

Aus dem Department für Kleintiere und Pferde der Veterinärmedizinischen Universität Wien

(Departmentsprecher: O. Univ. Prof. Dr. med. vet. Joerg Aurich)

Klinische Abteilung für Anästhesiologie und perioperative Intensivmedizin

(Leiterin: Univ. Prof. Dr. med. vet. Martina Mosing)

**Vergleich verschiedener intraoperativer Analgesieverfahren zur
Schmerzausschaltung bei der Tibial Plateau Leveling Osteotomy
beim Hund – Techniken der Regionalanästhesie versus
opioidbasierte Analgesie**

DIPLOMARBEIT

Zur Erlangung der Würde einer

Magistra medicinae veterinariae

der Veterinärmedizinischen Universität Wien

vorgelegt von

Lisa Margaretha Seibert

Wien, im Juni 2023

Betreuerin und Erstbegutachterin:

Dr. med. vet. Nora Mariella Thormann

Zweitbegutachterin:

Ass. Prof. Dr. med. vet. Britta Vidoni

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit versichere ich an Eides statt, dass ich die vorliegende Diplomarbeit ohne fremde Hilfe und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Quellen und Hilfsmittel angefertigt und die den benutzten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Diese Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form noch bei keiner anderen Prüferin/ keinem anderen Prüfer als Prüfungsleistung eingereicht.

INHALTSVERZEICHNIS

1. Einleitung	
1.1. Ruptur des kranialen Kreuzbandes beim Hund	
1.1.1. Definition	1
1.1.2. Ätiologie und Pathogenese	1
1.1.3. Diagnostik	2
1.1.4. Therapiemöglichkeiten	8
1.2. Schmerz	11
1.2.1. Pathophysiologie des Schmerzes	11
1.2.2. Schmerzmessung und -dokumentation	14
1.3. Verfahren der intraoperativen Analgesie	18
1.3.1. Systemische Pharmakotherapie	18
1.3.2. Rückenmarksnahe Verfahren	22
1.3.3. Periphere Nervenblockaden	24
1.4. Zielsetzung und Fragestellung	31
2. Material und Methoden	32
2.1. Literatursuche	32
2.2. Literatursuche in Bezug auf definierte Kriterien	33
3. Ergebnisse	37
3.1. Inkludierte Studien	37
3.2. Angewandte Medikamente zur Allgemeinanästhesie	48
3.3. Zusätzliche Standardanalgesie (NSAIDs, Opioide etc.)	53
3.4. Angewandte intraoperative Analgesieverfahren	57
3.5. Rescue-Analgesie	70
3.6. Angewandte Schmerzmessungssysteme	77
3.7. Einschätzung des Schmerzlevels (prä-, intra- und post-operativ)	80
3.8. Nebenwirkungen/Komplikationen	85

- 3.9. Postoperative Rekonvaleszenz90**
- 4. Diskussion93**
- 5. Zusammenfassung104**
 - 5.1. Extended summary104**
 - 5.2. Zusammenfassung106**
- 6. Abbildungsverzeichnis108**
- 7. Abkürzungsverzeichnis109**
- 8. Tabellenverzeichnis112**
- 9. Literaturverzeichnis113**
- 10. Danksagung119**

1. Einleitung

1.1. Ruptur des kranialen Kreuzbandes beim Hund

1.1.1. Definition

Rupturen des kranialen Kreuzbandes (krKB) zählen zu den am häufigsten vorkommenden Verletzungen beim Hund und stellen die Hauptursache von degenerativen Gelenkserkrankungen im Kniegelenk dar. Die Ruptur des *Ligamentum (Lig.) cruciatum craniale* stellt beim Hund die häufigste Ursache einer Lahmheit der Hintergliedmaße dar. Hierzu zählen nicht nur die Ruptur aufgrund degenerativer Vorgänge unbekannter Genese und die akute traumatisch bedingte Ruptur, sondern auch die vor allem bei immaturren Hunden auftretende traumatische Avulsion des kranialen Kreuzbandes an seinem femoralen oder tibialen Ansatz (Tobias & Johnston, 2017).

Die Bandverletzung kann sich entweder als komplette Ruptur verbunden mit einer erheblichen Gelenksinstabilität oder als partielle Ruptur mit nur geringgradiger oder sogar keiner nennenswerten Instabilität manifestieren (DeCamp, 2016).

1.1.2. Ätiologie und Pathogenese

Durch das krKB wird die Beweglichkeit des Kniegelenkes eingeschränkt, indem die Innenrotation des Gelenkes und die Verlagerung der Tibia im Verhältnis zum Femur begrenzt sowie die Hyperextension des Gelenkes verhindert wird (DeCamp, 2016). Eine zusätzliche Funktion besteht in der Limitation der Varus- und Valgusstellung des Kniegelenkes (Kohn & Schwarz, 2018).

Im Zuge zahlreicher Untersuchungen konnten einige prädisponierende Faktoren, wie pathologische Bandveränderungen, ein unphysiologisches Gangbild, ein erhöhter Winkel des Tibiaplateaus, Übergewicht, weibliches Geschlecht, eine Kastration sowie eine unzureichende körperliche Kondition festgestellt werden. Außerdem wurde in Studien die Existenz einer erhöhten Rasseprädisposition unter anderem bei Neufundländern und Rottweilern nachgewiesen (Arnoczky SP, 1993; Bennett et al., 1988; Lampman et al., 2003; Macias et al.,

2002; Morris & Lipowitz, 2001; Read & Robins, 1982; Slocum & Slocum, 1993; Vasseur et al., 1985; Slauterbeck et al. 2004; Whitehair et al., 1993).

In einer Studie von Bennett et al. (1988) konnte beobachtet werden, dass Rupturen des krKB bei Hunden großer Rassen bereits in jüngerem Alter auftreten. Laut Brunnberg et al. (2014) ist die Inzidenz eines Kreuzbandrisses (KBR) bei großwüchsigen Hunden demnach bis zu einem Alter von sechs Jahren erhöht, bei kleinwüchsigen Rassen hingegen erst im Alter von neun bis zwölf Jahren.

Verletzungen des krKB verbunden mit einer Kniegelenksinstabilität gehören zu einer Kaskade pathologischer Prozesse bei der auch progressive Arthrose und Verletzungen des medialen Meniskus eine Rolle spielen. Die Instabilität des Kniegelenkes bedingt in weiterer Folge eine Synovitis, Degeneration des Gelenknorpels, periartikuläre Osteophytenbildung und Kapselfibrose. Nach Kreuzbandrupturen kommt es unabhängig von der gewählten Behandlungsmethode zur Ausbildung einer fortschreitenden Gonarthrose (Fossum, 2021).

In vielen Fällen sind von den zugrundeliegenden pathologischen Veränderungen die Kniegelenke beider Seiten betroffen. Häufig werden die Patienten bereits mit bilateralem KBR vorgestellt oder das kontralaterale Kreuzband rupturiert innerhalb von ein bis zwei Jahren ebenfalls (Fossum, 2021). Gleichzeitig auftretende bilaterale Probleme sind ein häufig beobachtetes Phänomen bei jungen, adulten Hunden spezifischer Rassen (Neufundländer, Rottweiler und Labrador Retriever). Beim Neufundländer scheint auch eine genetische Grundlage bezüglich der Krankheitsentstehung vorzuliegen (DeCamp, 2016).

1.1.3. Diagnostik

1.1.3.1. Klinik der Ruptur des kranialen Kreuzbandes

Prinzipiell können verschiedene klinische Erscheinungsformen der kranialen Kreuzbandruptur unterschieden werden, abhängig davon, ob eine akute, chronische Verletzung oder eine partielle Ruptur vorliegt.

Bei Hunden mit einem akuten KBR kann man klinisch eine plötzlich einsetzende Lahmheit mit partieller oder vollständiger Entlastung der betroffenen Gliedmaße beobachten. Im Laufe von drei bis sechs Wochen kommt es ohne Behandlung zu einer Besserung der Symptomatik, vor allem bei Hunden mit einem Körpergewicht < 10 kg. Bei zusätzlich vorliegender Meniskusverletzung entwickelt sich jedoch in der Regel eine persistierende mittel- bis hochgradige Hangbeinlahmheit, die sich ohne operative Behandlung nicht verbessert.

Patienten mit einer chronischen Verletzung des krKB zeigen eine mittelgradige Lahmheit, die sich graduell bis hin zu einer geringgradigen Lahmheit verbessert. Ebenso sind bei diesen Patienten Probleme beim Aufstehen oder Hinsetzen möglich, beim Sitzen kann der Hund eventuell die erkrankte Gliedmaße nach außen strecken. Charakteristisch verschlechtert sich die Lahmheit nach langen Ruhepausen oder nach Anstrengung.

Bei partiellen Rupturen des krKB zeigen die betroffenen Tiere initial eine geringgradige Lahmheit bei körperlicher Belastung, die nach Ruhephasen aber wieder verschwindet. Mit dem Fortschreiten der Ruptur und zunehmender Gelenkinstabilität ist allerdings eine Verschlimmerung der degenerativen Veränderungen verbunden. Daraufhin sieht man eine deutlicher ausgeprägte Lahmheit, die nach Ruhephasen weiterhin bestehen bleibt (Fossum, 2021).

1.1.3.2. Klinische Untersuchung

Zuallererst sollte im Rahmen der klinischen Untersuchung ein orthopädischer Untersuchungsgang durchgeführt werden, der mit einer genauen allgemeinen und einer speziellen orthopädischen Anamnese beginnt.

Es folgen eine allgemein-klinische Untersuchung, eine Adspektion des Patienten in Ruhe, in unterschiedlichen Gangarten und unterschiedlicher Bodenbeschaffenheit sowie eine orientierende Palpation der Gliedmaßen, der Wirbelsäule und der Gelenke (Brunnberg et al., 2014).

Den Abschluss dieser allgemeinen Lahmheitsuntersuchung bilden spezielle Untersuchungsmethoden einzelner Gelenke an den Vorder- und Hinterbeinen.

Auf die allgemeine schließt nun die spezielle Lahmheitsuntersuchung an. Es werden am in Seitenlage positionierten Tier die Vorder- und Hinterextremitäten von distal nach proximal abgetastet (Brunnberg et al., 2014).

Zuletzt wird auch die Gelenkstabilität des Kniegelenkes zur Beurteilung der Seiten- und Kreuzbänder mittels diverser Provokationstests kontrolliert (Brunnberg, 1998; Brunnberg et al., 2014). Zur Prüfung des *Lig. cruciatum craniale* werden der vordere Schubladentest und der Tibiakompressionstest herangezogen.

Zur Durchführung des vorderen Schubladentests befindet sich der Hund in Seitenlage. Der hinter dem Tier stehende Untersucher positioniert den Daumen einer Hand direkt caudal der lateralen Fabella und den Zeigefinger auf der Patella. Mit der anderen Hand wird die Tibia so umfasst, dass der Daumen unmittelbar caudal des Fibulaköpfchens und der Zeigefinger über der *Crista tibiae* zu liegen kommt. Die übrigen Finger beider Hände umschließen Femur bzw. Tibia. Bei gleichzeitiger Stabilisation des Femurs wird die Tibia parallel zu ihrem Plateau nach cranial und caudal bewegt (Fossum, 2021). In folgender Abbildung wird die Durchführung des Schubladentests bildlich dargestellt (Abb. 1).

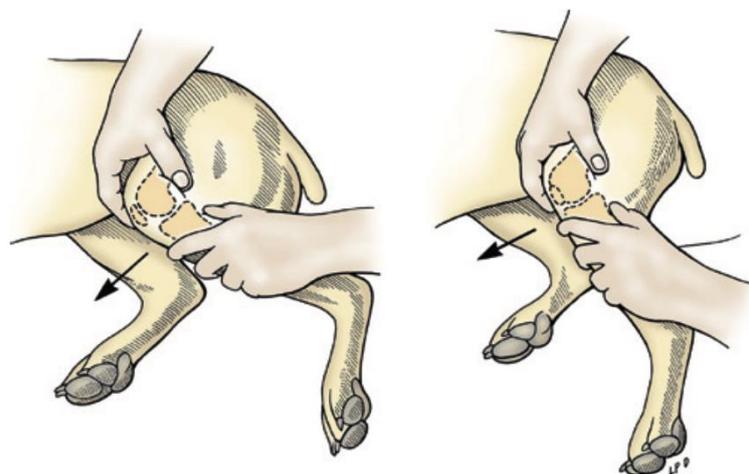


Abb. 1 Durchführung des Schubladentests, aus Fossum (2021)

Man spricht von einem positiven Schubladenphänomen, wenn die kraniokaudale Beweglichkeit des gesunden Gelenkes von 0 - 2 mm überschritten wird. Bei Jungtieren ist allerdings eine Verschieblichkeit im Ausmaß von 4 - 5 mm als physiologisch zu werten, solange es am kranialen Ende der Beweglichkeit zu einem abrupten Stopp – bedingt durch das intakte

Kreuzband - kommt. Bei Hunden mit einer partiellen Ruptur kann die Tibia im Vergleich zum Femur am gebeugten Gelenk meist nur um 2 - 3 mm nach kranial geschoben werden, am im Kniegelenk gestreckten Bein kann sie auch bei Vorliegen eines KBR unter Umständen gar nicht über das physiologische Maß hinaus bewegt werden (Fossum, 2021).

Bei muskulösen Hunden kann es aufgrund von Anspannung der Muskulatur erschwert sein, eine eventuell vorhandene Schublade auszulösen. In diesem Fall sollte der Tibiakompressionstest zur Diagnostik des kranialen KBR herangezogen werden (Brunnberg, 1998; Brunnberg et al., 2014). Dabei umfasst eine Hand die kraniale Oberfläche des distalen Quadrizeps so, dass der Zeigefinger über die Patella bis zur *Tuberositas tibiae* reicht. Die zweite Hand fasst die Pfote im Bereich des Metatarsus von plantar. Bei geringgradiger Streckung des Kniegelenkes wird nun das Sprunggelenk gebeugt. Durch den Zeigefinger der oberen Hand wird eruiert, ob die *Tuberositas tibiae* bei Beugung des Tarsalgelenkes eine Kranialbewegung ausführt („cranial tibial thrust“). Sollte dies der Fall sein, kann von einem kranialen KBR ausgegangen werden. (Fossum, 2021) (Abb. 2).

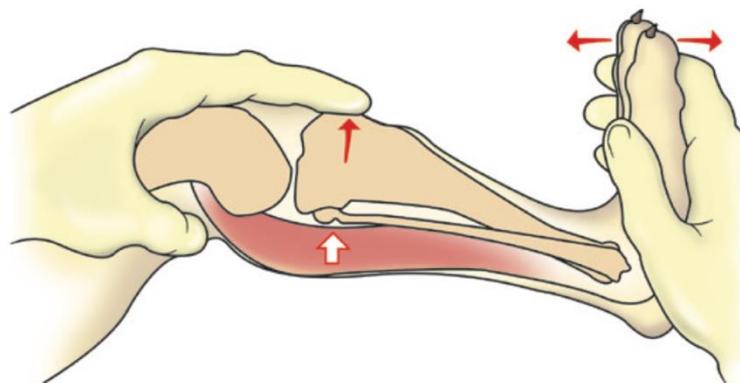


Abb. 2 Durchführung des Tibiakompressionstests, aus Fossum (2021)

Chronische Rupturen des krKB sind häufig mit einer Atrophie der Oberschenkelmuskulatur und einer fühlbaren Krepitation bei Flexion und Extension des Beines vergesellschaftet. Bei zusätzlichem Vorhandensein eines Meniskusschadens kann eventuell beim Überführen der Gliedmaße von der Beuge- in die Streckstellung ein Klicken oder Ploppen gehört und gefühlt werden. Bei der Palpation kann oft aufgrund von Osteophytenbildung und Bindegewebsproliferationen eine Verdickung der medialen Gelenkoberfläche diagnostiziert

werden („medial buttress“). Besonders bei großen oder ängstlichen Patienten kann sich die Auslösung einer kraniokaudalen Instabilität aufgrund der proliferierten fibrösen Gelenkscapsel schwierig gestalten.

Bei Tieren mit einem akuten vollständigen KBR besteht oftmals ein an die Patellarsehne angrenzender Gelenkerguss.

Bei Patienten mit partiellen Rupturen des krKB ist ein Teil des Bandes intakt, was den Nachweis einer frühen Instabilität erschweren kann. Während die alleinige Ruptur des kaudolateralen Bündels zu keiner Beeinträchtigung der Gelenkstabilität führt, tritt diese bei isolierter Verletzung des kraniomedialen Bündels nur während der Flexion auf. Zu den klinischen Symptomen sind unter anderem Schmerzäußerungen bei Überstreckung der Gliedmaße zu zählen (Fossum, 2021).

1.1.3.3. Bildgebende Diagnostik

Während die Diagnose „kranialer Kreuzbandriss“ in den meisten Fällen bereits durch die orthopädische Untersuchung gestellt werden kann, erweist sich die röntgenologische Evaluation des Kniegelenkes vor allem im Hinblick auf das Vorhandensein von Osteoarthritis, der Diagnosesicherung bei herausfordernden partiellen Rissen und dem Ausschluss anderer pathologischer Lahmheitsursachen als sehr hilfreich (Tobias & Johnston, 2017).

Typische radiologische Befunde der kranialen Kreuzbandruptur stimmen mit jenen bei Osteoarthritis im Kniegelenk überein. Zu einem der Zeichen in der frühen Phase des Krankheitsgeschehens zählt der Verlust bzw. die Auslöschung des Röntgenshattens des Kniegelenksfettkörpers („fat pad sign“). Dieser Schatten kommt mit dem Weichteilschatten am kranialen Rand der Tibiakondylen in Kontakt. Bei größerer Ausdehnung des weichteildichten Schattens ist von einer vermehrten Gelenksfüllung und/oder einem Ödem des Kniegelenksfettkörpers auszugehen (Tobias & Johnston, 2017).

Auf den nachfolgend abgebildeten Röntgenbildern ist ein physiologisches Kniegelenk im Vergleich zu einem in Folge eines KBR pathologisch veränderten Kniegelenk zu erkennen. Die Pfeile symbolisieren die Abgrenzungen des so genannten „fat pad signs“. Auf der rechten Aufnahme ist caudal dessen ein vermehrter Weichteilschatten zu erkennen (Abb. 3).

