (2)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

unter Verwendung von Sauerstoff bei einer Anflutungsdauer von 85 s das vierte Tier bei R4 reagierte. Ähnlich verhielt es sich bei der dritten Gewichtsklasse, hier reagierte unter Isofluran-Sauerstoffnarkose das vierte Ferkel nach einer Anflutungszeit von 95 s, während beim Einsatz von Raumluft erst das achte Ferkel nach 90 s Anflutung bei R1 reagierte. Lautäußerungen fanden innerhalb der ersten 2 min nach der Narkosegasanflutung nicht statt.

Die Untersuchung der Abwehrreaktionen in der dritten Minute (nicht dargestellt) zeigt in fast allen Gruppen bereits Abwehrreaktionen bei einer Anflutungsdauer von 105 s. Eine Ausnahme bildeten die Tiere unter 1 kg Körpergewicht (GK1), hier traten die ersten Reaktionen bei der Verwendung von Sauerstoff als Trägergas nach einer Anflutung von 100 s bei R6 auf, während unter Isofluran-Raumluftnarkose der erste Reagent bei einer Anflutung von 90 s (R5) beobachtet wurde.

Pulsfrequenz

Aufgrund von Abwehrbewegungen und Verrutschen des Sensors konnten lediglich bei 235 Tieren (91,4 %) ein Anfangs- (R0) und Endwert (R6) abgelesen werden. Zudem war die Anfangspulsfrequenz bei 45 Tieren über 250 Schläge/min und konnte aufgrund der Begrenzung der Pulsfrequenzanzeige des Pulsoxymeters nicht näher bestimmt werden. Daher erfolgt an dieser Stelle keine detaillierte Darstellung der Werte. In allen Gewichtsklassen wurde eine Abnahme der mittleren Pulsfrequenz zwischen dem Ausgangswert (R0) und dem Endwert (R6) beobachtet. Eine Pulserhöhung von > 10 % war lediglich bei einem Tier der GK3 bei einer Anflutungsdauer von 90 s unter Verwendung von Raumluft festzustellen, gleichzeitig zeigte das Tier Abwehrreaktionen (Score 1).

EEG

Nicht immer wurden die Narcotrend®-EEG-Indices zum Zeitpunkt der Reizsetzung angezeigt. Grundsätzlich

lagen sie vorwiegend in den Bereichen der Stadien D (Allgemeinanästhesie) und E (tiefe Allgemeinanästhesie), wobei in den Gewichtsklassen keine Unterschiede auftraten. Fasst man die Gewichtsklassen zusammen und vergleicht die Indices zu den Zeitpunkten R1 und R4 bei den unterschiedlichen Anflutungszeiten, ergaben sich unabhängig vom eingesetzten Trägergas ebenfalls keine Unterschiede zwischen den Zeitpunkten (Abb. 1 und 2), das heißt längere Anflutungszeiten führten nicht grundsätzlich zu einer niedrigerem Narcotrend®-Index und damit zu einer tieferen Narkose. Allerdings konnte festgestellt werden, dass im Stadium E statistisch signifikant weniger Abwehrreaktionen auftraten als im Stadium D (p = 0,000).

Nachschlafdauer

Die Nachschlafdauer der Ferkel betrug über alle Gewichtsklassen und Anflutungszeiten im Mittel 3,5–8,4 min. Innerhalb der Gewichtsklassen führten längere Anflutungszeiten nicht regelmäßig zu längeren Nachschlafdauern. Zwischen der Dauer der Anflutungszeit und der Nachschlafdauer ergab sich statistisch kein linearer Zusammenhang (Korrelationskoeffizient 0.0095).

Festlegung der Narkosegasanflutungszeiten für Teil 2 der Studie

Die für die Überprüfung der Effektivität der in Teil 1 ermittelten Narkosegasanflutungszeiten in den sechs Gewichtsklassen sind in Tabelle 4 dargestellt.

Teil 2 der Studie

Narkosezwischenfälle

In Teil 2 der Studie gingen insgesamt 375 männliche Ferkel (mittleres Lebensalter: 5,0 Tage; 47,3 % der genehmigten Tierzahl) ein. Bei sechs Tieren wurden unter Verwendung von Raumluft als Trägergas Narkosezwischenfälle beobachtet, die Tiere zeigten Apnoe. Ein Tier der GK3 zeigte nach 100 s, zwei Tiere der GK5 nach 115 s sowie drei Tiere der GK6 nach 115 s eine Apnoe

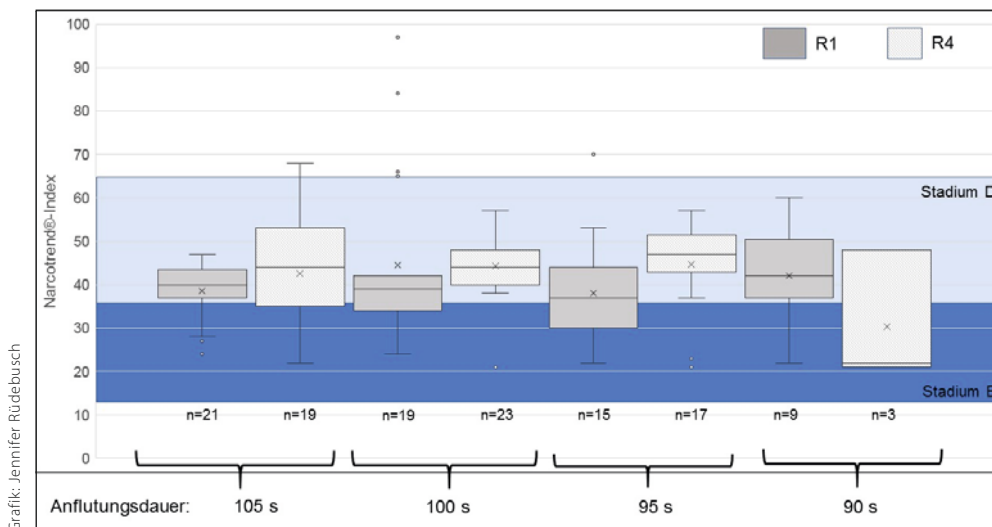


ABB. 1: Narcotrend®-Index zum Zeitpunkt des Setzens der nicht-invasiven Reize (R1 und R4) bei verschiedenen Anflutungszeiten von 5 Vol.-% Isofluran unter Verwendung von Sauerstoff als Trägergas (Versuchsteil 1).