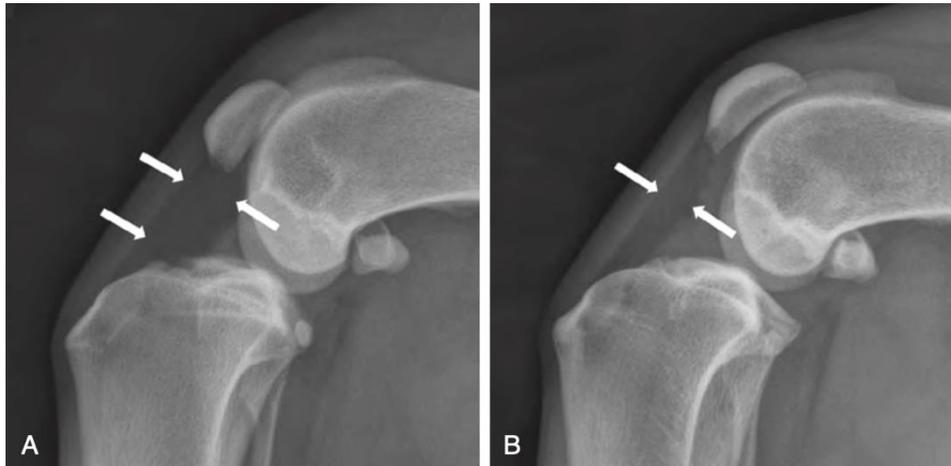


Abb. 3 Röntgenbild eines gesunden Kniegelenks (links) im Vergleich zu einem Kniegelenk mit Gelenkserguss in Folge eines KBR (rechts), aus DeCamp (2016)

Zudem können auch eine Verdickung der Gelenkkapsel und eine subchondrale Sklerose am Röntgenbild sichtbar sein.

Ein weiteres in der Frühphase eines KBR auftretendes Röntgenzeichen ist das Vorhandensein vom Osteophyten (Tobias & Johnston, 2017). Diese findet man vor allem entlang der Rollkämme der *Trochlea ossis femoris*, der Kaudalfläche des Tibiaplateaus und der *Apex patellae* (Fossum, 2021).

Wenn eine kraniale Schublade am Röntgenbild erkennbar ist, könnte dies ein Hinweis auf einen einge- bzw. zerrissenen Meniskus gewertet werden, denn das unbelastete Bein befindet sich auch beim kranialen KBR normalerweise in einer „neutralen Schubladenposition“. (DeCamp, 2016).

Bei der Befundung der Röntgenbilder muss allerdings bedacht werden, dass sämtliche radiologische Veränderungen – mit Ausnahme jener bei Avulsion des Kreuzbandes – bei der Ruptur des vKB unspezifisch sind und auch bei anderen Erkrankungen des Kniegelenkes, in gleicher Form in Erscheinung treten können (Fossum, 2021).

1.1.3.4. Arthroskopie

Die Arthroskopie des Kniegelenkes ist eine minimalinvasive Technik, welche eine sorgfältige Begutachtung der Synovialis und Gelenkscapsel, des Gelenksknorpels, der Kreuzbänder und der *Menisci* gewährleistet. Genauso erlaubt sie dem Chirurgen die Behandlung von Läsionen im Gelenk (Tobias & Johnston, 2017). Im Rahmen der Behandlung einer (potenziellen) KBR kann diese Methode sowohl diagnostisch als auch therapeutisch eingesetzt werden (Fossum, 2021).

1.1.4. Therapiemöglichkeiten

Zur Versorgung von partiellen oder kompletten kranialen Kreuzbandrupturen stehen sowohl konservative Therapieansätze als auch eine Vielzahl chirurgischer Operationsmethoden zur Verfügung. Trotz des teilweisen Erfolges mancher konservativer Behandlungsschemata, wie der Schmerzlinderung mittels nichtsteroidaler Antiphlogistika bei gleichzeitiger Ruhighaltung des Tieres, ist bei den meisten Patientengruppen die chirurgische Versorgung vorzuziehen (Fossum, 2021).

Die chirurgischen Behandlungsmethoden zielen allesamt auf die Verringerung der Arthrosebildung im Kniegelenk durch das Beheben der Gelenksinstabilität ab. Dennoch vermag keines der Verfahren die Entwicklung oder das Fortschreiten der Gonarthrose zu unterbinden. Selbst nach monatelang anhaltender Lahmheit vor der Operation wird aber von den meisten Autoren beschrieben, dass in 85 bis 90% der Fälle *post operationem* mit einer zufriedenstellenden bis hervorragenden funktionellen Wiederherstellung zu rechnen ist (DeCamp, 2016).

Im Bereich der chirurgischen Therapiekonzepte können drei Gruppen voneinander differenziert werden: extrakapsuläre und intrakapsuläre Rekonstruktionsverfahren sowie Korrekturosteotomien (Fossum, 2021).

Den extrakapsulären Techniken ist gemein, dass als deren Ziel die Wiederherstellung der Kniegelenksstabilität definiert ist. Dazu werden im überwiegenden Fall starke synthetische Nahtmaterialien eingesetzt. Einige Methoden beruhen auch auf der Transposition von Weichteil- oder Knochengewebe. Diese Operationstechniken werden bei Hunden mit

niedrigem Körpergewicht als erfolgreich erachtet, während sie bei schwergewichtigeren, athletischen Rassen weniger geeignet sind (DeCamp, 2016).

Intrakapsuläre Methoden beruhen auf dem Ersatz des vKB durch autogenes und autologes Gewebe oder synthetisches Material (DeCamp, 2016). Durch die beiden ersten Verfahren werden die physiologischen und biologischen Verhältnisse am ehesten nachgeahmt, was sich vorteilig auswirkt. Dahingegen können synthetische Materialien häufiger zu Infektionen und Entzündungen führen. Unabhängig vom eingesetzten Material sind die mit dem Eingriff vergesellschaftete Invasivität, die Neigung des Autografts zu Dehnung und Versagen sowie die Möglichkeit von Dehnung und Reißen des synthetischen Materials als nachteilig zu erachten (Fossum, 2021).

Osteotomien der Tibia verfolgen im Vergleich zu allen bisher genannten Operationstechniken einen anderen Ansatz. Die Geometrie des Kniegelenks wird so angepasst, dass Scherkräfte zwischen Femur und Tibia eliminiert werden. (DeCamp, 2016).

Die Tibial Plateau Leveling Osteotomy (TPLO) beinhaltet kurzgefasst eine kreisförmige Osteotomie der Tibia, die Rotation der Gelenksfläche und anschließende Verplattung des Knochens, um die Osteotomie zu stabilisieren. Damit wird der Tibial Plateau Angle (TPA) reduziert, wodurch den zwischen Femur und Tibia herrschenden Scherkräften – dem so genannten „cranial tibial thrust“ (CTT) während der Gewichtsbelastung der Extremität entgegengewirkt wird. Vor dem eigentlichen chirurgischen Eingriff müssen Röntgenaufnahmen zur Bestimmung des TPA und der erforderlichen Rotation, um den gewünschten Winkel zu errechnen, angefertigt werden (DeCamp, 2016).

Im Folgenden ist eine Abbildung zu sehen, welche die aufeinanderfolgenden Schritte während der Durchführung einer TPLO erkennen lässt (Abb. 4).

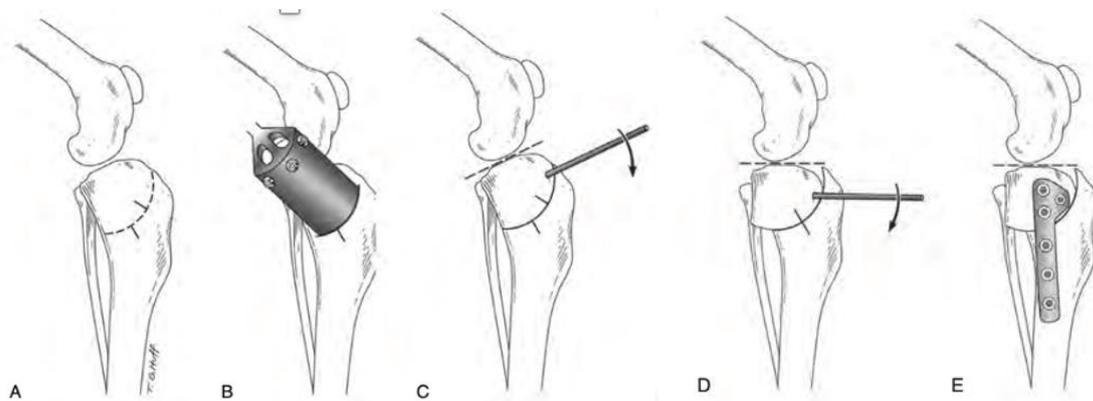


Abb. 4 Operationsschritte der TPLO, aus DeCamp (2016)

A = Schnitfführung B = kreisförmige Osteotomie mittels biradialem Sägeblatt, C = temporäre Anbringung eines Steinman-Pins um die Rotation zu erleichtern, D = Rotation der proximalen Tibia gemäß dem präoperativ bestimmten TPA, E = Stabilisation der Osteotomie durch eine Platte

1.2. Schmerz

Schmerz wird gemäß der „International Association for the Study of Pain“ (IASP) als unangenehme sensorische und emotionale Erfahrung, die mit einer tatsächlichen oder potenziellen Gewebeschädigung verbunden ist oder in Bezug zu einer solchen Schädigung steht, beschrieben. Seit 2001 wurde diese Definition noch durch einen Begleitvermerk ergänzt, welcher aussagt, dass trotz der Unfähigkeit zu kommunizieren – wie sie auch bei unseren Haustieren vorliegt - keineswegs ausgeschlossen werden darf, dass ein Individuum unter Schmerzen leidet und bei jedem schmerzhaften Eingriff eine angemessene schmerzlindernde Behandlung benötigt (Dugdale, 2010).

1.2.1. Pathophysiologie des Schmerzes

Um die Pathophysiologie des Schmerzes nachvollziehen zu können, ist es notwendig zunächst den Begriff der so genannten „Nozizeption“ genauer zu definieren.

Es handelt sich dabei um neuronale Prozesse, die der Verarbeitung und Kodierung von schädlichen Reizen dienen. Die Nozizeption stellt eine afferente Aktivität des Nervensystems dar, die durch Stimuli, welche zu einer möglichen Gewebeschädigung führen können, ausgelöst wird. Initiiert wird diese Reaktion durch so genannte Nozizeptoren – auch als Schmerzrezeptoren bezeichnet – welche mechanische, thermische oder chemische Veränderungen ab einem gewissen Schwellenwert registrieren können (Fox, 2013).

Man kann die Nozizeptoren sowohl in den Muskeln, den Gelenken, den Eingeweiden als auch mit der größten Häufigkeit in der Haut antreffen. Dabei hängt ihre Ansprechbarkeit von der Lokalisation und der Gewebeart, aber auch von der Art und Stärke des Reizes ab (Duke-Novakovski et al., 2016).

Die Neurone der Nozizeptoren bilden als so genannte Neurone 1. Ordnung Synapsen mit den Neuronen 2. Ordnung in der grauen Substanz des Dorsalhorns. (Fox, 2013).

Auf dem Weg der Schmerzleitung vom peripheren Nervensystem bis zum Gehirn müssen grundsätzlich vier aufeinanderfolgende Schritte unterschieden werden, die in folgender Abbildung (Abb. 5) zu sehen sind:

- 1) Signaltransduktion
- 2) Transmission
- 3) Modulation
- 4) Perception

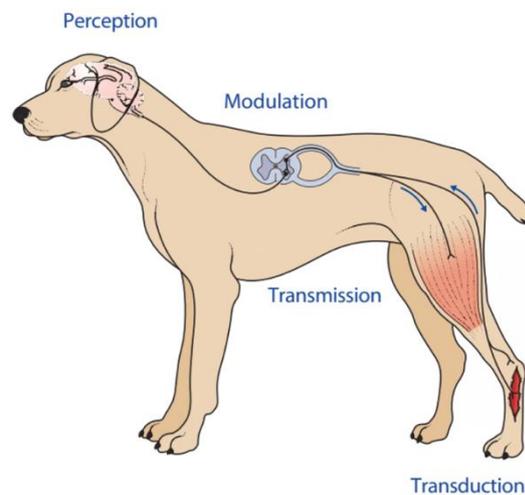


Abb. 7 nozizeptiver Signalweg, aus Fox (2013)

Normalerweise beginnt der Prozess der Verarbeitung des nozizeptiven Signals damit, dass ein potenziell schädlicher Stimulus molekulare Strukturen an der Zellmembran des Nozizeptors – so genannte Transduktoren – aktiviert. Ihre Aktivierung führt zur Öffnung von Ionenkanälen in der Membran, darauf folgt deren Depolarisation und bei ausreichender Amplitude und Dauer des nozizeptiven Reizes schließlich die Entstehung eines Aktionspotentials (Duke-Novakovski et al., 2016).

Anschließend wird der nervale Impuls bei der nun folgenden Transmission entlang zweier Typen von Nervenfasern von der Peripherie zum Dorsalhorn des Wirbelkanals übermittelt (Dugdale, 2010).

Die dünn myelinisierten A δ -Fasern sind für die Leitung des unmittelbar auf deren Aktivierung entstehenden „ersten Schmerzes“, welcher oft als spitz bzw. stechend wahrgenommen wird, zuständig (Julius & Basbaum, 2001; Smith & Lewin, 2009).

Die zweite Gruppe von Nervenfasern, die unmyelinisierten C-Fasern, bewirken den „sekundären Schmerz“, welcher zumeist als langsam und dumpf empfunden wird (Egger et al., 2013).

Das Dorsalhorn selbst setzt sich aus sensorischen Kernen zusammen, welche dem Empfang und der Verarbeitung ankommender somatosensorischer Signale dienen.

Das schließlich davon ausgehende Schmerzsignal kommt durch ein komplexes Zusammenwirken von hemmenden und erregenden Einflüssen zustande. Die synaptische Übertragung im Dorsalhorn erfolgt mithilfe direkt exzitatorischer und/oder neuromodulatorischer Neurotransmitter, die die Rezeptoren des Neurons 2. Ordnung aktivieren. Als wichtigster exzitatorischer Vertreter wird Glutamat angesehen (Duke-Novakovski et al., 2016).

Zu einer Inhibition der synaptischen Transmission im Dorsalhorn des Rückenmarks kommt es unter anderem durch Ausschüttung von Neurotransmittern wie Gamma-Aminobuttersäure (GABA), das durch die Bindung an seine Rezeptoren die prä- und postsynaptische neuronale Erregbarkeit hemmt (Egger et al., 2013).

Des Weiteren sind die drei bedeutendsten Opioid-Rezeptoren (κ, μ, δ) und die Alpha-2-Adrenorezeptoren an prä- und postsynaptischer Nervenendigung vertreten. Werden die präsynaptischen Opioidrezeptoren aktiviert, hat dies eine reduzierte Neurotransmitterausschüttung zur Folge. Gleichsam ist eine Aktivierung der Opioidrezeptoren an der Postsynapse ist mit einer verminderten Induktion von Aktionspotentialen vergesellschaftet, was wiederum in einer Hemmung der Aktivierung der Neurone 2. Ordnung resultiert (Duke-Novakovski et al., 2016).

Die Informationsübertragung zwischen dem Dorsalhorn des Rückenmarks und dem Gehirn erfolgt über den *Tractus spinothalamicus*. Sein lateraler Anteil vermittelt die sensorisch-diskriminative Schmerzkomponente, die mit der Empfindung von scharfen aber kurz andauernden Schmerzen in Zusammenhang gebracht wird. Der mediale Anteil zeigt sich für

kaum lokalisierbare, anhaltende Schmerzzustände, die emotionale und aversive Komponente des Schmerzes sowie Erregungs-, Motivations- und motorische Reaktionen verantwortlich (Duke-Novakovski et al., 2016).

Als letzter Schritt kommt es zur bewussten Perzeption, d.h. Wahrnehmung des Schmerzes (Dugdale, 2010). Das Schmerzsignal wird dann vom Thalamus zu verschiedenen Gehirnarealen geleitet. Ferner projizieren sich auch Bahnen vom Rückenmark zu unterschiedlichen Gehirnanteilen (Duke-Novakovski et al., 2016).

Die Schmerzverarbeitung und -wahrnehmung kann im Rückenmark auch durch absteigende Bahnen gehemmt oder gefördert werden. Dies geschieht in Abhängigkeit verschiedener Faktoren wie dem emotionalen Zustand und Lernprozessen (Duke-Novakovski et al., 2016).

Durch die vielen, an der Verarbeitung von Schmerzreizen beteiligten Gehirnareale kommt es schließlich zur Ausbildung von sensorisch-diskriminativen, emotionalen und aversiven Komponenten des Schmerzes.

1.2.2. Schmerzmessung und -dokumentation

Die Schmerzerkennung gestaltet sich in der Veterinärmedizin im Vergleich zur Humanmedizin weitaus schwieriger, da die Tiere ein etwaiges Schmerzempfinden nicht verbal zum Ausdruck bringen können. Daher wurden im Laufe der Zeit zahlreiche unterschiedliche auf den Einsatz in der Tiermedizin zugeschnittene Schmerzmessungssysteme entwickelt, um Schmerz besser erkennen und adäquat darauf reagieren zu können.

Um Schmerz objektiv beurteilen zu können, kann ein Monitoring verschiedener physiologischer Parameter wie der Herzfrequenz, der Atemfrequenz oder des arteriellen Blutdrucks durchgeführt und Veränderungen ebendieser Werte bei einem schmerzhaften Stimulus analysiert werden. Dabei darf aber nicht außer Acht gelassen werden, dass diese Messwerte auch durch Gefühlswahrnehmungen wie Angst oder durch die körperliche Verfassung des Patienten verändert werden können.

Auch hat man versucht über die Bestimmung von Biomarkern wie Stresshormonen, endogenen Endorphinen und anderen Neuropeptiden das Schmerzlevel bei Tieren einzuschätzen. Als Nachteile dabei sind allerdings die hohen Kosten dieser Tests, die Invasivität, die mangelnde Praktikabilität und die unzureichende Aussagekraft in Bezug auf Schmerz vor allem bei alleiniger Bewertung eines Parameters zu nennen. (Duke-Novakovski et al., 2016).

Eine subjektive Schmerzeinschätzung hingegen erhält der Untersucher durch eine genaue Analyse der Verhaltensweisen des Patienten. Nicht außer Acht gelassen werden muss allerdings die Tatsache, dass viele Indikatoren für Schmerz nicht spezifisch für ebendiesen sind und auch aus anderen Gründen auftreten können. (Duke-Novakovski et al., 2016)

Zur subjektiven Schmerzmessung kommen in der Veterinärmedizin vor allem modifizierte Schmerzskalen, die ursprünglich aus der Humanmedizin stammen, zum Einsatz.

Zu den eindimensionalen Schmerzmessungssystemen, die nur die Schmerzintensität zu beurteilen versuchen, gehören die verbalen Bewertungsskalen (VRS), die einfachen deskriptiven Skalen (SDS), die numerischen Bewertungsskalen (NRS) und die visuelle Analogskala (VAS).

Bei einfachen, deskriptiven Skalen und den verbalen Bewertungsskalen existieren in der Regel vier bis fünf auszuwählende Abstufungen von Schmerz wie zum Beispiel „kein Schmerz“, „mild“, „moderat“, „schwer“ oder „sehr schwer“. Obwohl sie dadurch einfach in der Anwendung sind, gelingt dadurch keine wirklich genaue Unterscheidung verschiedener Schmerzlevels (Dugdale et al., 2020).

Numerische Ratingskalen (NRS) verwenden Zahlen – üblicherweise von null bis zehn – um die Schmerzintensität zu bewerten. Wie auch die bereits beschriebenen Schmerzskalen, sind auch die numerischen Bewertungsskalen weder validiert noch können damit kleinere Veränderungen im Schmerzverhalten erfasst werden (Duke-Novakovski et al., 2016).

Die visuelle Analogskala (VAS) zeichnet sich besonders durch ihre Praktikabilität und Reproduzierbarkeit aus und wird auch in der Tiermedizin eingesetzt. Sie setzt sich aus einer

100mm langen horizontalen Linie zusammen, die am Anfangspunkt der Linie mit „kein Schmerz“ (= 0) und am Endpunkt mit „maximal vorstellbarer Schmerz“ (= 100) beschriftet ist. Durch den Beobachter wird jener Punkt auf der Linie markiert, der dem vermuteten Schmerzlevel des Tieres entspricht. Nachgewiesenermaßen tritt bei dieser Methode der Schmerzbeurteilung allerdings eine hohe Variabilität zwischen den untersuchenden Personen auf, weshalb für eine entsprechende Aussagekraft ausreichende Erfahrung des Untersuchers bei der Einschätzung von Schmerzen unerlässlich ist (Dugdale, 2010; Duke-Novakovski et al., 2016).

Zu einer wesentlichen Verbesserung bei der Beurteilung von Schmerzen kam es schließlich durch den Einsatz von so genannten multidimensionalen, zusammengesetzten Scoring-Systemen. Im Rahmen der Anwendung dieser Skalen werden nicht nur die sensorisch-diskriminative Schmerzkomponente (Schmerzintensität), sondern auch die möglichen kognitiven und affektiven Aspekte der Schmerzerfahrung berücksichtigt. Zu den in der Veterinärmedizin etablierten Vertretern dieser Gruppe zählen unter anderem die Schmerzskala der Universität Melbourne (UMPS), die Schmerzskalen der Universität Colorado für Hunde und Katzen und der „Glasgow Composite Measure Pain Scale“ (Duke-Novakovski et al., 2016).

Die Schmerzskala der Universität Melbourne (UMPS) wurde im Jahre 1999 von Firth und Haldane als multidimensionale, numerische Ratingskala zur Evaluierung postoperativer Schmerzen bei Hunden entwickelt. Die Skala bezieht sowohl das Verhalten als auch physiologische Parameter in die Schmerzbeurteilung mit ein, wobei folgende sechs Kategorien unterschieden und auch in der Auswertung unterschiedlich gewichtet werden: physiologische Variablen, Reaktion beim Abtasten, Aktivität, mentaler Zustand, Körperhaltung und Vokalisation (Fox, 2013).

Ein Schmerzmessungssystem zur Einschätzung akuter Schmerzen bei Hund und Katze stellen die Schmerzskalen der staatlichen Universität Colorado dar, die allerdings nicht offiziell validiert sind. Deren Bewertung von Schmerzen unterteilt sich in drei Kategorien: psychologische Anzeichen und Verhaltensanzeichen für Schmerz, Reaktion auf Palpation und

Körperspannung. Je nach Verteilung der angekreuzten Auswahlmöglichkeiten ergibt sich ein Schmerzscore von null bis vier. (Dugdale et al., 2020; Fox, 2013).

Der „Glasgow Composite Measure Pain Scale“ (GCMPS) stellt eine Weiterentwicklung eines humanmedizinischen Schmerzmessungssystems dar und wurde für die Einschätzung akuter Schmerzen bei Hund und Katze validiert. In dieser Skala werden die für das Schmerzverhalten dieser Tierarten typischen Verhaltensweisen berücksichtigt bzw. bewertet und je nach Bedeutung für das Schmerzverhalten gewichtet. Aufgrund des erhöhten Zeitaufwandes für das Ausfüllen des Fragebogens wurde für Hunde eine Kurzform der Schmerzskala, die so genannte „GCMPS-Short Form“, etabliert. Sie beinhaltet Auswahlmöglichkeiten in sechs Kategorien (u.a. allgemeines Verhalten inkl. Verhalten im Käfig, Verhalten an der Leine, - während der Palpation der OP-Stelle, Mobilität). (Dugdale et al., 2020; Duke-Novakovski et al., 2016; Self, 2019).

1.3. Verfahren der intraoperativen Analgesie

1.3.1. Systemische Pharmakotherapie

Zur systemischen Pharmakotherapie werden in der Kleintiermedizin vorwiegend Substanzen aus der Gruppe der Opiode und der nicht-steroidalen Entzündungshemmer (NSAIDs) eingesetzt.

1.3.1.1. Opiode

Opiode werden sowohl in der Human- als auch in der Veterinärmedizin häufig im Rahmen der Analgesie verwendet. Dazu gehören alle natürlich vorkommenden und synthetischen Substanzen, welche eine morphiumähnliche Aktivität aufweisen.

Sie entfalten ihre Wirksamkeit über die Bindung an Opioidrezeptoren, welche als Teil des endogenen Analgesiesystems des Körpers im Gehirn, dem Rückenmark und bei Vorliegen einer Entzündungsreaktion auch an anderen Körperstellen sowohl an der Präsynapse als auch der Postsynapse lokalisiert sind. Es werden drei Gruppen von Opioidrezeptoren unterschieden: die κ -, δ - und μ -Rezeptoren, wobei letztere für die Analgesie am bedeutsamsten sind. Allen Rezeptorgruppen ist gemein, dass sie über eine G-Proteingekoppelte Hemmung der Adenylatcyclase eine verminderte neuronale Aktivität und Neurotransmitterausschüttung und/oder eine Hyperpolarisation der postsynaptischen Membranen auslösen, was letztlich in einer reduzierten Weiterleitung von Aktionspotentialen und somit der nozizeptiven Information resultiert (Duke-Novakovski et al., 2016; Self, 2019).

Je nach ihrer Wirkung bei Bindung an den Opioidrezeptoren werden die Opiode in drei Gruppen gegliedert: Agonisten, partielle Agonisten sowie Agonisten-Antagonisten. Die Agonisten weisen eine hohe Affinität für μ -Rezeptoren auf und bewirken von allen drei Gruppen die effektivste Schmerzlinderung bzw. -ausschaltung. Aus diesem Grund werden sie bei der Behandlung mittelschwerer bis schwerer Schmerzen eingesetzt und können im Rahmen eines multimodalen Schmerzmanagements zu einer Einsparung anderer Anästhetika beitragen. Wichtige Vertreter ihrer Klasse sind Morphin, Hydromorphon, Methadon, Fentanyl, Sufentanil sowie der schwache Agonist Tramadol (Duke-Novakovski et al., 2016).

Partielle Agonisten haben bei hoher Affinität eine geringere agonistische Aktivität am μ -Rezeptor und werden zur Behandlung milder bis moderater Schmerzen herangezogen. Ein bedeutender Repräsentant dieser Gruppe ist Buprenorphin (Self, 2019).

Die Agonisten-Antagonisten entfalten je nach Rezeptortyp entweder eine agonistische (κ -Rezeptor) oder antagonistische Wirkung (μ -Rezeptor) und ihre Affinität kann variieren. Als häufig angewandter Wirkstoff ist Butorphanol zu nennen, das sich vor allem durch seinen sedativen Effekt auszeichnet.

Für alle Opioide gilt, dass sie die höchste Effektivität beim Einsatz gegen andauernde, dumpfe Schmerzzustände, welche über C-Fasern weitergeleitet werden, aufweisen (Duke-Novakovski et al., 2016).

Im ZNS können Opioide eine sedierende Wirkung, Dysphorie oder Euphorie bewirken. Eine wichtige Nebenwirkung (NW) von Opioiden ist zudem deren atemdepressiver Effekt. Dieser tritt jedoch vor allem bei Überdosierung, in Kombination mit ebenfalls die Atmung beeinträchtigenden Substanzen und bei Patienten mit vorbestehenden Atemwegserkrankungen auf. Weiters kann es durch die Erhöhung des vagalen Tonus durch Opioide sekundär zu Bradykardie oder Bradyarrhythmien kommen.

Am Urogenitaltrakt können v.a. die μ -Agonisten zu Urinretention durch Erhöhung des urethralen Sphinktertonus und Relaxation des *M. detrusor vesicae* führen. Ob die epidurale Administration ein höheres Nebenwirkungsrisiko darstellt oder die parenterale Verabreichung von Opioiden ebenso die Gefahr einer Harnretention birgt, scheint derzeit nicht eindeutig geklärt (Duke-Novakovski et al., 2016; Self, 2019).

In Bezug auf die Thermoregulation lösen Opioide außerdem bei Hunden häufig Hecheln aus, indem sie den thermoregulatorischen Grenzwert im ZNS herabsetzen. Dadurch wurde in Studien nach Opioidanwendung von einer verminderten inneren Körpertemperatur berichtet.

Opioide können intravenös oder intramuskulär verabreicht werden, die subkutane Administration kann, abhängig vom jeweiligen Opioid, in einer unzuverlässigen, zu kurz andauernden analgetischen Wirkung resultieren. Da fast alle Opioide in der Leber metabolisiert werden, ist deren Effektivität bei peroraler Verabreichung und gastrointestinaler Resorption aufgrund des First-Pass-Effektes zumeist massiv eingeschränkt. Bei manchen Opioiden kann durch eine transmukosale bzw. transnasale Applikation der Metabolismus in der Leber umgangen und effektive Plasmaspiegel erreicht werden. Zu guter Letzt bietet auch die transkutane Anwendung im Besonderen für die Langzeittherapie eine zufriedenstellende analgetische Wirksamkeit (Duke-Novakovski et al., 2016).

1.3.1.2. Nichtsteroidale Antirheumatika

Neben den Opioiden stellen die nicht-steroidalen Antirheumatika (NSAIDs) eine zweite große Gruppe an Medikamenten dar, die in der Veterinärmedizin häufig im Rahmen der Therapie akuter und chronischer Schmerzen eingesetzt werden. Ihre Vorteile im Vergleich zu den Opioiden bestehen in ihrer zusätzlichen antiinflammatorischen und antipyretischen Wirkung, der langen Wirkungsdauer sowie der nicht vorhandenen Beeinflussung des Verhaltens, des Herz-Kreislaufsystems und der Atmung. Außerdem können NSAIDs auch gleichzeitig mit Opioiden eingesetzt werden, wobei deren analgetische Wirkung in synergistischer Weise ergänzt wird.

Wichtige Vertreter der Substanzklasse sind Carprofen, Meloxicam und Firocoxib. Diese werden dem Patienten meist über eine intravenöse, subkutane oder perorale Applikationsroute zugeführt (Duke-Novakovski et al., 2016).

Die Wirkung der NSAIDs entsteht durch die Hemmung der Cyclooxygenase (COX). Die COX wandelt Arachidonsäure – ein v.a. in zerstörten Zellen vorhandenes Endprodukt aus dem Phospholipidabbau der Zellmembranen - in Prostaglandine, Prostacyclin und Thromboxane um. Diese drei Umwandlungsprodukte spielen unter anderem eine Rolle bei der Entstehung und Ausbreitung von entzündlichen Prozessen, der Hyperalgesie und der gesteigerten Schmerzwahrnehmung (Dugdale et al., 2020; Duke-Novakovski et al., 2016).

Dabei existieren zwei Isoformen des COX-Enzyms: COX-1 und COX-2. COX-1 wird in vielen Geweben des Körpers freigesetzt und sorgt durch die Produktion von Prostaglandinen für die Aufrechterhaltung des Blutflusses in Organen und Geweben sowie der Funktion der Thrombozyten. COX-2 hingegen wird vermehrt als Reaktion auf Entzündungen und proliferative Vorgänge im Körper aktiviert, wo es die Produktion so genannter inflammatorischer Prostaglandine in Gang setzt (Dugdale et al., 2020).

Je nachdem, welche Isoform der COX die jeweiligen NSAIDs vermehrt hemmen, teilt man sie in nicht-selektive, COX 1-selektive und COX-2-selektive Substanzen ein (Dugdale et al., 2020; Duke-Novakovski et al., 2016).

Die analgetische (und die antiinflammatorische) Komponente der NSAIDs ergibt sich somit aus der Blockade der COX, die zu einer Inhibition der Prostaglandinsynthese in peripheren Geweben aber auch im Gehirn und dem Dorsalhorn des Rückenmarks führt. Dadurch wird verhindert, dass Prostaglandine die Empfindlichkeit der Nozizeptoren und der nozizeptiven Neurone für Schmerzreize erhöhen und die Transmission nozizeptiver Signale entlang der Leitungsbahnen des ZNS bleibt unbeeinflusst.

Gastrointestinale Nebenwirkungen wie Erbrechen, Anorexie, Diarrhöe, abdominale Schmerzen bis zu gastralen Ulzera treten vorwiegend beim Einsatz nicht selektiver COX-Hemmer auf, da die protektive COX-1-Wirkung auf die Magenschleimhaut, die Bicarbonatproduktion und die Zellerneuerung mittels Prostaglandinen wegfällt.

Darüber hinaus kann die Verabreichung von COX-1- und COX-2-Hemmern besonders bei Patienten mit renaler oder kardialer Insuffizienz und somit ohnehin schon reduziertem Blutfluss zu einer weiteren Organschädigung beitragen.

Weiters muss bei der Verabreichung von nicht selektiven COX-Hemmern mit einer gestörten Funktion der Blutplättchen und verlängerte Gerinnungszeit gerechnet werden, die auf die COX-1-Inhibition und die damit verbundene verminderte Produktion von Thromboxanen zurückzuführen ist (Duke-Novakovski et al., 2016).

1.3.2. Rückenmarksnahe Verfahren

Rückenmarksnahe Verfahren werden in der Veterinärnarkose und -analgesie seit langer Zeit mit großem Erfolg eingesetzt. Dabei bezeichnet die so genannte Epiduralanästhesie ein Verfahren, bei dem ein Lokalanästhetikum (LA) oder ein anderes Medikament in den Epiduralspalt außerhalb der *Dura mater* eingebracht wird. Bei der Spinalanästhesie wird das zur Anästhesie bzw. Analgesie verwendete Medikament in den subarachnoidalen Raum injiziert. Bei beiden Methoden bestimmen die chemischen und physikalischen Eigenschaften des angewandten Medikaments, ob es durch die verschiedenen Membranen, die das Nervengewebe bedecken, an den Bestimmungsort gelangen und dort seine gewünschte Wirkung entfalten kann (Campoy & Read, 2013).

Zur Durchführung von Operationen an der Hinterextremität wie der TPLO kann eine lumbosakrale Epiduralanästhesie durchgeführt werden.

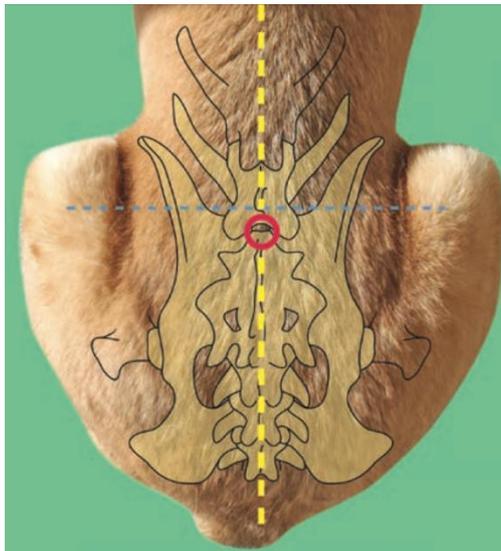


Abb. 8 Punktionsstelle bei der Epiduralanästhesie am lumbosakralen Übergang, aus Duke-Novakovski et al. (2016)

Abb. 9 Zugang zum N. femoralis nach Campoy (2006), aus Campoy & Read (2013)
Abb. 10 Punktionsstelle bei der Epiduralanästhesie am lumbosakralen Übergang
Das Aufsuchen des Epiduralspaltes nach Rasur und möglichst aseptischer Vorbereitung des Manipulationsfeldes gelingt am einfachsten, wenn sich der Patient in Brust-Bauch-Lage befindet und dessen Hinterbeine nach cranial gezogen werden. Eine Positionierung in Seitenlage ist zudem auch möglich.

Bei den meisten Patienten ist beim Eintritt in den Epiduralspalt ein charakteristisches „ploppendes Gefühl“ wahrzunehmen. Sollte man im Bereich des Konus Blut oder cerebrospinale Flüssigkeit erkennen können, muss der Vorgang wiederholt werden, da in diesem Fall der *Sinus venosus ventralis* bzw. bei Katzen und jungen Hunden der weiter nach caudal reichende Duralsack punktiert wurde.

Um das korrekte Platzieren der Spinalkanüle zu verifizieren haben sich zwei verschiedene Methoden etabliert. Bei der „loss of resistance“-Methode wird eine Menge von 0,25 – 0,5 ml steriler Kochsalzlösung injiziert, es sollte dabei kein Widerstand spürbar sein. Es kann auch sterile Kochsalzlösung inkl. einer sich darin befindlichen Luftblase eingespritzt werden, welche sich bei vorhandenem Widerstand sichtbar komprimieren würde.

Daneben kann die erfolgreiche Nadelplatzierung bei Brust-Bauch-Lage des Patienten auch mittels der „hanging drop“-Technik überprüft werden. Hierbei wird eine geringe Menge NaCl-Lösung in das obere Ende der Kanüle eingebracht. Bei richtiger Position der Nadel wird die Lösung durch den Druckunterschied in den Epiduralspalt hineingezogen

Nachdem die Spinalkanüle korrekt in den Epiduralspalt eingebracht worden ist, können die gewünschten Medikamente über eine Zeitspanne von 30 bis 60 Sekunden verabreicht werden (Duke-Novakovski et al., 2016).

Neben der Epiduralanästhesie ist die Spinalanästhesie als weiteres rückenmarksnahes Verfahren zu nennen. Sie wird jedoch im Veterinärbereich deutlich seltener angewendet, bietet allerdings gewisse Vorteile. Im Vergleich zum epiduralen Zugang ist unter anderem die korrekte Nadelposition durch die zerebrospinale Flüssigkeit deutlich einfacher zu verifizieren und es kann eine tiefere und schneller eintretende Anästhesie erreicht werden. Nach Aldrete (2003) ist allerdings auch das mit dem Einsatz von Spinalanästhesie verbundene Komplikationsrisiko deutlich höher als bei epiduraler Lokalanästhesie.