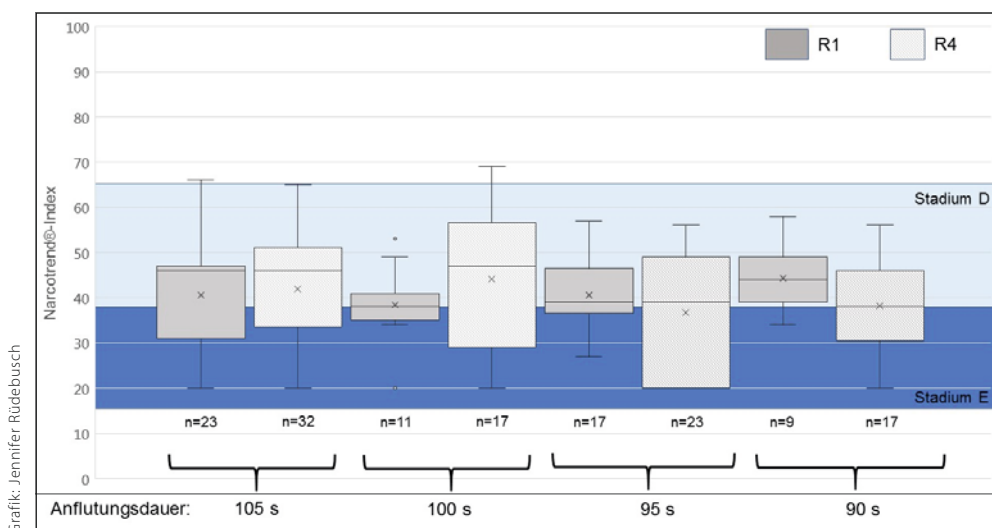


ABB. 2: Narcotrend®-Index zum Zeitpunkt des Setzens der nicht-invasiven Reize (R1 und R4) bei verschiedenen Anflutungszeiten von 5 Vol.-% Isofluran unter Verwendung von Raumluft als Trägergas (Versuchsteil 1).

(Tab. 7). Die Tiere überlebten den Narkosezwischenfall und zeigten im Anschluss keinerlei gesundheitliche Beeinträchtigungen. Beim Einsatz von Sauerstoff als Trägergas traten keine Zwischenfälle auf.

Abwehrbewegungen und Lautäußerungen

Die Überprüfung der Narkosetiefe mittels Zwischenklauenreflexes nach Beendigung der Narkosegasanflutung verlief in sämtlichen Fällen negativ. Jedoch mussten unabhängig vom verwendeten Trägergas in sämtlichen Gewichtsklassen aufgrund von Abwehrbewegungen während der Kastration die Narkosegasanflutungszeit zweimal um 5 s erhöht werden. Trotz dieser Verlängerung der Anflutungszeit wurden bei 27,5 % der Ferkel unter Isofluran-Sauerstoff- (Tab. 5) und bei 14,2 % unter Isofluran-Raumluft-Narkose (Tab. 6) Abwehrreaktionen beobachtet. In den Tabellen 6 und 7 erfolgte eine zusätzliche Unterteilung der zugeordneten Bewegungsscores: Zum einen werden sämtliche Abwehrbewegungen (Score 1–3) zusammengefasst, zum anderen solche Reaktionen die mit einem Score ≥ 2 erfasst wurden. Es ist deutlich zu erkennen, dass trotz der Verlängerung der Anflutungsdauer bei beiden Narkosegasgemischen weiterhin zum Teil ausgeprägte Reaktionen auf den Schmerzreiz bei der Kastration zu beobachten waren. Falls ein Tier zu mehreren Zeitabschnitten der Untersuchung Abwehrreaktionen zeigte,

wurde dies bei der Beurteilung als lediglich eine Reaktion gewertet. Bei unterschiedlicher Bewegungsintensität wurde der jeweils höchste erreichte Score berücksichtigt. Dabei traten lediglich unter Verwendung von Sauerstoff Abwehrreaktionen auf, die mit dem höchsten Score (Score 3) in GK2 und GK3 beurteilt wurden, Score 3 wurde unter der Verwendung von Raumluft bei der Kastration nicht vergeben (Abb. 3). Die statistische Analyse ergab, dass gemittelt über die 22 Tiere der sechs Gewichtsklassen bei der jeweils höchsten Anflutungsdauer unter Verwendung von Sauerstoff als Trägergas signifikant mehr Abwehrreaktionen auftraten als bei der Verwendung von Raumluft ($p = 0,0090$). Zwi-

TAB. 4: Ermittelte effektive Anflutungszeit für die Isofluran-Sauerstoff-Narkose sowie Isofluran-Raumluft-Narkose für die jeweiligen Gewichtsklassen mittels nichtinvasivem Schmerzreiz (Versuchsteil 1)

Gewichtsklasse (GK)	Anflutungszeit der Narkosegasgemische (in s)	
	Isofluran/Sauerstoff	Isofluran-Raumluft
1 (≤ 1 kg)	90	90
2 (> 1 kg $\leq 1,5$ kg)	90	95
3 (1,5 kg ≤ 2 kg)	100	95
4 (> 2 kg $\leq 2,5$ kg)	100	100
5 (2,5 kg ≤ 3 kg)	105	105
6 (> 3 kg)	105	105

schen den einzelnen Gewichtsklassen konnte kein statistisch signifikanter Unterschied bezüglich der Anzahl der Reagenten aufgrund der verwendeten Trägergase festgestellt werden.

Mit Berücksichtigung aller im Rahmen der Untersuchung kastrierten Ferkel zeigten die meisten Tiere (45,8 %) Abwehrbewegungen zum Zeitpunkt der Samenstrangdurchtrennung (K3), gefolgt von dem Anteil der Tiere mit Reaktionen während des Vorlagerns der Hoden (K2) (30,1 %) und während der Hautschnitte (K1) (24,1 %).

Lautäußerungen wurden lediglich in fünf Fällen im Zusammenhang mit Abwehrbewegungen beobachtet, ohne zeitgleiche Abwehrbewegungen der Ferkel traten keine Lautäußerungen auf.

Pulsfrequenz

Auch in diesem Teil der Untersuchung konnte die Pulsfrequenz nicht regelmäßig abgelesen werden. Anfangs- (K0) und Endwerte (K6) lagen bei insgesamt 85,8 % (n = 322) der Tiere vor. Die Anfangspulsfrequenz konnte bei 59 Tieren aufgrund der Anzeigenbegrenzung des Pulsoxyme-

ters bei 250 Schläge/min nicht näher bestimmt werden. Daher erfolgt auch hier keine detaillierte Darstellung der Werte. Die Pulsfrequenz sank entsprechend der Beobachtungen in Teil 1 der Studie bei fast allen Tieren. In vier Fällen konnte eine Pulserhöhung von > 10,0 % festgestellt werden. Die Tiere gehörten zu GK5 und GK6 erhielten eine Isofluran-Sauerstoffnarkose. Die Anflutungszeiten lagen in drei Fällen bei 115 s, in einem Fall bei 105 s. Bei allen Tieren ging die Pulserhöhung mit einer deutlichen schmerzinduzierten Abwehrbewegung einher.