Potenzielle Risiken beider rückenmarksnaher Verfahren die Technik selbst betreffend sind die Schädigung von Nerven, Neurotoxizität, Infektionen durch mangelnde Asepsis, versehentliche Punktion eines Blutgefäßes oder ein verzögerter Nachwuchs des Felles. Medikamenteninduziert können unter anderem Hypotension und Bradykardie sowie Atemdepression ausgelöst werden. Eine versehentliche subarachnoidale bzw. subdurale Injektion kann eine totale spinale Anästhesie bewirken und im schlimmsten Fall sogar zum Tod des Patienten führen.

Zu den absoluten Kontraindikationen einer Epiduralanästhesie zählen Blutungsneigungen des Patienten, bestehende neurologischen Defizite im Wirkungsbereich der LA, Neoplasien oder Infektionen im Bereich der Punktionsstelle und Herzerkrankungen, die eine Obstruktion des linksventrikulären Ausflusstraktes bedingen. Bei Vorhandensein einer Sepsis oder Bakteriämie, Hypovolämie und Hypotension und angeborenen oder erworbenen anatomischen Anomalien sollte die Risiken vor der Durchführung einer Epiduralanästhesie genau abgewogen werden (Campoy & Read, 2013).

Bei der Anwendung von Epiduralanästhesien und auch der im nächsten Kapitel besprochenen peripheren Nervenblockaden (PNB) kommt unter anderen die Medikamentengruppe der Lokalanästhetika (LA) zum Einsatz. Bei operativen Eingriffen an der Hinterextremität werden LA wie Bupivacain, Lidocain, Ropivacain, Mepivacain verwendet. Deren analgetische Wirkung kann durch Kombination mit Opioiden oder Alpha-2-Agonisten ergänzt werden (Duke-Novakovski et al., 2016).

1.3.3. Periphere Nervenblockaden

Immer häufiger kommen nun auch periphere Nervenblockaden (PNB) zur intraoperativen Analgesie in der Veterinärmedizin zum Einsatz.

Dabei wird ein LA in die unmittelbare Nähe des zu blockierenden peripheren Nervs eingebracht, um eine temporäre sensorische und/oder motorische nervale Blockade zur intra- oder postoperativen Analgesie zu erreichen. Zu den am häufigsten eingesetzten Lokalanästhetika zählen Bupivacain und Ropivacain. Eine Kombination mit einem Alpha-2-Agonisten wie z.B. Dexmedetomidin ist möglich (Campoy & Read, 2013).

1.3.3.1. Ultraschall- und Nervenstimulatorgestützte periphere Nervenblockaden

Wertvolle Hilfsmittel, die im Rahmen der Anwendung peripherer Nervenblockaden mittlerweile routinemäßig eingesetzt werden, stellen die Nervenstimulatoren und der Ultraschall dar. Damit können Nervenschäden bestmöglich vermieden, der gewünschte Nerv lokalisiert und gleichzeitig die korrekte Abgabe des Lokalanästhetikums überprüft werden (Campoy & Read, 2013).

Als elektrischer Nervenstimulator wird ein Stromgenerator mit einer isolierten Nadel verwendet. Bei einem peripheren Nerven, der auch motorische Fasern führt, kommt es durch den Strom zu einer Depolarisation des Nerven und folglich einer Kontraktion der von ihm innervierten Muskulatur. Die Bewegung des entsprechenden Gelenkes durch den versorgenden Muskel wird hierbei zur Verifikation der korrekten perineuralen Nadelposition herangezogen.

Bei korrekter Lokalisation der Nadel soll nach negativer Blutaspiration die Injektion von 0,1 – 1 ml des LA ohne Verspüren eines Widerstandes möglich sein, ansonsten muss die Nadel repositioniert werden, da die Gefahr einer intravaskulären bzw. intraneuralen Position besteht. Durch korrekte Applikation des LA soll die motorische Antwort des Muskels ausbleiben (Campoy & Read, 2013; Dugdale et al., 2020).

Für viele PNB an unterschiedlichen Lokalisationen ist mittlerweile auch die Zuhilfenahme hochfrequenter Ultraschallsonden beschrieben. Zudem findet der kombinierte Einsatz von Sonographie und Nervenstimulatoren zunehmenden, routinemäßigen Eingang in den klinischen Alltag. Meist werden lineare Sonden in einer Frequenz von 10-15 MHz für oberflächlichere Nerven und von 4-7 MHz für tiefer gelegene Strukturen verwendet.

Die Lokalisation des Nerven gelingt am besten im transversalen Schnitt, wo sich dieser als rund-ovale Struktur mit innen gelegenen hypoechogenen Nervenbündeln und dem außen gelegenen hyperechogenen *Epineurium* zeigt. Sobald sich die Spitze der Kanüle nahe dem zu blockierenden Nerven befindet, wird eine kleine Menge des LA injiziert, um die korrekte Nadelposition zu überprüfen. Dieses wird zirkulär um den hyperechogenen Nerven als

hypoechogener „Doughnut“ sichtbar. Dieses Zeichen kann auch dem Ausschluss einer intravaskulären Injektion dienen.

Die ultraschallgestützte Methode erweist sich im Vergleich zur „blinden“ Technik anhand anatomischer Orientierungspunkte oder der Zuhilfenahme eines elektrischen Nervenstimulators in vielerlei Hinsicht als vorteilhaft. Sie erlaubt nachgewiesenermaßen eine höhere Erfolgsquote durch akkuratere Nadelposition, eine geringere Gewebeschädigung, das Vermeiden intravaskulärer Punktion bzw. Injektion und die Kontrolle der korrekten perineuralen Verteilung des LA. Gemäß der aktuellen Studienlage scheint dadurch die Chance einen erfolgreichen Block durchzuführen erhöht und die Komplikationsrate deutlich reduziert (Campoy & Read, 2013).

1.3.3.2. Kontraindikationen und Komplikationen

Der Einsatz peripherer Nervenblockaden zur Schmerzausschaltung sollte bei Patienten die an Neuropathien, Hautinfektionen an der Punktionsstelle, erhöhter Blutungsneigung oder Koagulopathien sowie bekannten Überempfindlichkeiten gegen bestimmte LA leiden, unterlassen werden. Bei Vorliegen einer Sepsis, einer Fraktur oder eines Ödems, das die anatomischen Gegebenheiten im Punktionsbereich verändert, sollte die Anwendung lokoregionaler Anästhesie genau abgewogen werden, da mit Komplikationen bei der Durchführung und einem erhöhten Risiko zu rechnen ist. Auch tiefe Nervenblockaden wie die Blockade des *Plexus lumbalis* sollten bei adipösen Tieren aufgrund des Verlustes der anatomischen Orientierungspunkte und des ultrasonographischen Kontrastes vermieden werden.

Mögliche Komplikationen bei der Durchführung von PNB sind temporäre bis permanente neurologische Defizite bedingt durch mechanisches Trauma, die Neurotoxizität der LA, neuronale Ischämie oder Infektionen. Außerdem kann es durch die versehentliche intravaskuläre Injektion eines LA zu ausgeprägter systemischer Toxizität, verbunden mit Muskelzuckungen, Tremor, Anfällen und kardiovaskulären Nebenwirkungen wie Tachykardie, Hypotension, Arrhythmien bis hin zum Tod, kommen (Campoy & Read, 2013).

1.3.3.3. Periphere Nervenblockaden der Hinterextremität

Um eine ausreichende Anästhesie und Analgesie an der Hinterextremität (HE) zu gewährleisten, ist es notwendig beide dort situierte Nervenplexen – den *Plexus lumbalis* und den *Plexus sacralis* – partiell oder vollständig durch lokoregionale Anästhesie auszuschalten. Die Durchführung peripherer Nervenblockaden am *N. femoralis* und *N. ischiadicus* weisen einen mittleren Schwierigkeitsgrad auf, besitzen gute Erfolgsraten und lediglich ein geringes Komplikationsrisiko. Der Psoas-Kompartement-Block und der dorsale bzw. transgluteale Block des *N. ischiadicus* hingegen erfordern ein hohes Maß an Erfahrung des Anwenders. Wie für alle Interventionen der Regionalanästhesie sind auch hier profunde Kenntnisse der Anatomie eine Voraussetzung, um die Erfolgsrate zu steigern und die Komplikationsrate zu senken. (Campoy & Read, 2013)

1.3.3.3.1. Psoas-Kompartement-Block (Block des Plexus lumbalis)

Der erfolgreich durchgeführte Psoas-Kompartement-Block garantiert eine Anästhesie des *Hemipelvis*, des Femurs, partiell auch des Femorotibialgelenkes, der Haut des dorsomedialen Tarsus und der ersten Zehe. Zur anästhetischen Abdeckung der Haut im Bereich des *Trochanter major* und der Hüfte ist in den allermeisten Fällen eine zusätzliche Blockade des *N. cutaneus femoris lateralis* und *N. cutaneus femoris caudalis* erforderlich (Campoy & Read, 2013).

Zur Nervenstimulator-gestützten Blockade des Plexus lumbalis werden hauptsächlich die von Campoy et al. (2008) und von Portela et al. (2013) beschriebenen Methoden herangezogen.

Weiters kann der Psoas-Kompartement-Block auch unter kombiniertem Einsatz von Ultraschall und Nervenstimulation durchgeführt werden.

1.3.3.3.2. Blockade des *N. femoralis*

Die lokoregionale Anästhesie des *N. femoralis* – meist in Kombination mit einer Blockade des *N. ischiadicus* - kann bei Operationen an der HE distal des mittleren Femurs angewendet werden.

Campoy (2006), Mahler & Adogwa (2008) und Portela et al. (2013) beschreiben Methoden, die sich der Nervenstimulation als Hilfsmittel zur Lokalisation des *N. femoralis* bedienen.

Exemplarisch soll in dieser Arbeit die Lokalanästhesie am *N. femoralis* nach Campoy (2006) näher vorgestellt werden. Dazu sollte der Patient in Seitenlage verbracht werden, die zu blockierende Extremität sollte oben liegen, im 90° Winkel abduziert und nach caudal gezogen werden. Als Orientierung dienen das durch den *M. pectineus* caudal, den *M. sartorius* cranial und den *M. iliopsoas* proximal begrenzte Femurdreieck, die durch Palpation des Femoralispulses zu identifizierende *A. femoralis* und der cranial davon verlaufende *N. femoralis*. Die Stimulationsnadel muss zunächst cranial der *A. femoralis* eingestochen und im 20 - 30° Winkel in Richtung des *M. iliopsoas* geführt werden. Dabei sollte der Nervenstimulator Strom mit einer Stärke von 1 mA aussenden. Wenn sich die Nadelspitze im Bereich des *N. femoralis* medial des caudalen Muskelbauches des *M. sartorius* befindet, sollte eine Kontraktion des *M. quadriceps*, die in einer Streckung des Kniegelenkes resultiert, zu bemerken sein. Anschließend wird die Stromstärke in 0,2 mA-Schritten bis zu dem Schwellenwert von 0,4 mA verringert, zu diesem Zeitpunkt sollte die Muskelkontraktion gerade noch vorhanden sein.

Auch die Blockade des *N. femoralis* kann gleichzeitig ultraschall- und Nervenstimulator-gestützt erfolgen. Dazu sind in der Literatur verschiedene Methoden bekannt, die sich allesamt nur wenig unterscheiden. Häufig werden der Zugang über das Femurdreieck nach Campoy et al. (2010) und der ventrale suprainguinale Zugang nach Echeverry et al. (2012, 2010) eingesetzt (Campoy & Read, 2013).

Die nachfolgende Fotografie (Abb. 7) zeigt die Nadelposition bei der Durchführung der Nervenblockade nach Campoy (2006).



Abb. 11 Zugang zum N. femoralis nach Campoy (2006), aus Campoy & Read (2013)

1.3.3.3. Blockade des N. ischiadicus

Eine weitere Methode der PNB, die eine (partielle) Anästhesie des Knies und der Strukturen distal davon bewirkt, stellt die Blockade des *N. ischiadicus* dar. Sie wird - wie bereits erwähnt – bei chirurgischen Interventionen der Hintergliedmaße oft gleichzeitig mit der Blockade des *N. femoralis* angewandt. So wird über einen caudalen Zugang zum *N. ischiadicus* eine Anästhesie des caudolateralen Knies, der Tibia, des Tarsus und Metatarsus und mit Ausnahme der ersten Zehe und der proximalen zweiten Zehe auch die übrigen Zehen erreicht. Der dorsale oder transgluteale Zugang zielt auf eine Blockade der ischiotibialen Muskeln und vermutlich einiger Äste des Hüftgelenkes ab. Der paravertebale oder auch paralumbale oder parasakrale Zugang von L7-S2 bewirkt eine Anästhesie des *M. obturatorius internus*, der *Mm. gemelli*, des *M. quadratus femoris* und der Glutealmuskulatur (Campoy & Read, 2013).

Ein lateraler Zugang zum *N. ischiadicus*, der sich der Nervenstimulation als Hilfsmittel bedient, ist der Zugang nach Campoy et al. (2008).

Die mit einem geringen Komplikationsrisiko verbundene Technik nach Mahler & Adogwa (2008) nützt einen transglutealen Zugang zum *N. ischiadicus*.

Portela et al. (2010) berichten von einem parasakralen Zugang zum *N. ischiadicus*, bei dem das LA im Bereich der Sakralwurzeln eingebracht wird. Wie bei den meisten beschriebenen

peripheren Nervenblockaden der Hintergliedmaße befindet sich der Patient in Seitenlage mit obenliegender zu blockierender Extremität. Eine Linie zwischen dem cranialen dorsalen Darmbeinkamm und der *Tuberositas ischiadica* wird in drei Teile gegliedert. Die Punktion ist an der Kreuzung des cranialen und mittleren Drittels zu setzen und die Nadel wird so lange vorgeschoben, bis Kontraktionen des *M. gastrocnemius* eine Flexion des Tarsus bewirken (Campoy & Read, 2013). Die Methode wird in folgender Abbildung (Abb. 8) bildlich dargestellt.



Abb. 12 Blockade des N. ischiadicus nach Portela (2010), aus Campoy & Read (2013)

Auch bei der lokoregionalen Anästhesie des *N. ischiadicus* wird die Nervenstimulation in Kombination mit der Verwendung der Sonographie von mehreren Autoren beschrieben. In der Veterinärmedizin kommt es vor allem zur Anwendung der Methoden nach Campoy et al. (2010) und Shilo et al. (2010) (Campoy & Read, 2013).

1.4. Zielsetzung und Fragestellung

Die Literatur zur intraoperativen Analgesie bei der TPLO beim Hund bezieht sich vorwiegend auf die perioperative Verwendung von Opioiden und anderen intravenösen Analgetika. Doch auch die lokoregionale Anästhesie bietet eine Möglichkeit, den im Rahmen solcher Operationen entstehenden Schmerz effektiv auszuschalten. Das Ziel dieser Abschlussarbeit besteht daher darin, diese drei analgetischen Strategien – systemische Pharmakotherapie, rückenmarksnahe Verfahren und periphere Nervenblockaden - im Zuge einer Literaturübersicht zu evaluieren und miteinander zu vergleichen.

Es wird die Hypothese aufgestellt, dass durch Anwendung der regionalen Anästhesie bei der TPLO beim Hund eine Verbesserung der Analgesie, ein vermindertes Risiko von Nebenwirkungen und Komplikationen sowie eine kürzere Rekonvaleszenzzeit nach der Operation erreicht werden kann. Demnach soll in der vorliegenden Literaturarbeit der Frage nachgegangen werden, ob sich ein Vorteil der Regionalanästhesie gegenüber der systemischen Analgesie in Bezug auf oben genannte Kriterien abzeichnet.

2. Material und Methoden

Dieses Kapitel soll die methodische Vorgehensweise bei der Erstellung dieser deskriptiven Übersichtsarbeit erläutern. Es werden die Herangehensweise bei der Literatursuche, die definierten Ein- und Ausschlusskriterien und die Analyse der daraus gewonnenen Daten beschrieben.

2.1. Literatursuche

Unter Zuhilfenahme verschiedenster Online-Plattformen wie Scopus, Ovid SP, Google Scholar, PubMed oder vetmedseeker wurden passende Studien, die sich mit der Analgesie bei der TPLO beim Hund befassen, gesucht. Ebenso wurde Referenzen der herausgesuchten Studien und die so genannten „related articles“ zur Literatursuche verwendet.

Folgende Tabelle (Tab. 1) soll einen Überblick über die Literatursuche im Rahmen dieser Arbeit und die bei der Suche verwendeten Schlüsselwörter geben:

Tab. 1: zur Literaturrecherche angewandte Suchparameter

Suchparameter	
Sprache	Deutsch Englisch
Suchzeitraum	September – Dezember 2021 Mai – August 2022
Suchmaschinen	PubMed Scopus Ovid SP Google Scholar vetmedseeker
Suchbegriffe	Tplo, regional anesthesia, dog, locoregional anesthesia, opioids, anesthesia, analgesia, intraoperative analgesia, perioperative analgesia, peripheral nerve blockades, epidural anesthesia, intrathecal anesthesia, sciatic nerve block, femoral nerve block, nerve block, nerve blockade, systemic analgesia, spinal anesthesia, spinal analgesia

Literatursuche in Bezug auf definierte Kriterien

Bei der Literatursuche wurden Arbeiten, die sich mit der Anästhesie bzw. intraoperativen Analgesie bei der TPLO durch Verfahren der systemischen Pharmakotherapie und der Regionalanästhesie beim Hund beschäftigen, in die Studienauswahl miteinbezogen. Dabei wurden in englischer und deutscher Sprache verfasste Studien berücksichtigt. In den in die Auswahl aufgenommenen Artikeln musste die TPLO als alleinige Operationsmethode oder zumindest in vergleichbarer Anzahl neben anderen orthopädischen Operationen am Kniegelenk angewandt werden. Außerdem wurden nur Studien, welche einen Vergleich zwischen mindestens zwei perioperativen Anästhesie- bzw. Analgesiemethoden anstellten, berücksichtigt.

Es wurde kein zeitliches Limit bezüglich des Publikationsdatums gesetzt, da besonders Studien, welche sich mit der Epiduralanästhesie auseinandersetzen, häufig schon einige Jahre zurückliegen aber trotzdem noch als relevant zu erachten sind.

Nach Ausschluss sämtlicher gefundener Studien, die die vorher beschriebenen Inklusionskriterien nicht erfüllten, konnten insgesamt zwölf Studien herausgefiltert werden, die im Rahmen dieser Übersichtsarbeit analysiert werden sollen.

Als nächster Schritt wurden die Studien in einer Excel-Tabelle eingetragen. Dann wurden 22 Parameter definiert, worauf die gefundenen Artikel durch Durchlesen von Abstract und der gesamten Arbeiten untersucht werden sollten. Diese wurden ebenfalls in der Tabelle (Tab. 2) ergänzt und sind im Folgenden zur besseren Übersicht in Kategorien aufgelistet:

Tab. 2: Verwendete Studienparameter

Studienparameter
Allgemeine Studiendaten
Titel der Studie
Publikationsjahr
Autoren
Studientyp
Studienziel
Angaben zur Studienpopulation
Tieranzahl
Geschlecht
Altersgruppe
Körpergewicht (kg)
ASA-Klasse
Anästhesie & Analgesie
angewandte Medikamente zur Allgemeinanästhesie (Prämedikation, Einleitung, Erhaltung)
zusätzliche Standardanalgesie (NSAIDs, Opioide etc.)
Methode der intraoperativen Analgesie (systemisch/epidural/periphere Nervenblockaden)
Rescue-Analgesie (intra-, postoperativ)
Schmerz
Auftreten von Schmerzen
verwendetes Schmerzmessungssystem
evaluiertes Zeitraumbereich
Wirkungen & Nebenwirkungen der Anästhesieverfahren
Nebenwirkungen/Komplikationen

funktionelle Wiederherstellung
Futteraufnahme
Ergebnisse
Hauptergebnisse
Conclusio und klinische Relevanz

Im Anschluss wird die Vorgangsweise bei der Auswahl der Studien für diese deskriptive Literaturübersicht in Form eines Flussdiagrammes erläutert (Abb. 9).

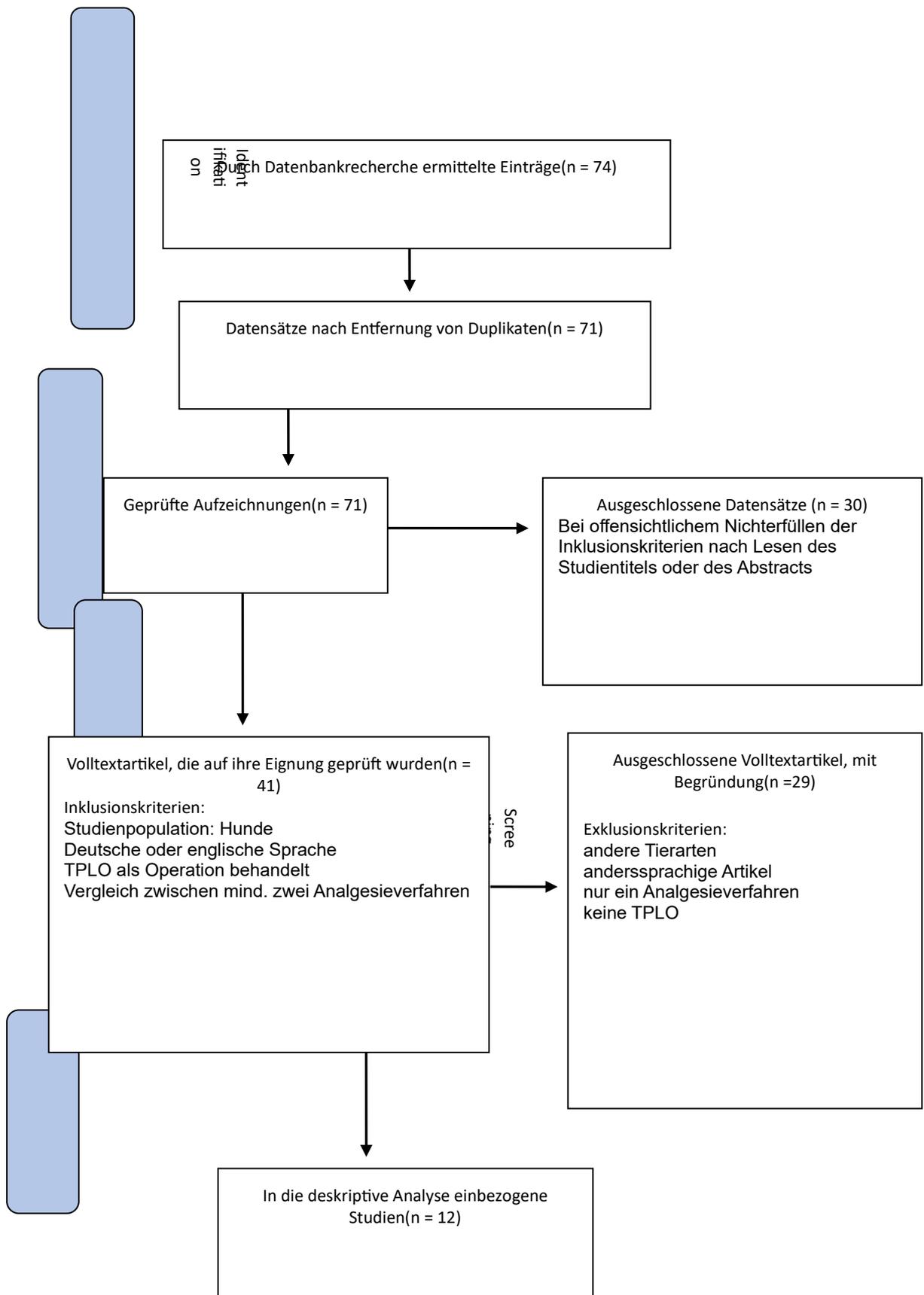


Abb. 13: Flussdiagramm in Anlehnung an das PRISMA flow diagram

Eignung

Ergebnisse

3.1. Inkludierte Studien

Insgesamt konnten zwölf Studien gefunden werden, die sich mit der intraoperativen Anästhesie bzw. Anästhesie während der TPLO-Operation beim Hund beschäftigen. Bei allen in diese Übersichtsarbeit inkludierten Studien handelt es sich um prospektive Arbeiten.

Die Arbeiten wurden allesamt in den Jahren zwischen 2005 und 2022 publiziert. Bei den Publikationsmedien handelte es sich in sechs Fällen um „Veterinary Anesthesia and Analgesia“ (VAA), in je zwei Fällen um das „Journal of the American Veterinary Medical Association“ (JAVMA) und um „Veterinary Surgery“ (Vet Surg.), sowie jeweils in einem Fall um „Tierärztliche Praxis Kleintiere“ (Tierärztliche Praxis (K)) und um „Biomedcentral Veterinary Research“ (BMC).

Eine Auflistung der in die Analyse miteinbezogenen Studien inklusive der Angaben zu Studienautoren, Studiendesign und Veröffentlichungsmedium sowie -datum ist folgender tabellarischer Übersicht zu entnehmen (Tab. 3).

Tab. 3: Inkludierte Studien

Nr.	Titel der Studie	Studienautoren	Studiendesign	Publikationsmedium	Publikationsjahr
1	Comparison of perioperative analgesic protocols for dogs undergoing tibial plateau leveling osteotomy	Michael G. Hoelzler, Ralph C. Harvey, David A. Lidbetter und Darryl L. Millis	prospektive, randomisierte klinische Studie	VetSurg	2005
2	Comparison of bupivacaine femoral and sciatic nerve block versus bupivacaine and morphine epidural for stifle surgery in dogs	Luis Campoy, Manuel Martin-Flores, John W. Ludders, Hollis N. Erb, Robin D Gleed	prospektive, randomisierte, verblindete, klinische Studie	VAA	2012
3	Intraoperative antinociception and postoperative analgesia following epidural anesthesia versus femoral and sciatic nerve blockade in dogs undergoing stifle joint surgery	Andrea M. Caniglia, Bernd Driessen, David A. Puerto, Brian Bretz, Raymond C. Boston, M. Paula Larenza	prospektive, randomisierte, verblindete klinische Studie	JAVMA	2012
4	Comparison of short-term postoperative analgesia by epidural, femoral nerve block, or combination femoral and sciatic nerve block in dogs undergoing tibial plateau leveling osteotomy	Ryan E. McCally, Alex Bukoski, Keith R. Branson, Derek B. Fox, James L. Cook	prospektive, verblindete, randomisierte, klinische Vergleichsstudie	VetSurg	2015
5	Postoperative comparison of four perioperative analgesia	Kerrie A. Lewis, Richard M. Bednarski, Turi K. Aarnes,	randomisierte, verblindete, prospektive klinische Studie	JAVMA	2014

Vergleich verschiedener intraoperativer Analgesieverfahren zur Schmerzausschaltung bei der Tibial Plateau Leveling Osteotomy beim Hund – Techniken der Regionalanästhesie versus opioidbasierte Analgesie

	protocols in dogs undergoing stifle joint surgery	Jonathan Dyce, John A. E. Hubbell			
6	Comparison of bupivacaine and dexmedetomidine femoral and sciatic nerve blocks with bupivacaine and buprenorphine epidural injection for stifle arthroplasty in dogs	Annatasha KG Bartel, Luis Campoy, Manuel Martin-Flores, Robin D Gleed, Kyle J Walker, Courtney E Scanapico, Alison B Reichard	prospektive, randomisierte, verblindete klinische Vergleichsstudie	VAA	2016
7	Ultraschallgesteuerte Nervenblockade des Nervus femoralis und ischiadicus im Vergleich zur Epiduralanästhesie bei orthopädischen Eingriffen am Hund	Mareike Arnholz, Stephan Hungerbühler, Clarissa Weil, Alexandra F. Schütter, Karl Rohn, Julia Rünsmeyer, Sabine B. Kästner	prospektive, randomisierte, verblindete klinische Studie	Tierärztliche Praxis (K)	2017
8	Comparison of ultrasound-guided lumbar plexus and sciatic nerve blocks with ropivacaine and sham blocks with saline on perianesthetic analgesia and recovery in dogs undergoing tibial plateau leveling osteotomy surgery	Kanawee Warrit, Gregg Griffenhagen, Clara Goh, Pedro Boscan	prospektive, maskierte, randomisierte Pilotstudie	VAA	2019
9	Peripheral nerve block versus systemic analgesia in dogs undergoing tibial plateau levelling osteotomy: Analgesic efficacy and pharmacoeconomics comparison	Nunzia Palomba, Enzo Vettorato, Chiara De Gennaro, Federico Corletto	prospektive, randomisierte, klinische Studie	VAA	2020

Vergleich verschiedener intraoperativer Analgesieverfahren zur Schmerzausschaltung bei der Tibial Plateau Leveling Osteotomy beim Hund – Techniken der Regionalanästhesie versus opioidbasierte Analgesie

10	Opioid requirements after locoregional anesthesia in dogs undergoing tibial plateau levelling osteotomy: a pilot study	Vincent Marolf, Claudia Spadavecchia, Nicole Müller, Charlotte Sandersen, Helene Rohrbach	prospektive, verblindete, randomisierte, placebokontrollierte, klinische Vergleichsstudie	VAA	2021
11	Effects of perioperative saphenous and sciatic nerve blocks, lumbosacral epidural or morphine lidocaine ketamine infusion on postoperative pain and sedation in dogs undergoing tibial plateau leveling osteotomy	Alexandra B Kalamaras, Turi K Aarnes, Sarah A Moore, Stephen C Jones, Carolina Ricco Pereira, Juan Peng, Nina R Kieves	prospektive, verblindete, randomisierte, klinische Vergleichsstudie	VAA	2021
12	A comparison of 0.375% ropivacaine psoas compartment block and 2% prilocaine spinal anaesthesia in dogs undergoing tibial plateau levelling osteotomy	Diego Sarotti, Elena Lardone, Lisa Piras, Davide Mancusi, Paolo Franci	nicht näher bezeichnete Studie	BMC	2022

3.1.1. Studienziel

In Bezug auf das Studienziel, wurden für die Auswahl der zu evaluierenden Arbeiten solche berücksichtigt, welche Vergleiche zwischen verschiedenen Verfahren der intraoperativen Analgesie anstellten. Nachfolgend ist eine Auflistung der einzelnen wissenschaftlichen Arbeiten inklusive deren Ziel in Tabellenform abgebildet.

Vier von zwölf der Studien richten dabei ihren Fokus auf die postoperativen Auswirkungen des jeweiligen perioperativen Analgesieverfahrens (Caniglia et al., 2012; Hoelzler et al., 2005; Lewis et al., 2014; McCally et al., 2015).

Tab. 4: Studienziele der einzelnen Arbeiten

Nr.	Titel der Studie	Studienziel
1	Hoelzler et al. (2005) Comparison of perioperative analgesic protocols for dogs undergoing tibial plateau leveling osteotomy	Vergleich von drei gängigen perioperativen Analgesieprotokollen (Epiduralanästhesie, intraartikuläre Injektionen, intravenöse Injektionen) zum Management des postoperativen Schmerzes bei Hunden nach einer TPLO
2	Campoy et al. (2012) Comparison of bupivacaine femoral and sciatic nerve block versus bupivacaine and morphine epidural for stifle surgery in dogs	Evaluierung der Effektivität eines kombinierten N. femoralis- und N. ischiadicus-Blocks als Alternative zu Epidural- oder Allgemeinanästhesie bei Hunden mit Knieoperationen
3	Caniglia et al. (2012) Intraoperative antinociception and postoperative analgesia following epidural anesthesia versus femoral and sciatic nerve blockade in dogs undergoing stifle joint surgery	Vergleich der analgetischen Effektivität einer präoperativen Epiduralanästhesie und eines N. femoralis- und N. ischiadicus-Blocks bei Hunden mit orthopädischen Operationen der Hinterextremität
4	McCally et al. (2015) Comparison of short-term postoperative analgesia by epidural, femoral nerve block, or combination femoral and sciatic nerve block in dogs undergoing tibial plateau leveling osteotomy	Vergleich der frühen postoperativen Analgesie bei Hunden mit unilateraler TPLO, die Bupivacain via eines präoperativen N. femoralis-Blocks, eines kombinierten N. femoralis- und N- ischiadicus-Blocks oder lumbosakraler Epiduralanästhesie erhielten
5	Lewis et al. (2014)	Vergleich von vier Analgesieprotokollen bei Hunden mit Operationen am Kniegelenk

Vergleich verschiedener intraoperativer Analgesieverfahren zur Schmerzausschaltung bei der Tibial Plateau Leveling Osteotomy beim Hund – Techniken der Regionalanästhesie versus opioidbasierte Analgesie

	Postoperative comparison of four perioperative analgesia protocols in dogs undergoing stifle joint surgery	
6	Bartel et al. (2016) Comparison of bupivacaine and dexmedetomidine femoral and sciatic nerve blocks with bupivacaine and buprenorphine epidural injection for stifle arthroplasty in dogs	Vergleich der Anästhesie- und Analgesiequalität peripherer Blockaden des N. femoralis und N. ischiadicus mit Bupivacain und Dexmedetomidin mit jener einer Epiduralanästhesie mit Bupivacain und Buprenorphin bei Hunden mit unilateralen Kniegelenksoperationen
7	Arnholz et al. (2017) Ultraschallgesteuerte Nervenblockade des Nervus femoralis und ischiadicus im Vergleich zur Epiduralanästhesie bei orthopädischen Eingriffen am Hund	Vergleich eines ultraschallgestützten N. femoralis- und N. ischiadicus-Blocks mit der Epiduralanästhesie mit Bupivacain und Morphin bei der orthopädischen Chirurgie der Hinterextremität beim Hund hinsichtlich der analgetischen Effektivität, des klinischen Nutzens und der Nebenwirkungen
8	Warrit et al. (2019) Comparison of ultrasound-guided lumbar plexus and sciatic nerve blocks with ropivacaine and sham blocks with saline on perianesthetic analgesia and recovery in dogs undergoing tibial plateau leveling osteotomy surgery	Beurteilung der Effekte eines ultraschallgestützten Plexus lumbalis-Blocks in Kombination mit einem N. ischiadicus-Block auf die intraoperative Analgesie und die Genesungsqualität bei der TPLO beim Hund
9	Palomba et al. (2020) Peripheral nerve block versus systemic analgesia in dogs undergoing tibial plateau levelling osteotomy: Analgesic efficacy and pharmacoeconomics comparison	Vergleich von perioperativen und ökonomischen Effekten peripherer Nervenblockaden mit einer „target-controlled infusion“ mit Fentanyl bei Hunden mit TPLO

10	Marolf et al. (2021) Opioid requirements after locoregional anesthesia in dogs undergoing tibial plateau levelling osteotomy: a pilot study	Bestimmung des intra- und frühen postoperativen Opioidbedarfs nach N. ischiadicus- und/oder N. femoralis-Blockade oder Epiduralanästhesie mit Ropivacain bei der TPLO beim Hund
11	Kalamaras et al. (2021) Effects of perioperative saphenous and sciatic nerve blocks, lumbosacral epidural or morphine-lidocaine-ketamine infusion on postoperative pain and sedation in dogs undergoing tibial plateau leveling osteotomy	Vergleich der postoperativen Analgesie und Sedation nach präoperativen N. ischiadicus- und N. saphenous-Blocks, präoperativer lumbosakraler Epiduralanästhesie und intraoperativer intravenöser Applikation von Morphin-Lidocain-Ketamin-Infusionen bei Hunden, welche eine Kniegelenksarthroskopie und eine TPLO unter Allgemeinanästhesie erhielten
12	Sarotti et al. (2022) A comparison of 0.375% ropivacaine psoas compartment block and 2% prilocaine spinal anaesthesia in dogs undergoing tibial plateau levelling osteotomy	Vergleich der perioperativen analgetischen Effekte und der Zeit bis zur motorischen Wiederherstellung zwischen der Spinalanästhesie mit Prilocain und Morphin und des Nervenstimulator- und ultraschallgestützten Psoas-Kompartiment- und N. ischiadicus-Blocks mit 0,375%igem Ropivacain

3.1.2. Studienpopulation

Die Tieranzahl in den ausgewählten Studien variierte im Bereich von 19 bis 58 Hunden, wobei die Arbeiten von Campoy et al. (2012) die wenigsten und Sarotti et al. (2022) die meisten Studienteilnehmer aufwiesen.

In acht der dreizehn Studien fanden sich keinerlei Angaben zum Geschlecht der Probanden (Bartel et al., 2016; Campoy et al., 2012; Hoelzler et al., 2005; Lewis et al., 2014; Marolf et al., 2021; McCally et al., 2015; Palomba et al., 2020; Sarotti et al., 2022).

Im wissenschaftlichen Bericht von Caniglia et al. (2012) unterteilte sich die Studienpopulation in elf weiblich kastrierte Hündinnen und zehn männlich kastrierte Rüden. Die Teilnehmer in der Publikation von Arnholz et al. (2017) gliedern sich in sieben weibliche und jeweils fünf männliche, männlich kastrierte und weiblich kastrierte Hunde. Warrit et al. (2019) betrachten eine Hundepopulation, die sich aus neun weiblichen und elf männlichen Probanden zusammensetzt. Das Geschlechterverhältnis in der Arbeit von Kalamaras et al. (2021) verteilt sich wie folgt: Von den Studienteilnehmern ist ein Tier männlich, zwei Tiere sind weiblich, und 20 bzw. 22 Hunde sind weiblich- bzw. männlich kastriert.

Das Alter der Probanden in allen betrachteten Studien reicht von acht Monaten im Forschungsbericht von Sarotti et al. (2022) bis zwölf Jahren in jenen von Caniglia et al. (2012), Marolf et al. (2021) sowie Sarotti et al. (2022).