EEG

Auch in Teil 2 der Untersuchung traten Störungen bei der Anzeige des Narcotrend®-Monitors auf, sodass die Indices zu den gewählten Zeitpunkten der Kastration nicht immer protokolliert werden konnten. Grundsätzlich befanden sich die meisten Tiere in den Stadien D (Narcotrend®-Index: 37–64) oder E (Narcotrend®-Index: 13–36). Auch hier führten längere Anflutungszeiten zwangsläufig nicht zu niedrigeren Index-Werten. Im Mittel lag während des Zeitpunkts K1 der Index bei einer Anflutungszeit von 95 s unter Verwendung von

TAB. 5: Untersuchte Anflutungszeiten des Isofluran-Sauerstoff-Gemisches für die jeweiligen Gewichtsklassen auf Schmerzausschaltung während der Kastration sowie Anzahl der Abwehr- und Lautreaktionen und Apnoen bei der jeweiligen höchsten Anflutungsdauer (Versuchsteil 2)

Gewichtsklasse	Anflutungszeit (in s)	Ferkel mit Reaktionen während der Kastration bei der jeweiligen höchsten Anflutungsdauer				
		Anzahl Score 1–3	Anteil (in %) Score 1–3	Anzahl Score ≥ 2	Anteil (in %) Score ≥ 2	Anzahl (Anteil in %) Apnoe
1 (< 1 kg)	90 → 95 → 100	3/10	30,0	1/10	10,0	0
2 (1–1,5 kg)	90 → 95 → 100	4/22	18,2	2/22	9,1	0
3 (1,5–2 kg)	100 → 105 → 110	8/22	36,4	4/22	18,2	0
4 (2–2,5 kg)	100 → 105 → 110	7/22	31,8	3/22	13,6	0
5 (2,5–3 kg)	105 → 110 → 115	4/22	18,2	2/22	9,1	0
6 (> 3 kg)	105 → 110 → 115	7/22	31,8	4/22	18,2	0
Gesamt		33/120	27,5	16/120	13,3	0

TAB. 6: Untersuchte Anflutungszeiten des Isofluran-Raumluft-Gemisches für die jeweiligen Gewichtsklassen auf Schmerzausschaltung während der Kastration sowie Anzahl der Abwehr- und Lautreaktionen und Apnoen bei der jeweiligen höchsten Anflutungsdauer (Versuchsteil 2)

Gewichtsklasse	Anflutungszeit (in s)	Ferkel mit Reaktionen während der Kastration bei der jeweiligen höchsten Anflutungsdauer				
		Anzahl Score 1–3	Anteil (in %) Score 1–3	Anzahl Score ≥ 2	Anteil (in %) Score ≥ 2	Anzahl (Anteil in %) Apnoe
1 (< 1 kg)	90 → 95 → 100	2/10	20,0	0/10	0,0	0
2 (1–1,5 kg)	95 → 100 → 105	3/22	13,6	2/22	9,1	0
3 (1,5–2 kg)	95 → 100 → 105	4/22	18,2	2/22	9,1	0
4 (2–2,5 kg)	100 → 105 → 110	3/22	13,6	2/22	9,1	0
5 (2,5–3 kg)	105 → 110 → 115	3/22	13,6	1/22	4,5	2 (9,1 %)
6 (> 3 kg)	105 → 110 → 115	2/22	9,1	0/22	0,0	3 (13,6 %)
Gesamt		17/120	14,2	7/120	5,8	5 (3,8 %)

TAB. 7: Nachschlafdauer (Mittelwert [MW] in min) mit Standardabweichungen (STD), Minimal- (MIN) und Maximalwerten (MAX) bei der verwendeten maximalen Anflutungszeit unter Verwendung einer Isofluran-Sauerstoff-Narkose bzw. Isofluran-Raumluft-Narkose für die Gewichtsklassen (Versuchsteil 2)

Gewichtsklasse	Anflutungsdauer (s)	5 Vol.-% Isofluran in Sauerstoff				5 Vol.-% Isofluran in Raumluft			
		Anzahl der Tiere	Nachschlafdauer (min)			Anzahl der Tiere	Nachschlafdauer (min)		
			MW ± STD	MIN	MAX		MW ± STD	MIN	MAX
GK1	100	10	6,3 ± 0,9	4,8	7,9	10	6,4 ± 0,8	5,3	7,8
GK2	100	22	4,1 ± 0,6	3,0	5,0	22	5,5 ± 0,9	3,8	7,3
GK3	105	–	–	–	–	22	4,9 ± 0,8	3,5	6,3
	110	22	3,8 ± 0,6	2,8	5,0	–	–	–	–
GK4	105	–	–	–	–	22	4,2 ± 0,6	3,0	5,5
	110	22	3,6 ± 0,6	2,8	5,3	–	–	–	–
GK5	115	22	3,7 ± 0,6	2,8	5,3	22	3,7 ± 0,4	4,0	4,5
GK6	115	22	3,7 ± 0,5	2,8	4,8	22	3,8 ± 0,5	3,3	5,0

Grafik: Jennifer Rudebusch

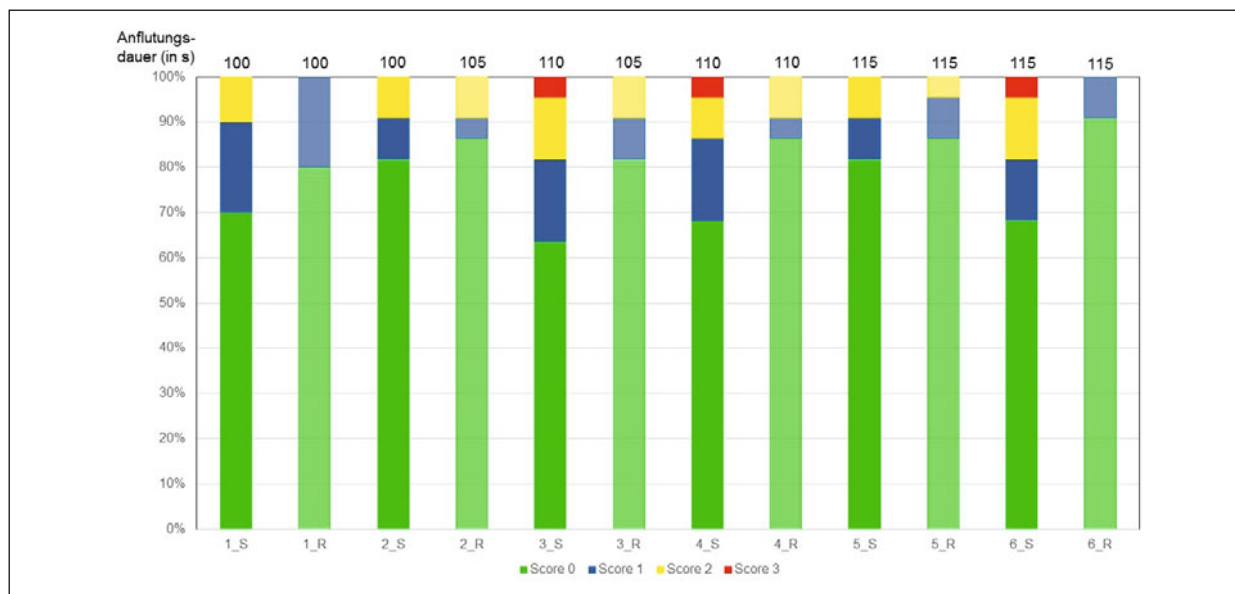


ABB. 3: Beurteilung der Abwehrreaktionen (Score 0–3) innerhalb der einzelnen Gewichtsklassen (1–6) bei der jeweiligen höchsten Anflutungsdauer unter Verwendung von Sauerstoff (_S) bzw. Raumluft (_R) als Trägergas.

Sauerstoff bei 38,2 (n = 5), bei der Verwendung von Raumluft als Trägergas bei 41,5 (n = 8), bei 115 s unter Einsatz von Sauerstoff bei 36,2 (n = 20) und Raumluft bei 37,4 (n = 21). Ein Zusammenhang zwischen den Abwehrreaktionen der Tiere und möglicherweise höheren EEG-Indices, die ein zu flaches Anästhesiestadium signalisieren, konnte statistisch nicht belegt werden. Ein Vergleich der Stadien D (Allgemeinanästhesie) und E (tiefe Allgemeinanästhesie) hinsichtlich der Abwehrreaktionen ergab im Gegensatz zu den Ergebnissen aus Teil 1 keinen statistisch signifikanten Unterschied (p = 0,8615).

Nachschlafdauer

Die Nachschlafdauer der Ferkel betrug bei Berücksichtigung der maximal durchgeführten Anflutungsdauer beider Narkosegasgemische über alle Gewichtsklassen im Mittel 3,7–6,4 min (Tab. 7). Es ergab sich ein statistisch schwach negativer linearer Zusammenhang zwischen der Dauer der Anflutungszeit und der Nachschlafdauer (Korrelationskoeffizient -0,394). Hierbei muss jedoch die deutlich längere Nachschlafdauer der Ferkel mit einem Körpergewicht ≤ 1 kg (GK1) beachtet werden.

Diskussion

Mit Etablierung der automatisierten Ferkelnarkose für die Kastration von unter acht Tage alten männlichen Saugferkeln und dem Erlass der Ferkelkastrations-sachkundeverordnung wurde ein großer Schritt in Richtung Tierschutz noch vor dem Verbot der betäubungslosen Kastration getan. Um die Vorgaben des Tierschutzgesetzes zu erfüllen, ist, vor dem Hintergrund der bereits in der Literatur erwähnten Kritiken an einer nicht ausreichenden Narkose, jedoch eine Überprüfung und Optimierung der Effektivität der Automaten für eine gesicherte schmerzlose Kastration erforderlich.

Unter Verwendung des Anästhesiegerät Fabius Plus XL® (Drägerwerk AG & Co. KGaA, Lübeck, D) wurden die Einstellungen und Vorgaben der auf dem Markt

kommerziell verfügbaren Narkoseautomaten für die Isoflurananästhesie männlicher Saugferkel übernommen, das heißt die Durchflussgeschwindigkeit lag bei 2 l/min und die Isoflurankonzentration bei 5 Vol.-%. Aufgrund der Wahlmöglichkeiten bei den Narkoseautomaten wurden sowohl die Verwendung von Sauerstoff als auch Raumluft als Trägergas untersucht. Der aufwendige Versuchsaufbau stellte dabei die Verfügbarkeit der 5 Vol.-% Isofluran über die gesamte Anflutungsdauer sicher, wodurch die Bedingungen der Narkose denen der Gegebenheiten beim Einsatz der Narkoseautomaten überlegen waren, da diese erst verzögert eine Isoflurankonzentration von meist unter 5 Vol.-% erreichen (DLG 2021).

Das Verhalten eines Tieres ist als unspezifische Messgröße zu betrachten, kann jedoch bei korrekter Interpretation wichtige, richtungsweisende Hinweise auf ein Schmerzempfinden liefern. Generell ist das Fehlen von Abwehrbewegungen während chirurgischer Manipulationen ein Hauptmerkmal einer adäquaten Anästhesie in der Veterinärmedizin (Petersen-Felix 1998).

In der vorliegenden Studie wurde eine Anästhesie als ausreichend bewertet, wenn der Proband keine Abwehrbewegungen (Score 0) und/oder Lautäußerungen (Score 0) auf schmerzhafte Reize zeigte und es keinerlei Hinweise auf eine Überdosierung (Apnoe, Herzstillstand) gab.

In Teil 1 dieser Studie wurde unter Verwendung verschiedener Anflutungszeiten und zweier verschiedener Narkosegasgemische (Isofluran/Sauerstoff bzw. Isofluran/Raumluft) mittels nichtinvasiver Schmerzreize bei sechs verschiedenen Gewichtsklassen die jeweils kürzeste noch effektive Anflutungszeit für eine sichere Narkose über 2 min evaluiert. Dabei ergab sich, dass Ferkel mit geringeren Körpergewichten unabhängig vom Trägergas eine kürzere Anflutungszeit und damit weniger Isofluran benötigten als solche mit höheren Gewichten. Diese Abhängigkeit des Isofluranbedarfs für eine ausreichende Narkose deckt sich mit den Kalkulationen von Hodgson (2006), wonach Ferkel eines Körpergewichtes von 0,90 kg 0,099 ml Isofluran und Ferkel mit einem Gewicht von 3,18 kg bereits 0,223 ml

benötigen. Schwennen et al. (2016) kritisierten daher die eingeschränkte individuelle Steuerbarkeit der automatisierten Isoflurannarkose, da nach ihren Beobachtungen die Wahrscheinlichkeit für eine ausreichende Narkosetiefe mit zunehmendem Alter bzw. Gewicht der Ferkel sank.

In Teil 2 dieser Untersuchung wurden die bestimmten Anflutungszeiten aus Teil 1 bei den einzelnen Gewichtsklassen auf ihre ausreichende anästhetische Wirksamkeit bei der Kastration überprüft. Zur Behandlung des postoperativen Schmerzes wurde zusätzlich 30 min vor der Operation ein nichtsteroidales Antiphlogistikum (NSAID) mit dem Wirkstoff Meloxicam intramuskulär appliziert.

Nach Steigmann (2013) kann durch den Einsatz eines NSAIDs die Narkose vertieft und damit die Wirkung des Isoflurans gesteigert werden. Daher wurde beim Einsatz der in Teil 1 ermittelten Anflutungszeiten eine Vertiefung der Anästhesie während der Kastration durch die zusätzliche Verwendung des NSAID erwartet. Allerdings kam es zu schmerzinduzierten Abwehrbewegungen während der Kastration, obwohl zuvor die somatische Nozizeption durch Auslösen des Zwischenklauenreflexes im Anschluss an die Anflutung negativ ausfiel. Der Zwischenklauenreflex wird allgemein als praxistaugliche Methode zur Feststellung der chirurgischen Toleranz beschrieben (Eger et al. 1988, Rintisch 2010). Die Sensitivität dieses Tests liegt nach Rintisch (2010) bei 89 %. Eger et al. (1988) beschrieben den Zwischenklauenreflex beim Schwein als supramaximalen Schmerzstimulus, der einen größeren Schmerz auslöst als ein Hautschnitt. Trotzdem in Teil 2 der Studie der Zwischenklauenreflex nach der Narkosegasanflutung bei keinem Ferkel auslösbar war, reagierten 24,1 % der Tiere mit Abwehrbewegungen bei den Hautschnitten. Daher erscheint die Überprüfung des Zwischenklauenreflexes zur alleinigen Erkennung der Schmerzausschaltung und damit der Anästhesietiefe nicht ausreichend. Hodgson (2006) teilt die Annahme, dass eine chirurgische Inzision und Kastration bei einem Ferkel mehr Schmerzen verursacht als ein Kneifen in den Zwischenklauenspalt. Die Beurteilung der Anästhesietiefe sollte daher auf einer Kombination aus kontinuierlicher Beobachtung von Bewegungen, Reflexen und Vitalparametern beruhen (Boschert et al. 1996, Antognini et al. 2005).