Bezüglich des Körpergewichts der Hunde, die an den jeweiligen Studien teilnahmen, ergeben sich sowohl der geringste Wert mit 11,2 kg und der größte Wert von 60,3 kg in der Arbeit von Caniglia et al. (2012).

Im Anschluss ist eine Übersicht der aus den im Rahmen dieser Abschlussarbeit erhobenen demographischen Daten mit detaillierten Informationen zu Tieranzahl, Geschlecht, Kastrationsstatus, Alter, Körpergewicht und wenn angegeben auch zur Klasse nach der American Society of Anesthesiologists (ASA-Klasse) in Tabellenform abgebildet (Tab. 5).

Tab. 5: Demographische Daten der einzelnen Studien

Nr.	Studien	Tieranzahl	Geschlecht				Alter	Körpergewicht	ASA-Klasse
			w	wk	m	mk			
1	Hoelzler et al. (2005)	56 Hunde	keine Angabe				2-10 Jahre	20-50 kg	k.A.
2	Campoy et al. (2012)	20 (19) Hunde	keine Angabe				Ø 3 Jahre (1-8)	37 ± 11 kg	I+II
3	Caniglia et al. (2012)	22 (21) Hunde	-	11	-	10	2-12 Jahre EPI: 5,1 ± 0,9 Jahre F+S: 5,6 ± 2,7 Jahre	11,2 – 60,3 kg EPI: ø 27,2 ± 13,8 kg F+S: ø 33,3 ± 3,7 kg	I
4	McCally et al. (2015)	54 Hunde	keine Angabe				Ø 4,3 Jahre (1-8)	Ø 37 (20-58 kg)	I+II
5	Lewis et al. (2014)	48 Hunde	keine Angabe				k.A.	k.A.	k.A.
6	Bartel et al. (2016)	26 Hunde	keine Angabe				Ø 5 Jahre (1-11)	36 ± 10 kg	I+II
7	Arnholz et al. (2017)	22 Hunde EPI: 11 PNB: 11	EPI: 3 PNB: 4	EPI: 3 PNB: 2	EPI: 3 PNB: 2	EPI: 2 PNB: 3	EPI: 2,7 ± 2,3 PNB: 4 ± 3,7	EPI: 27,9 ± 16,3 kg PNB: 28,9 ± 16,2 kg	I+II
8	Warrit et al. (2019)	20 Hunde	RA: 4	-	RA: 6	-	RA: Ø 6 Jahre (3-9)	RA: 34 ± 4.5 kg	II

			C: 5		C: 5		C: Ø 6 Jahre (2-7)	C: 33.2 ± 7.2 kg	
9	Palomba et al. (2020)	39 Hunde	keine Angabe				k.A.	6-50 kg	I+II
10	Marolf et al. (2021)	40 Hunde (10/Gruppe)	keine Angabe				Ø 6,0 ± 2,6 Jahre	36,8 ± 10,1 kg S: 45,85 ± 12,02 kg F+S: 32,9 ± 6,13 kg F: 34,55 ± 8,01kg EPI: 33,74 ± 5,96 kg	I+II
11	Kalamaras et al. (2021)	45 Hunde (15/Gruppe)	2	20	1	22	Ø 5,2 Jahre (1-12)	33,9 (15,9-56,7) kg	k.A.
12	Sarotti et al. (2022)	58 Hunde PNB: 29 SPINAL: 29	keine Angabe				SPINAL: Ø 7 Jahre (0,8–10) PNB: Ø 7 Jahre (1–12)	SPINAL: Ø 23,5 (4-56) kg PNB: Ø 24 (5-56) kg	I+II

Legende: C = Kontrollgruppe, EPI = Epiduralanästhesie, F+S = N. femoralis und N. ischiadicus-Block, PNB = periphere Nervenblockaden, RA = Regionalanästhesie, S = N. ischiadicus-Block, SPINAL = Spinalanästhesie

3.2. Angewandte Medikamente zur Allgemeinanästhesie

3.2.1. Prämedikation

Aus den zwölf evaluierten Studien setzen drei Acepromazin (in Dosierungen von 0,02 – 0,05 mg/kg) und Hydromorphon (in Dosierungen von 0,05 – 0,1 mg/kg) im Rahmen der Prämedikation über eine intramuskuläre Applikationsroute ein (Bartel et al., 2016; Campoy et al., 2012; Hoelzler et al., 2005). Bartel et al. (2016) kombinieren diese beiden Wirkstoffe noch mit einer präoperativen, peroralen Gabe von Natriumcitrat (20 mg/kg).

In weiteren drei Studien von Caniglia et al. (2012), Kalamaras et al. (2021) und Lewis et al. (2014) wird Acepromazin (0,02 – 0,1 mg/kg, i.m.) mit Morphin (0,2 – 0,4 mg/kg, i.m.) kombiniert.

McCally et al. (2015) prämedizieren die Studienteilnehmer intramuskulär mit einer Kombination aus Dexmedetomidin (5 µg/kg, i.m.) und Hydromorphon (0,1 mg/kg, i.m.). Im wissenschaftlichen Bericht von Sarotti et al. (2022) wird Dexmedetomidin (1 µg/kg, i.m.) in der Teilnehmergruppe, welche eine PNB erhält, gemeinsam mit Methadonhydrochlorid (0,2 mg/kg, i.m.) verabreicht, während die Spinalanästhesie-Gruppe lediglich Dexmedetomidin (1 µg/kg, i.m.) erhält.

Bei Marolf et al. (2021) dient eine solitäre Verabreichung von Acepromazin (0,02 mg/kg i.m.) als Prämedikation, während dieses in selbiger Dosierung in der Arbeit von Palomba et al. (2020) zusammen mit Methadon (0,2 mg/kg, i.m.) und in der Arbeit von Arnholz et al. (2017) mit Levomethadon-Fenpipramid (0,2 mg/kg, i.v.) angewandt wird.

Warrit et al. (2019) führen im Zuge ihrer Studie die Prämedikation mit Hydromorphon (0,2 mg/kg, s.c.) und Atropin (0,02 mg/kg, s.c.) durch.

3.2.2. Einleitung

Um die Anästhesie einzuleiten, wird in elf Studien Propofol verwendet. Dazu wird es zumeist nach Wirkung, aber auch nach bestimmten Dosierungen (zwischen 2 und 6 mg/kg) intravenös appliziert (Arnholz et al., 2017; Bartel et al., 2016; Campoy et al., 2012; Caniglia et al., 2012; Kalamaras et al., 2021; Lewis et al., 2014; Marolf et al., 2021; McCally et al., 2015; Palomba et al., 2020; Sarotti et al., 2022; Warrit et al., 2019) Alternativ erfolgt die Einleitung in der Arbeit von Caniglia et al. (2012) mithilfe von Diazepam (0,3 mg/kg, i.v.) und Propofol (2 – 6 mg/kg, i.v.) und in jener von Palomba et al. (2020) entweder mit Propofol oder mit Alfaxalon jeweils nach Effekt.

Hoelzler et al. (2005) stellen keine Informationen bezüglich der zur Einleitung (und Erhaltung) herangezogenen Medikamente zur Verfügung.

3.2.3. Erhaltung

Die Anästhesieerhaltung wird in zehn Arbeiten mit Isofluran durchgeführt. Bei Caniglia et al. (2012) wird die Anästhesie mithilfe von Sevofluran aufrechterhalten. In der Studie von Hoelzler et al. (2005) gibt es keinerlei Angaben zum für die Erhaltung eingesetzten Narkosegas.

In acht der zwölf Arbeiten lassen sich Angaben zur endtidalen Konzentration des eingesetzten Inhalationsanästhetikums auffinden.

In der Studie von Campoy et al. (2012) wird von endtidalen Isoflurankonzentrationen im Bereich von 0,5 bis 1,8% berichtet, wobei diese in der Epiduralanästhesie-Gruppe signifikant geringer sind als in der Teilnehmergruppe, welche einen kombinierten *N. femoralis*- und *N. ischiadicus*-Block erhält ($p = 0,05$).

Bei Sarotti et al. (2022) hatte die Gruppe mit PNB ebenso höhere endtidale Isoflurankonzentrationen, hier mit 1,3% (0,9 - 1,4%) auch signifikant höher als bei der Spinalanästhesiegruppe mit 1,2% (0,8 - 1,4%) ($p = 0,01$).

Bei Caniglia et al. (2012) liegt die endtidale Sevoflurankonzentration zwischen 1,9% und 2,1%, wobei hier kein Unterschied im Vergleich zwischen den einzelnen intraoperativ angewandten Analgesieverfahren besteht.

Auch Lewis et al. (2014) verzeichnen keine Differenzen in Bezug auf die endtidale Isoflurankonzentration zwischen den Hunden, die eine Epiduralanästhesie bzw. eine systemische Analgesie erhalten.

Ebenso können bei Bartel et al. (2016) keine statistisch signifikanten Unterschiede der endtidalen Isoflurankonzentration zwischen den Hunden mit Epiduralanästhesie und jenen mit PNB nachgewiesen werden, welche sich zwischen 0,5% und 1,8% bewegt.

Zum selben Ergebnis kommen auch Arnholz et al. (2017). Initial liegt im Rahmen dieser Studie die endtidale Konzentration an Isofluran bei 1,2%.

Palomba et al. (2020) berichten in ihrer Arbeit von einer endtidalen Isoflurankonzentration von 1,3 %, bevor der operative Eingriff beginnt.

Marolf et al. (2021) geben als Zielkonzentration für das enttidale Isofluran während der Anästhesie einen Wert von 1,3% an.

Der anschließenden Tabelle (Tab. 6) sind Informationen zu den angewandten Medikamenten und Wirkstoffen zur Prämedikation, Einleitung und Erhaltung zu entnehmen. Es finden sich ebenso explizite Dosisangaben der jeweiligen Medikationen und deren Applikationsweg.

Tab. 6: Angewandte Medikamente zur Allgemeinanästhesie

Nr.	Studien	Prämedikation	Einleitung	Erhaltung
1	Hoelzler et al. (2005)	<ul style="list-style-type: none"> • Acepromazin 0,05 mg/kg (i.m.) • Hydromorphon 0,05 mg/kg (i.m.) 	keine Angabe	keine Angabe
2	Campoy et al. (2012)	<ul style="list-style-type: none"> • Acepromazin 0,02 mg/kg (i.m.) • Hydromorphon 0,1 mg/kg (i.m.) 	<ul style="list-style-type: none"> • Propofol nach Wirkung (i.v.) 	<ul style="list-style-type: none"> • Isofluran in Sauerstoff
3	Caniglia et al. (2012)	<ul style="list-style-type: none"> • Acepromazin 0,02 mg/kg (i.m.) • Morphin 0,3 mg/kg (i.m.) 	<ul style="list-style-type: none"> • Diazepam 0,3 mg/kg (i.v.) • Propofol 2-6 mg/kg (i.v.) 	<ul style="list-style-type: none"> • Sevofluran in Sauerstoff
4	McCally et al. (2015)	<ul style="list-style-type: none"> • Dexmedetomidin 5 µg/kg (i.m.) • Hydromorphon 0,1 mg/kg (i.m.) 	<ul style="list-style-type: none"> • Propofol nach Wirkung (i.v.) 	<ul style="list-style-type: none"> • Isofluran in Sauerstoff
5	Lewis et al. (2014)	<ul style="list-style-type: none"> • Acepromazin 0,02-0,1 mg/kg (i.m.) Maximaldosis 3mg • Morphin 0,4 mg/kg (i.m.) 	<ul style="list-style-type: none"> • Propofol 3-5 mg/kg nach Wirkung (i.v.) 	<ul style="list-style-type: none"> • Isofluran in Sauerstoff
6	Bartel et al. (2016)	<ul style="list-style-type: none"> • Natriumcitrat 20 mg/kg (p.o.) • Acepromazin 0,02 mg/kg (i.m.) • Hydromorphon 0,1 mg/kg (i.m.) 	<ul style="list-style-type: none"> • Propofol nach Wirkung (i.v.) 	<ul style="list-style-type: none"> • Isofluran in einem Sauerstoff/Luft-Gemisch
7	Arnholz et al. (2017)	<ul style="list-style-type: none"> • Acepromazin 0,02 mg/kg (i.m.) • Levomethadon-Fenpipramid 0,2 mg/kg (i.v.) 	<ul style="list-style-type: none"> • Propofol nach Wirkung (i.v.) 	<ul style="list-style-type: none"> • Isofluran in 50% Sauerstoff

8	Warrit et al. (2019)	<ul style="list-style-type: none"> Hydromorphon 0,2 mg/kg (s.c.) Atropin 0,02 mg/kg (s.c.) 	<ul style="list-style-type: none"> Propofol 4,4 ± 1,5 mg/kg (Gruppe RA) 4,6 ± 1,3 mg/kg (Kontrollgruppe) 	<ul style="list-style-type: none"> Isofluran
9	Palomba et al. (2020)	<ul style="list-style-type: none"> Acepromazin 20 µg/kg (i.m.) Methadon 0,2 mg/kg (i.m.) 	<ul style="list-style-type: none"> Propofol nach Wirkung (i.v.) oder Alfaxalon nach Wirkung (i.v.) 	<ul style="list-style-type: none"> Isofluran in Sauerstoff
10	Marolf et al. (2021)	<ul style="list-style-type: none"> Acepromazin 0,02 mg/kg (i.m.) 	<ul style="list-style-type: none"> Propofol nach Wirkung (i.v.) 	<ul style="list-style-type: none"> Isofluran in 100% Sauerstoff
11	Kalamaras et al. (2021)	<ul style="list-style-type: none"> Acepromazin 0,05 mg/kg (i.m.) Morphin 0,2 mg/kg (i.m.) 	<ul style="list-style-type: none"> Propofol 2-6mg/kg nach Wirkung (i.v.) 	<ul style="list-style-type: none"> Isofluran in Sauerstoff
12	Sarotti et al. (2022)	<u>PNB:</u> <ul style="list-style-type: none"> Dexmedetomidin 1 µg/kg (i.m.) Methadonhydrochlorid 0,2 mg/kg (i.m.) <u>SPINAL:</u> <ul style="list-style-type: none"> Dexmedetomidin 1 µg/kg (i.m.) 	<ul style="list-style-type: none"> Propofol nach Wirkung (i.v.) 	<ul style="list-style-type: none"> Isofluran in einem Luft/Sauerstoff-Gemisch

Legende: PNB = periphere Nervenblockaden, SPINAL = Spinalanästhesie

3.3. Zusätzliche Standardanalgesie (NSAIDs, Opiode etc.)

Ergänzend zu den Verfahren der intraoperativen Analgesie wurden in den ausgewählten Studien nichtsteroidale Antiphlogistika bzw. Opiode unter anderem dazu gebraucht, um den schmerzlindernden Effekt in synergistischer Weise zu verbessern bzw. zu potenzieren.

In der Auswertung im Zuge dieser vergleichenden Übersichtsarbeit wurde zwischen der prä-, peri- und postoperativen Applikation dieser Medikamente unterschieden.

3.3.1. NSAIDs

Von einer präoperativen Schmerztherapie in Form der nichtsteroidalen Entzündungshemmer Carprofen (2 mg/kg, p.o. oder 4 mg/kg, s.c.), Deracoxib (2 mg/kg, p.o.) oder Firocoxib (5 mg/kg, p.o.), war lediglich in der Studie von Campoy et al. (2012) die Rede. Die an der Studie teilnehmenden Hunde erhielten einen der Wirkstoffe innerhalb von zwölf Stunden vor der Einleitung der Anästhesie.

Eine intraoperative Versorgung mit NSAIDs erfolgte in insgesamt zwei Studien. Warrit et al. (2019) injizierten am Ende der operative Eingriffe Carprofen (2,2 mg/kg) subkutan. In der Publikation von Sarotti et al. (2022) wird gegen Ende der OP Meloxicam (0,2 mg/kg) über eine intravenöse Route eingesetzt.

Post operationem wird in vier Arbeiten von einer ergänzenden NSAID-Anwendung berichtet. Die Studienteilnehmer im wissenschaftlichen Bericht von Lewis et al. (2014) wurden über einen durchschnittlichen Zeitraum von zehn Tagen mit nicht näher definierten NSAIDs therapiert.

Bartel et al. (2016) und Marolf et al. (2021) versorgten die Probanden zum Extubationszeitpunkt mit subkutanem Carprofen (4 mg/kg i.v.).

Die Standardschmerzmedikation nach der Operation stellten in der Arbeit von Kalamaras et al. (2021) entweder Carprofen (2,2 mg/kg, s.c.), Meloxicam (0,1 mg/kg, s.c.) oder Deracoxib (2 mg/kg p.o.) dar. Die ersten beiden Wirkstoffe kamen erstmalig direkt nach der Extubation, letzter innerhalb der ersten zwölf Stunden nach dem operativen Eingriff zur Anwendung.

Anschließend wurden die Analgetika in 24-Stunden-Intervallen peroral eingenommen (Carprofen 2,2 mg/kg, Meloxicam 0,1 mg/kg). Trazodon (4 – 10 mg/kg, p.o.) und Gabapentin (10 – 20 mg/kg, p.o.) vervollständigten in dieser Studie die Schmerztherapie, indem sie alle acht bis zwölf Stunden verabreicht wurden.

3.3.2. Opioide

Präoperativ kommt es – abgesehen von der Prämedikation – in keiner Studie zu einem darüberhinausgehenden Einsatz von Opioidanalgetika.

Eine intraoperative Applikation von Opioiden erfolgte in einer Studie von Warritt et al. (2019) gegen Operationsende in Form von Hydromorphon (0,1 mg/kg) über eine subkutane Injektion.

Insgesamt vier der in die Betrachtung eingeschlossenen Studien benutzen Opioide im Rahmen der postoperativen Schmerzbekämpfung.

Die teilnehmenden Hunde in der Studie von Marolf et al. (2021) erhielten 150 Minuten nach Erholung von der Operation erstmals Buprenorphin (0,02 mg/kg, i.v.) standardmäßig als Schmerzmedikation und dann in Abständen von acht Stunden sowie am Morgen nach dem chirurgischen Eingriff.

Im klinischen Versuch von Arnholz et al. (2017) wird die postoperative Schmerztherapie mittels alle sechs Stunden verabreichtem subkutanem Methadon (0,2 mg/kg) bewerkstelligt.

Von einer einmaligen Hydromorphon-Injektion (0,05 mg/kg, i.v.) zum Zeitpunkt der Extubation ist im Artikel von Hoelzler et al. (2005) zu lesen.

Die Fortsetzung der Schmerztherapie wurde sechs Stunden nach der Extubation und von diesem Zeitpunkt an in einem Intervall von acht Stunden während des gesamten Beobachtungszeitraumes in der Arbeit von Bartel et al. (2016) mithilfe von Tramadol (3 mg/kg, p.o.) gewährleistet.