Trotz zusätzlicher Gabe des NSAIDs erwiesen sich die in Teil 1 der Studie festgelegten Narkosegasanflutungszeiten als ineffektiv. Selbst nach zweimaliger Erhöhung um insgesamt 10 s in den einzelnen Gruppen zeigten sich in der Gesamtheit der untersuchten Tiere in Abhängigkeit vom Trägergas bei Anflutungszeiten zwischen 100 und 115 s bei 27,5 bzw. 14,2 % weiterhin Abwehrbewegungen. Enz et al. (2013) konstatierten eine unzureichende Anästhesie unter Verwendung drei verschiedener automatisierter Narkosegeräte mit Anflutungszeiten zwischen 75 und 90 s bei 14 %, Preiswerk et al. (2022) bei einer entsprechenden Untersuchung bei über 30 % der Tiere. Nach 90 s Anflutungsdauer beobachteten Baldinger et al. (2017) bei 20,8 % und Härtel et al. (2021) bei 4,7–5,7 % der untersuchten Saugferkel Abwehrbewegungen. Die Gründe für die unterschiedlichen Ergebnisse sind unter anderem in den abweichenden Beurteilungskriterien zu suchen. So stufen Enz et al. (2013) in ihrer Studie eine Anästhesie trotz der Beobachtung mehrerer Bewegungen und einer schwachen Vokalisation noch als ausreichend ein. In

der vorliegenden Untersuchung wurden hingegen jegliche Abwehrreaktionen als Schmerzreaktion gewertet, wenn sie im unmittelbaren Zusammenhang mit dem Schmerzreiz auftraten, und die Narkose wurde damit als unzureichend beurteilt. Der Umgang mit den Tieren vor und während der Isoflurannarkose hat nach Schwennen et al. (2016) einen entscheidenden Einfluss auf die Narkosetiefe bei der Kastration und kann ebenfalls die unterschiedlichen Ergebnisse bedingen. In der vorliegenden Untersuchung erfolgte der Umgang mit den Ferkeln so ruhig und tierschonend wie möglich. Trotzdem konnte eine gewisse Belastung durch die wurfweise Separation und das Anbringen der EEG-Elektroden vor der Narkoseeinleitung sowie des Pulsoxymeters während der Einleitung nicht vermieden werden. Auch das alleinige Verbringen in den Fixateur bedingt eine Stressbelastung, wie Schulz (2007) anhand von Katecholaminmessungen im Plasma belegte.

Isofluran wirkt, wie alle Inhalationsanästhetika, dosisabhängig atemdepressiv (Erhardt et al. 2011). Bei Überdosierung ist daher mit Apnoe zu rechnen. In der vorliegenden Studie wurden bei insgesamt neun Tieren Atemstillstände beobachtet, die ab einer Anflutungsdauer von 100 s und höher und nur unter Verwendung von Raumluft als Trägergas auftraten. Gleichzeitig wurden beim Einsatz von Raumluft statistisch signifikant weniger Schmerzreaktionen registriert als in der Isofluran-Sauerstoff-Narkose. Ob eine tiefere Anästhesie durch den Einsatz von Raumluft erreicht wurde, konnte mittels der EEG-Aufzeichnungen nicht geklärt werden. Grundsätzlich bietet die Anästhesie mit reinem Sauerstoff als alleiniges Trägergas eine höhere Patientensicherheit während möglicher Apnoephasen als solche mit einer weiteren Trägergaskomponente (Baum et al. 2004). Anhand von Blutgasanalysen konnte bei mit Isofluran-Raumluft insufflierten Schweinen eine schlechtere Sauerstoffversorgung dargestellt werden als bei Ferkeln, die mit Isofluran-Sauerstoff in Narkose versetzt wurden (Mette 2008). Die Sauerstoffunterversorgung kann laut Autorin zu einer Azidose führen, welche den Bedarf an Isofluran verringert. Entsprechend benötigten die mit Sauerstoff insufflierten Tiere für das Erreichen der chirurgischen Toleranz mehr Isofluran als solche, die mit Raumluft als Trägergas anästhesiert wurden (Mette 2008). Es ist daher anzunehmen, dass die mit Isofluran-Raumluft narkotisierten Ferkel aufgrund einer schlechteren Sauerstoffversorgung tiefer anästhesiert waren, wodurch folglich weniger Schmerzreaktionen, allerdings auch vermehrt Narkosezwischenfälle auftraten.

Der nicht ausreichenden Anästhesie und dem Narkoserisiko wird mittlerweile in der Schweiz durch die dort zugelassenen Präparate Isoflo® und Vetflurane® Rechnung getragen. Diese geben für die routinemäßig durchgeführte Kastration von Ferkeln eine Einleitung mit 5%igem Isofluran in reinem Sauerstoff während 120 s (Durchflussgeschwindigkeit: 2 l/min) vor (www.clinipharm.ch; Abfrage 15.12.2021).

Da Abwehrbewegungen von Tier zu Tier individuell unterschiedlich sein können und die Beurteilung ebenfalls subjektiv ist, wurde die Untersuchung der Schmerzempfindung der Ferkel durch die messbaren und damit objektiv beurteilbaren Parameter Pulsfrequenz und EEG-Messung ergänzt. Änderungen der Herz- bzw. Pulsfrequenz auf noxische Reize werden durch die Ausschüttung von Katecholaminen und der

Aktivierung des sympathischen Systems hervorgerufen (Zohmann und Tacke 2011, Henke et al. 2012), wobei Frequenzanstiege um 10 % (Roizen et al. 1981, Otto und Gerich 2001) bzw. 20 % (White und Boyle 1989) als Richtwerte für eine unzureichende Anästhetiefiefe genannt werden. Die Überprüfung der Pulsfrequenz erfolgte in der vorliegenden Studie mittels Pulsoxymetrie, einer einfach durchzuführenden, nicht invasiven Methode. Allerdings führten Abwehrbewegungen zum Verrutschen des Sensors, sodass die Werte nicht regelmäßig gewonnen werden konnten. Pulsfrequenzwerte über 250 Schläge/min wurden nicht angezeigt, sodass lediglich bei 88,1 % der Ferkel ($n = 557$) sowohl die Pulsanfangs- und -endwerte erfasst wurden. Bei nahezu allen Tieren unabhängig von der Anflutungsdauer und dem Trägergas wurde ein deutlicher Pulsabfall nach Abschluss der Isofluranzufuhr beobachtet. Nur bei fünf Tieren stieg der Puls über 10 % über den Ausgangswert. Diese Tiere zeigten gleichzeitig deutliche schmerzinduzierte Abwehrbewegungen. Dennoch konnte nicht generell bei Abwehrbewegungen ein Pulsanstieg beobachtet werden. In vorliegender Studie erscheint daher die Pulsfrequenz als ein ungeeigneter Parameter für die Beurteilung von Schmerzreaktionen.