Tab. 7: Zusätzliche Standardanalgesie

Nr.	Studie	Zusätzliche Analgetika PRÄOPERATIV	Zusätzliche Analgetika INTRAOPERATIV	Zusätzliche Analgetika POSTOPERATIV
1	Hoelzler et al. (2005)	-	-	<ul style="list-style-type: none"> Hydromorphon (0,05 mg/kg i.v.) bei der Extubation
2	Campoy et al. (2012)	<ul style="list-style-type: none"> innerhalb von 12h vor der Einleitung: Carprofen (2 mg/kg p.o.) oder (4mg/kg s.c.) oder Deracoxib (2 mg/kg p.o.) oder Firocoxib (5 mg/kg p.o.) 	-	-
3	Caniglia et al. (2012)	-	-	-
4	McCally et al. (2015)	-	-	-
5	Lewis et al. (2014)			<ul style="list-style-type: none"> NSAIDs für ø 10 Tage
6	Bartel et al. (2016)	-	-	<ul style="list-style-type: none"> Carprofen (4mg/kg s.c.) bei der Extubation und Tramadol (3 mg/kg p.o.) 6h nach Extubation + alle 8h während des Beobachtungszeitraums (unabhängig vom Schmerzscore)
7	Arnholz et al. (2017)	-	-	<ul style="list-style-type: none"> Methadon (0,2 mg/kg s.c.) alle 6h

8	Warrit et al. (2019)	-	<ul style="list-style-type: none"> • am Ende der Operation: • Carprofen (2,2 mg/kg s.c.) und • Hydromorphon (0,1 mg/kg s.c.) 	-
9	Palomba et al. (2020)	-	-	-
10	Marolf et al. (2021)	-	-	<ul style="list-style-type: none"> • bei der Extubation: • Carprofen (4 mg/kg i.v.) • Buprenorphin (0,02 mg/kg i.v.) ab 150 min nach der Operation, dann alle 8h als Standardschmerzmedikation während des Spitalaufenthaltes; Wiederholung am Morgen nach der OP
11	Kalamaras et al. (2021)	-	-	<ul style="list-style-type: none"> • Carprofen (2,2 mg/kg s.c.) oder • Meloxicam (0,1 mg/kg s.c.) sofort nach Extubation oder • Deracoxib (2 mg/kg p.o.) innerhalb von 12h post OP mit einer Mahlzeit • Gabapentin (10-20 mg/kg p.o.) + Trazodon (4-10 mg/kg p.o.) alle 8-12h ab der ersten Mahlzeit nach der OP • Carprofen (2.2 mg/kg p.o.) • Meloxicam (0,1 mg/kg p.o.) alle 24h • Deracoxib (2 mg/kg p.o.) alle 24h
12	Sarotti et al. (2022)	-	<ul style="list-style-type: none"> • Am Ende der OP: • Meloxicam (0,2 mg/kg i.v.) 	-

3.4. Angewandte intraoperative Analgesieverfahren

In den im Rahmen dieser Arbeit evaluierten Studien werden in insgesamt zehn Fällen periphere Nervenblockaden (PNB) zur intraoperativen Analgesie eingesetzt, in neun Fällen wird dazu die Epiduralanästhesie (EPI) und in fünf Fällen Verfahren der systemischen Pharmakotherapie (SYST) angewandt. In jeweils einem Artikel kommen die Spinalanästhesie (SPINAL) bzw. die intraartikuläre Applikation (IA) von Analgetika zum Einsatz.

Dabei stellen sechs Studien einen Vergleich zwischen den beiden lokoregionalen Anästhesieverfahren – der Epiduralanästhesie und den PNB – an (Arnholz et al., 2017; Bartel et al., 2016; Campoy et al., 2012; Caniglia et al., 2012; Marolf et al., 2021; McCally et al., 2015). Palomba et al. (2020) und Warrit et al. (2019) vergleichen den Einsatz peripherer Nervenblockaden mit dem systemischen Einsatz von Opioiden.

Jeweils eine Studie behandelt die vergleichende Anwendung systemischer Analgetika und der Epiduralanästhesie (Lewis et al., 2014), PNB und die Spinalanästhesie (Hoelzler et al., 2005), bzw. die systemische Anästhesie mittels Opioiden, die Epiduralanästhesie sowie die Applikation intraartikulärer Analgetika (Sarotti et al., 2022).

Zur besseren Übersicht werden die miteinander verglichenen Analgesieverfahren in den jeweiligen Studien in folgender Tabelle (Tab. 8) dargestellt.

Tab. 8: Angewandte Analgesieverfahren

Nr.	Titel der Studie	Analgesieverfahren
1	Hoelzler et al. (2005) Comparison of perioperative analgesic protocols for dogs undergoing tibial plateau leveling osteotomy	EPI + IA + SYST
2	Campoy et al. (2012) Comparison of bupivacaine femoral and sciatic nerve block versus bupivacaine and morphine epidural for stifle surgery in dogs	EPI+PNB

3	Caniglia et al. (2012) Intraoperative antinociception and postoperative analgesia following epidural anesthesia versus femoral and sciatic nerve blockade in dogs undergoing stifle joint surgery	EPI+PNB
4	McCally et al. (2015) Comparison of short-term postoperative analgesia by epidural, femoral nerve block, or combination femoral and sciatic nerve block in dogs undergoing tibial plateau leveling osteotomy	EPI+PNB
5	Lewis et al. (2014) Postoperative comparison of four perioperative analgesia protocols in dogs undergoing stifle joint surgery	EPI+SYST
6	Bartel et al. (2016) Comparison of bupivacaine and dexmedetomidine femoral and sciatic nerve blocks with bupivacaine and buprenorphine epidural injection for stifle arthroplasty in dogs	EPI+PNB
7	Arnholz et al. (2017) Ultraschallgesteuerte Nervenblockade des Nervus femoralis und ischiadicus im Vergleich zur Epiduralanästhesie bei orthopädischen Eingriffen am Hund	EPI+PNB
8	Warrit et al. (2019) Comparison of ultrasound-guided lumbar plexus and sciatic nerve blocks with ropivacaine and sham blocks with saline on perianesthetic analgesia and recovery in dogs undergoing tibial plateau leveling osteotomy surgery	PNB + SYST
9	Palomba et al. (2020) Peripheral nerve block versus systemic analgesia in dogs undergoing tibial plateau levelling osteotomy: Analgesic efficacy and pharmacoeconomics comparison	PNB+SYST
10	Marolf et al. (2021) Opioid requirements after locoregional anesthesia in dogs undergoing tibial plateau levelling osteotomy: a pilot study	EPI+PNB

11	Kalamaras et al. (2021) Effects of perioperative saphenous and sciatic nerve blocks, lumbosacral epidural or morphine-lidocaine-ketamine infusion on postoperative pain and sedation in dogs undergoing tibial plateau leveling osteotomy	EPI+PNB+SYST
12	Sarotti et al. (2022) A comparison of 0.375% ropivacaine psoas compartment block and 2% prilocaine spinal anaesthesia in dogs undergoing tibial plateau levelling osteotomy	PNB + SPINAL

Legende: EPI = Epiduralanästhesie, IA = intraartikuläre Applikation von Analgetika, PNB = periphere Nervenblockaden, SPINAL = Spinalanästhesie, SYST = systemische Pharmakotherapie

3.4.1. Periphere Nervenblockaden

Bei den elf Arbeiten, die sich unter anderem mit der Anwendung peripherer Nervenblockaden auseinandersetzen, zielen sieben davon auf eine medikamentöse Ausschaltung des *N. femoralis* und des *N. ischiadicus* ab (Arnholz et al., 2017; Bartel et al., 2016; Campoy et al., 2012; Caniglia et al., 2012; Marolf et al., 2021; McCally et al., 2015; Palomba et al., 2020).

In der Studie von McCally et al. (2015) gelangt darüber hinaus die alleinige Blockade des *N. femoralis* zur Anwendung. Weiters werden in der Arbeit von Marolf et al. (2021) zusätzlich eine isolierte *N. femoralis*- bzw. *N. ischiadicus*-Blockade durchgeführt. In einer weiteren Studie wird der *Plexus lumbalis* in Kombination mit dem *N. ischiadicus* durch Lokalanästhetika betäubt (Warrit et al., 2019). Zudem untersuchen Kalamaras et al. (2021) die perioperativen Effekte einer kombinierten *N. saphenus*- und *N. ischiadicus* Blockade. Die Arbeit von Sarotti et al. (2022) behandelt die Kombination eines Psoas-Kompartiment- und eines *N. ischiadicus*-Blocks.

Vier Studien verwenden einen Nervenstimulator (ES), um eine erfolgreiche periphere Nervenblockade sicherzustellen (Campoy et al., 2012; Caniglia et al., 2012; McCally et al., 2015; Palomba et al., 2020). In weiteren vier Studien wird der Nervenblock ultraschallgestützt durchgeführt (Arnholz et al., 2017; Bartel et al., 2016; Kalamaras et al., 2021; Marolf et al.,

2021). In den Studien von Sarotti et al. (2022) und Warrit et al. (2019) wird die Erfolgskontrolle der PNB mittels beider Hilfsmittel vorgenommen.

Bei den zur Durchführung einer PNB eingesetzten Lokalanästhetika handelt es sich in zwei Fällen um Bupivacain (Campoy et al., 2012; McCally et al., 2015) in vier Fällen um Ropivacain (Kalamaras et al., 2021; Marolf et al., 2021; Sarotti et al., 2022; Warrit et al., 2019), in jeweils einem Fall um Levobupivacain (Palomba et al., 2020), eine Kombination aus Bupivacain und Lidocain (Caniglia et al., 2012), Bupivacain und Morphinsulfat (Arnholz et al., 2017) und Bupivacain und Dexmedetomidin (Bartel et al., 2016).

Im Anschluss sind die in den Studien durchgeführten peripheren Nervenblockaden inklusive den angewandten Medikamenten inklusive Dosierungen und die eingesetzte Methode zur Erfolgskontrolle des Blocks in tabellarischer Form dargestellt (Tab. 9).

Tab. 9: Durchgeführte periphere Nervenblockaden, verwendete Medikamente & Kontrollverfahren

Nr.	Titel der Studie	Nervenblockade	Medikamente	Kontrolle
1	Campoy et al. (2012): Comparison of bupivacaine femoral and sciatic nerve block versus bupivacaine and morphine epidural for stifle surgery in dogs	<i>N. femoralis</i> + <i>N. ischiadicus</i>	Bupivacain 0,5% (0,1 ml/kg pro Stelle)	ES
2	Caniglia et al. (2012) Intraoperative antinociception and postoperative analgesia following epidural anesthesia versus femoral and sciatic nerve blockade in dogs undergoing stifle joint surgery	<i>N. femoralis</i> + <i>N. ischiadicus</i>	Lidocain 1% (0,1 ml/kg) + Bupivacain 0,25% (0,3 ml/kg) pro Stelle	ES
3	McCally et al. (2015) Comparison of short-term postoperative analgesia by epidural, femoral nerve block, or combination femoral and sciatic nerve block in dogs undergoing tibial plateau leveling osteotomy	<i>N. femoralis</i> <i>N. femoralis</i> + <i>N. ischiadicus</i>	Bupivacain 0,5% (0,2 ml/kg pro Stelle)	ES
4	Bartel et al. (2016) Comparison of bupivacaine and dexmedetomidine femoral and sciatic nerve blocks with bupivacaine and buprenorphine epidural injection for stifle arthroplasty in dogs	<i>N. femoralis</i> + <i>N. ischiadicus</i>	Bupivacain (0,5mg/kg) + Dexmedetomidin (0,1 µg/kg) pro Stelle	Ultraschall (US)
5	Arnholz et al. (2017) Ultraschallgesteuerte Nervenblockade des Nervus femoralis und ischiadicus im Vergleich zur Epiduralanästhesie bei orthopädischen Eingriffen am Hund	<i>N. femoralis</i> + <i>N. ischiadicus</i>	Bupivacain 0,5% (0,5 mg/kg) + Morphinsulfat 1% (0,1 mg/kg)	US

6	Warrit et al. (2019) Comparison of ultrasound-guided lumbar plexus and sciatic nerve blocks with ropivacaine and sham blocks with saline on perianesthetic analgesia and recovery in dogs undergoing tibial plateau leveling osteotomy surgery	<i>N. ischiadicus</i> + <i>Plexus lumbalis</i>	Ropivacain (1,5 mg/kg, gleichmäßig auf die Nerven aufgeteilt)	ES + US
7	Palomba et al. (2020) Peripheral nerve block versus systemic analgesia in dogs undergoing tibial plateau levelling osteotomy: Analgesic efficacy and pharmacoeconomics comparison	<i>N. femoralis</i> + <i>N. ischiadicus</i>	Levobupivacain 0,5% (0,2 ml/kg für <i>N. femoralis</i> - + 0,1 ml/kg für <i>N. ischiadicus</i> -Block)	ES
8	Marolf et al. (2021) Opioid requirements after locoregional anesthesia in dogs undergoing tibial plateau levelling osteotomy: a pilot study	<i>N. femoralis</i> + <i>N. ischiadicus</i> <i>N. femoralis</i> <i>N. ischiadicus</i>	Ropivacain 0,5% (0,3 ml/kg pro Nerv, max. 10ml/Injektion)	US
9	Kalamaras et al. (2021) Effects of perioperative saphenous and sciatic nerve blocks, lumbosacral epidural or morphine-lidocaine-ketamine infusion on postoperative pain and sedation in dogs undergoing tibial plateau leveling osteotomy	<i>N. saphenus</i> + <i>N. ischiadicus</i>	Ropivacain 1% (1 mg/kg an jeder Stelle)	US
10	Sarotti et al. (2022) A comparison of 0.375% ropivacaine psoas compartment block and 2% prilocaine spinal anaesthesia in dogs undergoing tibial plateau levelling osteotomy	<i>N. ischiadicus</i> + Psoas-Kompartiment-Block	Ropivacain 0,375% (0,45 ml/kg)	ES + US

Legende: ES = Elektrostimulation, US = ultraschallgestützte Kontrolle

3.4.2. Rückenmarksnahe Verfahren

In den neun Arbeiten, in denen sich die Autoren unter anderem der Epiduralanästhesie bedienen, um eine adäquate intraoperative Analgesie zu gewährleisten, handelt es sich in allen Fällen um eine lumbosakrale Epiduralanästhesie. (Arnholz et al., 2017; Bartel et al., 2016; Campoy et al., 2012; Caniglia et al., 2012; Hoelzler et al., 2005; Kalamaras et al., 2021; Lewis et al., 2014; Marolf et al., 2021; McCally et al., 2015). In der Studie von Sarotti et al. (2022) wird die dort behandelte Spinalanästhesie auf Höhe des sechsten Lendenwirbels durchgeführt.

Als Medikamente kommen im Rahmen Anwendung rückenmarksnaher Verfahren in drei Studien Bupivacain (0,1 – 0,5 mg/kg) in Kombination mit Morphin (0,1 mg/kg) (Arnholz et al., 2017; Campoy et al., 2012; Hoelzler et al., 2005), in zwei Fällen Ropivacain (0,2 mg/kg) und Morphin (0,09 – 0,2 mg/kg) (Kalamaras et al., 2021; Lewis et al., 2014) und in jeweils einer Studie Bupivacain (0,5 mg/kg) mit Lidocain (2 mg/kg) (Caniglia et al., 2012), Bupivacain (1 mg/kg) mit Buprenorphin (4 µg/kg) (Bartel et al., 2016), Bupivacain (0,2 ml/kg) (McCally et al., 2015) und Ropivacain (0,3 ml/kg) (Marolf et al., 2021) zum Einsatz. Im Zuge der Spinalanästhesie in der Arbeit von Sarotti et al. (2022) erfolgt der kombinierte Einsatz von Prilocain (siehe Tab. 10) und Morphin (0,03 mg/kg).

Zur Verifikation der korrekten Nadelposition haben sich die so genannte „loss of resistance“- (LR) und die „hanging drop“-Methode (HD) etabliert. Als alleinige Technik kamen sowohl erstere in zwei Studien (Caniglia et al., 2012; Lewis et al., 2014) als auch letztere in zwei Studien (Arnholz et al., 2017; McCally et al., 2015) zur Anwendung. In weiteren zwei Arbeiten wurde eine der beiden Methoden ausgeführt (Bartel et al., 2016; Kalamaras et al., 2021). Marolf et al. (2021) bedienten sich beider Überprüfungsverfahren und zogen zusätzlich das im Englischen als „popping sensation“ (PS) bezeichnete Gefühl bei erfolgreicher Durchdringung des Epiduralspalt zur Erfolgskontrolle heran. Die Studie von Campoy et al. (2012) nutzte entweder ebendieses oder die „hanging drop“-Technik um die adäquate Lokalisation der Spinalkanüle sicherzustellen. Keine Angabe zu den eingesetzten Verifikationsmethoden fand sich hingegen in der Studie von Hoelzler et al. (2005).

Nachfolgend findet sich eine tabellarische Übersicht (Tab. 10) der Studien in denen die Epidural- bzw. die Spinalanästhesie behandelt wurde inklusive Informationen zu eingesetzten Medikamenten und der Art der Überprüfung einer erfolgreichen Ausführung ebendieser.