Zusätzlich erwies sich die Elektroenzephalographie als wenig verlässlicher Parameter bei der Untersuchung der Narkosetiefe und des Schmerzempfindens bei den Saugferkeln. Insbesondere führten die Rückenlagerung sowie Abwehrbewegungen trotz der Verwendung von Nadelelektroden und zusätzlicher Klebebandfixierung zum Verrutschen der Nadeln und zu Übertragungsstörungen.

Im Gegensatz zu den von Waldmann et al. (1994) und Haga und Ranheim (2005) an Schweinen sowie Otto und Mally (2003) und Otto (2008) an Schafen festgestellten Beobachtungen konnte in der vorliegenden Studie keine Weckreaktionen auf noxische Reize in Form einer Desynchronisation bzw. Synchronisation mit Erhöhung bzw. Abnahme der EEG-Parameter und daraus resultierendem Anstieg des Narcotrend®-Indexes beobachtet werden. In Untersuchungen an Hunden (Tümsmeyer 2007), Rindern (Doll 2011) sowie Schweinen (Haga et al. 2001, Martín-Cancho et al. 2003) wurden ebenfalls keine EEG-Änderungen nach schmerzhaften Stimuli festgestellt.

Der EEG-Monitor Narcotrend® wurde für die Humanmedizin entwickelt. Er arbeitet mit Algorithmen zur automatischen Beurteilung des humanen Roh-EEGs. Die Einteilung in Narkosestadien beruht ursprünglich auf einer Klassifikation des Schlaf-EEGs (Kugler 1981). Aufgrund der dargestellten Ergebnisse erscheint die Anwendung des Narcotrend®-Index zur Überwachung der Narkosetiefe bei Saugferkel während der Kastration nicht geeignet, da die klinische Einschätzung einer nicht ausreichenden Narkosetiefe sich nicht in dem gemessenen Index bzw. in dem zugehörigen Narkosestadium widerspiegelte. Inwieweit eine Speziesadaptation des Algorithmus, wie sie von Tümsmeyer (2007) für Hunde vorgeschlagen wurde, bei der hier durchgeführten Kurz-narkose zur Erkennung der Narkosetiefe erfolgreich wäre, ist jedoch auch durch die zeitverzögerte Anzeige der Stadien und Index-Werte des Narcotrend®-Monitors unwahrscheinlich. Pilge et al. (2006) beschrieben eine Zeitverzögerung von 30–65 s, Klesper et al. (2005) von 20–175 s. In der vorliegenden Untersuchung wurden die Reize im Abstand von 15–30 s gesetzt, entsprechend ist

eine nahezu zeitgleiche Anpassung der Anzeige für eine Interpretation notwendig.

Als großer Vorteil der Isofluran-Inhalationsnarkose gegenüber der Injektionsnarkose bei der Saugferkelkastration wird vor allem die kurze Aufwachphase genannt, sodass die Ferkel nur kurzzeitig von der Muttersau getrennt werden müssen (Waldmann et al. 2018).

In der vorliegenden Studie wurde die Nachschlafdauer ab Beendigung der Narkosegaszufuhr bis zum Erreichen einer sicheren Steh- und Gehfähigkeit gemessen. Die längste mittlere Nachschlafzeit konnten bei GK1 in Teil 2 (6,3 bzw. 6,4 min mit Sauerstoff bzw. Raumluft, Anflutungszeit von 100 s) beobachtet werden. Werden Nachschlafdauer und Anflutungszeit über alle Gewichtsklassen korreliert, so ergab sich kein positiver linearer Zusammenhang. Die Nachschlafdauer scheint daher weniger von der Narkosegasanflutungsdauer als vom Körpergewicht der Tiere beeinflusst zu werden. Eine längere Nachschlafzeit kann durch eine Hypothermie bedingt sein (Lenhardt et al. 1997), dabei sind insbesondere kleinere bzw. leichtere Ferkel (unter 1 kg Körpergewicht) gegenüber einer Auskühlung empfindlich. Dieser wurde jedoch durch das Verbringen unter eine Wärmelampe entgegengewirkt. Steigmann (2013) beobachtete bei anämischen Ferkeln infolge fehlender Eisenversorgung einen verlängerten Nachschlaf. Klinisch ergaben sich bei den eingesetzten Tieren keine Hinweise auf das Vorliegen einer Anämie. Doch ist es wahrscheinlich, dass die leichteren Tiere auch entsprechend jünger waren, und eine Eisenversorgung noch nicht durchgeführt worden war. Die Angaben zu den Aufwachzeiten von Saugferkeln nach Isoflurannarkose weichen in der Literatur stark voneinander ab, insbesondere durch unterschiedliche Startpunkte der Zeitmessung sowie Definition des Zeitpunktes „Aufwachen“. So stellte Schulz (2007) nach 90-sekündiger Isoflurananflutung eine Aufwachzeit von etwa 63 s fest, gemessen ab dem Zeitpunkt nach Beendigung der Kastration bis zum Erreichen der Brustlage der Ferkel. Ein mit der vorliegenden Studie vergleichbares Ergebnis erbrachte die Untersuchung von Härtel et al. (2021). Hier betrug die Zeit bis zum Erreichen der Stehfähigkeit nach 90 s Einleitungszeit 5,7–7,3 min, obwohl die Zeitspanne erst ab der Herausnahme der Tiere aus der Narkosegasmaske nach Kastration erhoben wurde.

Die Ergebnisse dieser Studie weisen darauf hin, dass auf der Grundlage der Beurteilung von Abwehrreaktionen ein beträchtlicher Teil der Ferkel auch bei Isoflurananflutungszeiten von 100 s und höher und unter Verwendung von 5 Vol.-% Isofluran nicht ausreichend anästhesiert war. Dabei konnten große tierindividuelle Variationen unter Isoflurannarkose selbst innerhalb der Gewichtsklassen beobachtet werden, weshalb die fest eingestellten Isoflurananflutungszeiten zu keinen zufriedenstellenden Anästhesieergebnissen führten. Ein Anteil von 14,2–27,5 % inadäquater Anästhesien, wie sie in der vorliegenden Untersuchung festgestellt wurden, ist mit dem geltenden Tierschutzrecht, das eine Ferkelkastration unter sicherer, vollständiger Schmerzausschaltung vorschreibt, nicht vereinbar. Die auf dem Markt befindlichen automatisierten Isofluraneräte, die zurzeit mit deutlich kürzeren Anflutungszeiten von 85 s und oft niedrigeren Isoflurankonzentrationen arbeiten, genügen daher nach Auffassung der Autoren den Anforderungen des Tierschutzgesetzes nicht.

Danksagung

Wir danken Darren Markillie für seine großartige Assistenz bei der Durchführung der Untersuchungen, Herrn Dr. Christian Sürle und den Mitarbeitern des Lehr- und Forschungsgutes Ruthe (Stiftung Tierärztliche Hochschule Hannover) für die Kooperation sowie Dr. Andreas Briese für die Unterstützung bei der biometrischen Planung des Antrages auf Genehmigung eines Tierversuches und Dr. Martin Beyerbach aus dem Institut für Epidemiologie, Biometrie und Informationsverarbeitung der Stiftung Tierärztliche Hochschule Hannover für die Hilfestellung bei der statistischen Auswertung.

Ethische Anerkennung

Die Autoren versichern, während des Entstehens der vorliegenden Arbeit, die allgemeingültigen Regeln guter wissenschaftlicher Praxis befolgt zu haben. Alle maßgeblichen internationalen, nationalen und institutionellen ethischen Richtlinien im Umgang mit in der Studie verwendeten Tieren wurden beachtet. Angaben zum Versuchstierantrag und dessen Genehmigung finden sich veröffentlichten Text.

Interessenkonflikt

Die Autoren versichern, dass keine geschützten, beruflichen oder anderweitigen persönlichen Interessen an einem Produkt oder einer Firma bestehen, welche die in dieser Veröffentlichung genannten Inhalte oder Meinungen beeinflussen können.

Finanzierung

Die Förderung des Vorhabens erfolgte aus Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) aufgrund eines Beschlusses des deutschen Bundestages. Projektträgerschaft: Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) im Rahmen des Bundesprogrammes Nutztierhaltung; FKZ: 28N1800016.

Diese Veröffentlichung wurde von der Deutschen Forschungsgemeinschaft und der Stiftung Tierärztliche Hochschule Hannover im Rahmen des Förderprogramms Open Access Publishing unterstützt.

Autorenbeitrag

Konzeption der Studie: AvA, KHW.

Datenerhebung, -analyse und -interpretation: JR.

Manuskriptentwurf: JR, AvA.

Kritische Revision des Manuskripts: MW, SK.

Alle Autoren stimmen der Veröffentlichung des Artikels zu.

Literatur

Ammer H, Potschka H (2016): Pharmakologie des zentralen Nervensystems (ZNS). In: Löscher W, Richter A (Hrsg.), Lehrbuch der Pharmakologie und Toxikologie für die Veterinärmedizin. 4. Aufl. Enke, Stuttgart, 125–179.

Anonymus (2018): Fachinformation in Form der Zusammenfassung der Merkmale des Tierarzneimittels Isofluran Baxter® vet 1000 mg/g Flüssigkeit zur Herstellung eines Dampfes zur Inhalation für Hunde, Katzen, Pferde und Schweine (Ferkel).

Antognini JF, Barter L, Carstens E (2005): Movement as an index of anesthetic depth in humans and experimental animals. *Comp Med* 55: 413–418.

Baldinger L, Traulsen I, Weißmann F, Krieter J, Bussemas R (2017): Vergleich der Injektions- und Inhalationsnarkose zur Kastration von ökologisch aufgezogenen Ferkeln hinsichtlich Verhalten und Wachstum. *Landbauforsch Appl Agric Forestry Res* 67: 71–78.

Baum J, Bormann B v, Meyer J, van Aken H (2004): Sauerstoff als Trägergas in der klinischen Anästhesie. *Anästh Intensivmed* 45: 124–135.

Boschert K, Flecknell P, Fosse R, Framstad T, Ganter M, Sjöstrand U, Stevens J, Thurmon J (1996): Ketamine and its use in the pig: recommendations of the consensus meeting on ketamine anaesthesia in pigs, Bergen 1994. *Lab Anim* 30: 209–219.

Burren C, Jäggin N (2008): Beurteilung der Inhalationsnarkose zur Schmerzausschaltung bei der chirurgischen Kastration von Ferkeln – Ergänzende Feldversuche – Projekt ProSchwein, TP9a Inhalationsnarkose. Zollikofen, Switzerland. Schweizerische Hochschule für Landwirtschaft (SHL).

Deutsche Landwirtschaftsgesellschaft (DLG) (2021): DLG-Prüfberichte 7080, 7081, 7082, 7089, 7090. <https://www.dlg.org/de/mitgliedschaft/newsletter-archiv/2020/34/dlg-pruefberichte-zu-den-isofluran-narkosegeraeten-veroeffentlicht> (Zugriff: 09.09.2021).

Doll M (2011): Evaluierung des Narcotrend® EEG-Monitors zur Überwachung der Narkose von Kälbern. München, Ludwig-Maximilians-Univ., Tierärztl. Fak., Diss.

Eberspächer-Schweda E (2020): AnästhesieSkills. Thieme, Stuttgart.

Eger E, Johnson BH, Weiskopf RB, Holmes MA, Yasuda N, Targ A, Rampil IJ (1988): Minimum alveolar concentration of I-653 and isoflurane in pigs: Definition of a supramaximal stimulus. *Anesth Analg* 67: 1174–1176.

Enz A, Schüpbach-Regula G, Bettschart R, Fuschini E, Bürgi E, Sidler X (2013): Erfahrungen zur Schmerzausschaltung bei der Ferkelkastration in der Schweiz. Teil 1: Inhalationsanästhesie. *Schweiz Arch Tierheilkd* 155: 651–659.

Erhardt W, Henke J, Tacke S, Baumgartner C, Kroker R (2011): Pharmaka im Rahmen der Anästhesie und der perioperativen Schmerzlinderung. In: Erhardt W, Henke J, Haberstroh J, Baumgartner C, Tacke S (Hrsg.), Anästhesie und Analgesie beim Klein- und Heimtier. 2. Aufl. Schattauer, Stuttgart, 15–140.

Haga HA, Ranheim B (2005): Castration of piglets: the analgesic effects of intratesticular and intrafunicular lidocaine injection. *Vet Anaesth Analg* 32: 1–9.

Haga HA, Tevik A, Moerch H (2001): Electroencephalographic and cardiovascular indicators of nociception during isoflurane anaesthesia in pigs. *Vet Anaesth Analg* 28: 126–131.

Härtel H, Gumbert S, Rauh A, Beisl M, Schulz J, Kempf K, Senf S, Winner E, Weiß C, Nüßlein A (2021): Untersuchungen zur automatisierten Isoflurannarkose bei der Saugferkelkastration. *Tierärztl Prax Ausg G Großtiere/Nutztiere* 49: 167–177.

Henke J, Tacke S, Erhardt W (2012): Analgesie. In: Erhardt W, Henke J, Haberstroh J, Baumgartner C, Tacke C (Hrsg.), Anästhesie und Analgesie beim Klein- und Heimtier. 2. Aufl. Schattauer, Stuttgart, 383–434.

- Hodgson DS (2006):** An inhaler device using liquid injection of isoflurane for short term anesthesia in piglets. *Vet Anaesth Analg* 33: 207–213.
- Hoppe M (2011):** Evaluation der Schmerzausschaltung bei der Kastration männlicher Saugferkel unter CO₂-Betäubung. Hannover, Tierärztl. Hochsch., Diss.
- Jäggin N, Burren C (2008):** Beurteilung von Geräten für die Inhalationsanästhesie zur Schmerzausschaltung bei der chirurgischen Kastration von Ferkeln – Resultate Feldversuche Gerät Pigsleeper, Firma Schippers. Bericht Projekt ProSchwein, TP9a Inhalationsnarkose. Zollikofen, Schweizerische Hochschule für Landwirtschaft (SHL).
- Jäggin N, Burren C (2009):** Beurteilung von Geräten für die Inhalationsanästhesie zur Schmerzausschaltung bei der chirurgischen Kastration von Ferkeln – Resultate Feldversuche Gerät PorcAnest, Firma Provet. Bericht Projekt ProSchwein, TP9a Inhalationsnarkose. Zollikofen, Schweizerische Hochschule für Landwirtschaft (SHL).
- Klesper S, Zanner R, Kochs E, Schmid S, Schnieder G (2005):** Time delay of Narcotrend index calculation. *Anesthesiology* 103: A61.
- Kugler J (1981):** Elektroenzephalographie in Klinik und Praxis. Thieme, Stuttgart.
- Kreuer S, Bruhn J, Larsen R, Bialas P, Wilhelm W (2004):** Comparability of Narcotrend™ index and bispectral index during propofol anaesthesia. *Br J Anaesth* 93: 235–240.
- Kupper T, Springer P (2008):** Alternative Methoden zur konventionellen Ferkelkastration ohne Schmerzausschaltung – Projekt ProSchwein. Synthesebericht. Zollikofen, Schweizerische Hochschule für Landwirtschaft (SHL).
- Kupper T, Pauly C, Burren C, Hofer A, Spring P (2009):** Alternative Methoden zur konventionellen Ferkelkastration ohne Schmerzausschaltung. Projekt ProSchwein. Schlussbericht 2008. Zollikofen, Schweizerische Hochschule für Landwirtschaft (SHL).
- Lahrman K (2006):** Klinisch-experimentelle Untersuchungen zur Ketamin/Azaperon-Allgemeinanästhesie bei Schweinen. *Prakt Tierarzt* 87: 713–725.
- Larsen R (2018):** Anästhesie. Elsevier, Stuttgart.
- Lenhardt R, Marker E, Goll V, Tschernich H, Kurz A, Sessler DJ, Narzt E, Lackner F (1997):** Mild intraoperative hypothermia prolongs postanesthetic recovery. *Anesthesiology* 87: 1318–1323.
- Martín-Cancho ME, Lima JR, Luis L, Crisóstomo V, Ezquerro LJ, Carrasco MS, Usón-Gargallo J (2003):** Bispectral index, spectral edge frequency 95%, and median frequency recorded for various concentrations of isoflurane and sevoflurane in pigs. *Am J Vet Res* 64: 866–873.
- Mette A (2008):** Untersuchungen zur Isofluran-Narkose beim Schwein. München, Ludwig-Maximilians-Univ., Tierärztl. Fak., Diss.
- Otto K (2008):** EEG power spectrum analysis for monitoring depth of anaesthesia during experimental surgery. *Lab Anim* 42: 45–61.
- Otto K, Gerich T (2001):** Comparison of simultaneous changes in electroencephalographic and haemodynamic variables in sheep anaesthetised with halothane. *Vet Rec* 149: 80–84.
- Otto K, Mally P (2003):** Noxious stimulation during orthopaedic surgery results in EEG 'arousal' or 'paradoxical arousal' reaction in isoflurane-anaesthetised sheep. *Res Vet Sci* 75: 103–112.
- Petersen-Felix S (1998):** Depth of anaesthesia. *Vet Anaesth Analg* 25: 4–7.
- Pilge S, Zanner R, Schneider G, Blum J, Kreuzer M, Kochs EF (2006):** Time delay of index calculation: analysis of cerebral state, bispectral, and narcotrend indices. *Anesthesiology* 104: 488–494.
- Preiswerk A, Henzen A, Torgerson P, Bettschart-Wolfensberger R (2022):** Kritische Evaluation der in der Schweiz zur Verfügung stehenden Inhalationsanästhesiegeräte zur Ferkelkastration unter Isoflurananästhesie im Stall. *Schweiz Arch Tierheilkd* 164: 165–175.
- Rintisch U (2010):** Analgesiemonitoring bei der Ketamin-Azaperon-Allgemeinanästhesie der Schweine unter besonderer Berücksichtigung des nozizeptiven Flexorreflexes (bzw. RIII-Reflex). Berlin, FU, Veterinärmed. Fak., Diss.
- Roizen ME, Horrigan RW, Frazer BM (1981):** Anesthetic doses blocking adrenergic (stress) and cardiovascular responses to incision – MAC BAR. *Anesthesiology* 54: 390–398.
- Schulz C (2007):** Auswirkung einer Isofluran-Inhalationsnarkose auf den Kastrationsstress und die postoperativen Kastrations-schmerzen von Ferkeln. München, Ludwig-Maximilians-Univ., Tierärztl. Fak., Diss.
- Schwennen C, Kolbaum N, Waldmann KH, Höltig D (2016):** Evaluation of the anaesthetic depth during piglet castration under an automated isoflurane-anaesthesia at farm level. *Berl Münch Tierärztl Wochenschr* 129: 40–47.
- Steigmann M (2013):** Evaluierung der Schmerzausschaltung bei der Kastration männlicher Ferkel unter automatisierter Isoflurannarkose. Hannover, Tierärztl. Hochsch., Diss.
- Tümsmeyer J (2007):** Verarbeitetes Elektroenzephalogramm (Narcotrend) als zusätzliches Monitoring der Anästhesietiefe bei Hunden unter Inhalationsanästhesie. Hannover, Tierärztl. Hochsch., Diss.
- Waldmann KH, Otto K, Bollwahn W (1994):** Ferkelkastration – Schmerzempfindung und Schmerzausschaltung. *Dtsch Tierärztl Wochenschr* 101: 105–109.
- Waldmann KH, Potschka H, Lahrman K, Kästner S (2018):** Saugferkelkastration unter Lokalanästhesie. Eine Situationsanalyse aus wissenschaftlicher Sicht. *Dtsch Tierärztebl* 66: 1218–1226.
- White PF, Boyle WA (1989):** Relationship between hemodynamic and electroencephalographic changes during general anaesthesia. *Anesth Analg* 68: 177–181.
- Zohmann A, Tacke S (2011):** Schmerz – was ist das? In: Kasper M, Zohmann A (Hrsg.), Ganzheitliche Schmerztherapie für Hund und Katze. 2. Aufl. Thieme, Stuttgart, 7–14.

Korrespondenzadresse

Dr. Alexandra von Altrock
 Klinik für kleine Klautentiere
 Stiftung Tierärztliche Hochschule Hannover
 Bischofsholer Damm 15
 30173 Hannover
 Alexandra.von.altrock@tiho-hannover.de