Tab. 10: Eingesetzte rückenmarksnahe Verfahren, verwendete Medikamente und deren Erfolgskontrolle

Nr.	Titel der Studie	Medikamente	Verifikation
1	Hoelzler et al. (2005) Comparison of perioperative analgesic protocols for dogs undergoing tibial plateau leveling osteotomy	<ul style="list-style-type: none"> • Bupivacain 0,5% (0,1 ml/kg) • Morphin (0,1 mg/kg) 	k.A.
2	Campoy et al. (2012) Comparison of bupivacaine femoral and sciatic nerve block versus bupivacaine and morphine epidural for stifle surgery in dogs	<ul style="list-style-type: none"> • Bupivacain 0,5% (0,5 mg/kg) • Morphin 0,1% (0,1 in 0,2 ml/kg) 	PS HD
3	Caniglia et al. (2012) Intraoperative antinociception and postoperative analgesia following epidural anesthesia versus femoral and sciatic nerve blockade in dogs undergoing stifle joint surgery	<ul style="list-style-type: none"> • Bupivacain 0,25% (0,5 mg/kg) • Lidocain 1% (2 mg/kg) → 0,2 ml/kg, maximales Volumen: 6ml	LR
4	McCally et al. (2015) Comparison of short-term postoperative analgesia by epidural, femoral nerve block, or combination femoral and sciatic nerve block in dogs undergoing tibial plateau leveling osteotomy	<ul style="list-style-type: none"> • Bupivacain 0.5% (0,2 ml/kg, max. 6ml/Hund) 	HD
5	Lewis et al. (2014) Postoperative comparison of four perioperative analgesia protocols in dogs undergoing stifle joint surgery	<ul style="list-style-type: none"> • Ropivacain 1% (0,2 mg/kg) • Morphin (0,2 mg/kg) → 1 ml/4,5 kg (Maximum: 10ml)	LR
6	Bartel et al. (2016)	<ul style="list-style-type: none"> • Bupivacain (1 mg/kg) • Buprenorphin (4 µg/kg) 	HD oder LR

	Comparison of bupivacaine and dexmedetomidine femoral and sciatic nerve blocks with bupivacaine and buprenorphine epidural injection for stifle arthroplasty in dogs		
7	Arnholz et al. (2017) Ultraschallgesteuerte Nervenblockade des Nervus femoralis und ischiadicus im Vergleich zur Epiduralanästhesie bei orthopädischen Eingriffen am Hund	<ul style="list-style-type: none"> • Bupivacain 0,5% (0,5 mg/kg) • Morphinsulfat 1% (0,1 mg/kg) 	HD
8	Marolf et al. (2021) Opioid requirements after locoregional anesthesia in dogs undergoing tibial plateau levelling osteotomy: a pilot study	<ul style="list-style-type: none"> • Ropivacain 0,5% (0,3 ml/kg) 	PS + LR + HD
9	Kalamaras et al. (2021) Effects of perioperative saphenous and sciatic nerve blocks, lumbosacral epidural or morphine-lidocaine-ketamine infusion on postoperative pain and sedation in dogs undergoing tibial plateau leveling osteotomy	<ul style="list-style-type: none"> • Ropivacain 1% (0,2 mg/kg) • Morphin 0,05% (0,09 mg/kg) <p>→ gesamtes Volumen: 0,2 ml/kg</p>	HD oder LR
10	Sarotti et al. (2022) A comparison of 0.375% ropivacaine psoas compartment block and 2% prilocaine spinal anaesthesia in dogs undergoing tibial plateau levelling osteotomy	<ul style="list-style-type: none"> • Prilocain 2% (Dosis (mg) = $4x [0,3 \times BW \text{ (kg)} + 0,05 \times SCL \text{ (cm)}]$) • Morphin 1% (0,03 mg/kg) 	k.A.

Legende: BW = Körpergewicht (body weight), HD = hanging drop-Technik, PS = "popping sensation", LR = loss of resistance-Technik, SCL = Rückenmarkslänge

3.4.3. Systemische Pharmakotherapie

Aus den zwölf evaluierten Studien haben sich fünf Studien unter anderem mit dem systemischen Einsatz von Analgetika bei der TPLO des Hundes auseinandergesetzt (Hoelzler et al., 2005; Kalamaras et al., 2021; Lewis et al., 2014; Palomba et al., 2020; Warrit et al., 2019).

In insgesamt zwei Arbeiten kommt es dabei zu einer Anwendung einer so genannten „constant rate infusion“ (CRI) – also einer intravenösen Infusion bei gleichbleibender Rate des applizierten Medikamentes: Bei Lewis et al. (2014) erhalten die Probanden eine Kombination aus Morphin (0,24 mg/kg/h), Lidocain (3 mg/kg/h) und Ketamin (0,6 mg/kg/h), die Kontrollgruppe bekommt mit Ausnahme des intramuskulären Morphins (0,4 mg/kg) im Rahmen der Prämedikation standardmäßig keine darüberhinausgehende Schmerztherapie. Kalamaras et al. (2021) setzen in ihrer Vergleichsgruppe für systemische intraoperative Analgesie einen Morphin-Lidocain-Ketamin-Dauertropf (0,1 mg/kg/h; 3 mg/kg/h; 0,6 mg/kg/h) ein, wobei initial über zwei bis drei Minuten zunächst nur Lidocain (2 mg/kg/h) intravenös appliziert wird.

Bei Palomba et al. (2020) wird eine im englischen Sprachgebrauch als „target-controlled infusion“ bezeichnete Applikationsmethode der intravenösen Analgesie beschrieben. Dabei wird Fentanyl über eine computerkontrollierte Infusionspumpe in einer konstanten Dosierung (50 µg/ml) zugeführt, aber durch Veränderung der Infusionsrate wird eine kontinuierliche Fentanyl-Zielplasmakonzentration von 1 ng/ml angestrebt.

Weiters erfolgt in zwei Studien die analgetische Abdeckung *intra operationem* lediglich durch die Anwendung von Opioiden im Zuge der Prämedikation (Hoelzler et al., 2005; Warrit et al., 2019). In beiden Fällen wird dazu Hydromorphon gebraucht, wobei Hoelzler et al. (2005) jenes intramuskulär und Warrit et al. (2019) subkutan applizieren.

Eine detaillierte Auflistung der in den jeweiligen Arbeiten angewandten Medikamente inklusive dazugehörige Dosisangaben ist nachfolgender Tabelle zu entnehmen (Tab. 11)

Tab. 11: im Rahmen der systemischen Pharmakotherapie verwendete Medikamente

Nr.	Titel der Studie	Angewandte Medikamente
1	Hoelzler et al. (2005) Comparison of perioperative analgesic protocols for dogs undergoing tibial plateau leveling osteotomy	<ul style="list-style-type: none"> • Hydromorphon (0,05 mg/kg) i.m. im Rahmen der Prämedikation
2	Lewis et al. (2014) Postoperative comparison of four perioperative analgesia protocols in dogs undergoing stifle joint surgery	CRI: <ul style="list-style-type: none"> • Morphin (0.24 mg/kg/h) + Lidocain (3 mg/kg/h) + Ketamin (0,6mg/kg/h) • Kontrollgruppe: keine zusätzliche intraoperative Analgesie, Morphin (0,4 mg/kg) i.m. als Prämedikation
4	Warrit et al. (2019) Comparison of ultrasound-guided lumbar plexus and sciatic nerve blocks with ropivacaine and sham blocks with saline on perianesthetic analgesia and recovery in dogs undergoing tibial plateau leveling osteotomy surgery	Kontrollgruppe: <ul style="list-style-type: none"> • Hydromorphon (0,2 mg/kg) s.c. im Rahmen der Prämedikation
5	Palomba et al. (2020) Peripheral nerve block versus systemic analgesia in dogs undergoing tibial plateau levelling osteotomy: Analgesic efficacy and pharmacoeconomics comparison	"target-controlled infusion": <ul style="list-style-type: none"> • 50 µg/ml Fentanyl • Ziel-Plasmakonzentration: 1 ng/ml
6	Kalamaras et al. (2021) Effects of perioperative saphenous and sciatic nerve blocks, lumbosacral epidural or morphineelidocaineeketamine infusion on postoperative pain and sedation in dogs undergoing tibial plateau leveling osteotomy	CRI: <ul style="list-style-type: none"> • Lidocain (2 mg/kg) i.v. über 2-3min • Morphin (0,1 mg/kg/h) + Lidocain (3 mg/kg/h) + Ketamin (0,6 mg/kg/h)

Legende: CRI = constant rate infusion

Andere Verfahren der intraoperativen Analgesie

Neben der Epiduralanästhesie und der systemischen Pharmakotherapie werden in der klinischen Studie von Hoelzler et al. (2005) in einer Versuchsgruppe intraartikuläre Injektionen von 0,5%igem Bupivacain in einer Dosierung 0,2 ml/kg behandelt. Diese werden den entsprechenden Studienteilnehmern sowohl *prae* – als auch *post operationem* verabreicht.

3.5. Rescue-Analgesie

Als so genannte „Rescue-Analgesie“ ist der Einsatz von Analgetika zusätzlich zu den Verfahren der intra- bzw. postoperativen Schmerztherapie im Falle des Erkennens eines darüberhinausgehenden Bedarfs an Schmerzmitteln definiert. Dazu wurden in jeder Studie genau festgelegt, ab welcher Abweichung der Vitalparameter wie Blutdruck, Herz- oder Atemfrequenz von den Basalwerten es zur Anwendung zusätzlicher intraoperativer Schmerzmittel kommen sollte. *Post operationem* wurden vor allem erreichte Scores der angewandten Schmerzmessungssysteme zur Einschätzung der Notwendigkeit additiver analgetischer Abdeckung herangezogen.

In der Auswertung der Ergebnisse im Rahmen dieser deskriptiven Literaturanalyse soll eine Abgrenzung zwischen den Analgetika, die während und den Schmerzmedikamenten, die nach einer Operation verabreicht werden, erfolgen.

3.5.1. Intraoperative Rescue-Analgesie

Drei Studien setzten perioperativ auf die Anwendung von Hydromorphon (0,02 – 0,06 mg/kg), um bei unzureichender medikamentöser Schmerzabdeckung entgegenwirken zu können (Bartel et al., 2016; Campoy et al., 2012; Lewis et al., 2014).

Campoy et al. (2012) applizierten das Opioid im Falle einer auftretenden Hypertension - definiert als Anstieg des systemischen arteriellen Blutdrucks (SAP) auf > 140 mmHg bzw. des mittleren arteriellen Blutdrucks (MAP) auf > 120 mmHg – oder einer Tachykardie verbunden mit einer Herzfrequenz (HF) > 150 bpm trotz einer konstanten endexpiratorischen Isoflurankonzentration (F_{elso}) von 1,8%.

In der Forschungsarbeit von Lewis et al. (2014) wird von einer i.v.-Applikation von Hydromorphon berichtet, wenn eine Reaktion des Patienten auf einen chirurgischen Stimulus

im Sinne einer Erhöhung der HF oder des SAP zu beobachten ist und die Anästhesie nicht durch Erhöhen der Isoflurankonzentration in adäquatem Maße fortgeführt werden kann.

Bartel et al. (2016) sehen die Notwendigkeit einer ergänzenden intraoperativen Analgesie bei Auftreten von Hypertension (SAP > 140 mmHg oder MAP > 120 mmHg) oder Tachykardie (HF > 20 % im Vergleich zu präoperativen Werten), wenn gleichzeitig Felso einen Wert von 1,8 % aufweist.

In weiteren sechs Arbeiten stellt Fentanyl (1 - 5 µg/kg, i.v.) als hochpotentes Analgetikum das Mittel der Wahl bei ergänzendem perioperativen Schmerzmittelbedarf dar (Arnholz et al., 2017; Caniglia et al., 2012; Marolf et al., 2021; Palomba et al., 2020; Sarotti et al., 2022; Warrit et al., 2019).

Caniglia et al. (2012) applizieren es, wenn HF oder SAP als Antwort auf einen chirurgischen Reiz mehr als 10 % über den präoperativ gemessenen Werten liegen.

Die Studienteilnehmer in der klinischen Studie von Arnholz et al. (2017) erhielten Fentanyl in Form eines Bolus, sobald die gemessene Herzfrequenz um mehr als 20 % im Vergleich zum Basalwert zunahm und gleichzeitig ein konstanter Blutdruck von > 60 mmHg ermittelt wurde.

Bei Bewegung aufgrund eines nozizeptiven Reizes während des chirurgischen Eingriffs oder im Falle eines Übersteigens der Ausgangswerte von HF, MAP oder Atemfrequenz (AF) um mehr als 20 %, wurde der Schmerzreaktion in der Arbeit von Warrit et al. (2019) mithilfe einer intravenösen Fentanyl-Gabe entgegengewirkt.

Ähnlich gingen Marolf et al. (2021) vor: eine Applikation des Analgetikums in Form eines Bolus war vorgesehen, wenn ein HF-, MAP- oder AF-Anstieg um > 30 % verglichen mit den Ausgangswerten zu verzeichnen war. Die Boli wurden dabei in einem Abstand von fünf Minuten wiederholt, bis die ursprünglichen Vitalparameterwerte wieder erreicht werden konnten. Nach der zweiten Medikamentengabe wurde die Verabreichung fortan allerdings auf eine DTI umgestellt.

Auch Palomba et al. (2020) setzten bei Reaktion auf einen schmerzhaften Reiz in jener Gruppe, die eine PNB erhielt, Fentanyl ein. Bei den Probanden, denen eine systemische Pharmakotherapie zuteilwurde, führten die Autoren eine Erhöhung der Isoflurankonzentration um 0,1 % und der Fentanyl-Zielplasmakonzentration um 0,5ng/ml durch.

Sobald ein MAP-Anstieg über 30 % verglichen mit den Werten vor dem Eingriff nachgewiesen werden konnte, kam es auch im Rahmen des klinischen Versuches von Sarotti et al. (2022) zu einer intravenösen Fentanylgabe.

Drei wissenschaftliche Berichte beinhalten keine Angaben zu während der Operationen eingesetzten Rescue-Analgetika (Hoelzler et al., 2005; Kalamaras et al., 2021; McCally et al., 2015).

3.5.2. Postoperative Rescue-Analgesie

Bei der postoperativen Schmerztherapie kommt häufig Hydromorphon in Dosierungen zwischen 0,05 und 0,1 mg/kg i.v. zum Einsatz. (Bartel et al., 2016; Campoy et al., 2012; Caniglia et al., 2012; Hoelzler et al., 2005; McCally et al., 2015). McCally et al. (2015) wandten abgesehen von Hydromorphon auch Dexmedetomidin (2 µg/kg, i.v.) an, sollte es durch ersteres Medikament nicht gelingen, einen Schmerzscore < 6 in der Kurzform des Glasgow Composite Pain Score zu erzielen.

Als zweithäufigstes Analgetikum postoperativ wurde Methadon (Arnholz et al., (2017), Marolf et al., (2021), Palomba et al., (2020) und Sarotti et al., (2022) in Dosierungen von 0,1 – 0,2 mg/kg intramuskulär bzw. intravenös eingesetzt.

Abgesehen davon verwendeten die Studienautoren in zwei Studien Morphin (0,4 mg/kg, i.m.) bei Notwendigkeit einer ergänzenden Analgesie während des postoperativen Zeitraumes (Kalamaras et al., 2021; Lewis et al., 2014) .

Bei Bedarf einer zusätzlichen Schmerzlinderung griffen Warritt et al. (2019) auch postoperativ auf Fentanyl als DTI (2 µg/kg/h i.v.) und - soweit erforderlich - auch in Form von Boli (2 µg/kg i.v.) zurück. Bei ausbleibender Effektivität hinsichtlich der Schmerzbekämpfung oder im Falle des Auftretens unerwünschter Wirkungen wurde der Wirkstoff gegen Methadon (0,2 mg/kg i.v.) oder Dexmedetomidin (1 µg/kg, i.v.) getauscht.

Die Entscheidung für eine zusätzliche Schmerzmittelgabe nach der Operation wurde vorwiegend durch Erreichen bestimmter Schmerzlevel gefällt (Arnholz et al., 2017; Bartel et al., 2016; Campoy et al., 2012; Caniglia et al., 2012; Kalamaras et al., 2021; Lewis et al., 2014; Marolf et al., 2021; McCally et al., 2015; Palomba et al., 2020; Sarotti et al., 2022; Warrit et al., 2019). Bei Bartel et al. (2016) und Campoy et al. (2012) wurden Analgetika nach dem jeweiligen Ermessen des postoperativen Betreuers verabreicht. Hoelzler et al. (2005) setzten zusätzliche Schmerzmittel so ein, dass der postoperative Komfort der Hunde sichergestellt werden konnte. Palomba et al. (2020) sahen die Notwendigkeit additiver Analgetika nicht nur gegeben, wenn der Hund ein gewisses Schmerzlevel gemäß dem angewandten Pain Scoring-System erreichte, sondern auch wenn eine Gewichtsbelastung der operierten Hinterextremität ausblieb.

Nachfolgend ist eine tabellarischer Übersicht der intra- und postoperativ verwendeten Rescue-Analgetika abgebildet (Tab. 12).

Tab. 12: Intra- und postoperativ verwendete Rescue-Analgetika

Nr.	Studien	Rescue-Analgesie INTRAOPERATIV	Rescue-Analgesie POSTOPERATIV
1	Hoelzler et al. (2005)	k.A.	<ul style="list-style-type: none"> Hydromorphon (0,05 mg/kg i.v.) nach Bedarf, um den postoperativen Komfort zu gewährleisten
2	Campoy et al. (2012)	<ul style="list-style-type: none"> Hydromorphon (0,05 mg/kg i.v.) Hypertension (SAP >140 mmHg oder MAP >120 mmHg) oder Tachykardie (HR >150 bpm) bei FeISO = 1.8% 	<ul style="list-style-type: none"> Hydromorphon (0,05 mg/kg i.v.) Bei Schmerzscore > 5 oder nach Ermessen des postoperativen Betreuers
3	Caniglia et al. (2012)	<ul style="list-style-type: none"> Fentanyl (2 µg/kg i.v.) wenn HF oder SAP als Antwort auf einen chirurgischen Stimulus 10% über die präoperativen Werte anstiegen 	<ul style="list-style-type: none"> Hydromorphon (0,1 mg/kg i.v.) Schmerzscore > 5/20 → vom weiteren Schmerzscoring ausgeschlossen
4	McCally et al. (2015)	k.A.	<ul style="list-style-type: none"> Hydromorphon (0,05 mg/kg i.v.) totaler GCMPS-SF-Score von 6 oder 3 in jeglicher Kategorie zu einem beliebigen Zeitpunkt Dexmedetomidin (2 µg/kg i.v.), wenn der Schmerzscore trotz Rescue-Analgesie nicht auf < 6 sank
5	Lewis et al. (2014)	<ul style="list-style-type: none"> Hydromorphon (0,02 mg/kg i.v.) Reaktion auf einen chirurgischen Stimulus (HF, SAP oder beide) + wenn die Anästhesie nicht durch höheres Isofluran aufrechterhalten werden konnte → Patient wurde von der Studie ausgeschlossen 	<ul style="list-style-type: none"> Morphin (0,4 mg/kg i.m.) postoperativer Pain Score > 5/24
6	Bartel et al. (2016)	<ul style="list-style-type: none"> Hydromorphon (0,05 mg/kg i.v.) Hypertension (SAP >140 mmHg oder MAP >120 mmHg) oder Tachykardie (HF >120% der präoperativen Werte) obwohl FeISO = 1.8%; 	<ul style="list-style-type: none"> Hydromorphon (0,05 mg/kg i.v.) Schmerzscore ≥ 6/24 im GCMPS-SF oder nach Ermessen des Betreuers → von der weiteren Analyse ausgeschlossen
7	Arnholz et al. (2017)	<ul style="list-style-type: none"> Fentanyl-Bolus (5 µg/kg i.v.) 	<ul style="list-style-type: none"> Methadon (0,2 mg/kg i.v.) GCMPS > 6

		<ul style="list-style-type: none"> • Wenn HF über 20% anstieg bei konstantem RR > 60mmHg 	
8	Warrit et al. (2019)	<ul style="list-style-type: none"> • Fentanyl (2 µg/kg i.v.) • bei Bewegung des Hundes bei chirurgischer Stimulation • wenn HF, MAP oder AF mehr als 20% über die Ausgangswerte anstieg 	<ul style="list-style-type: none"> • Fentanyl-CRI (2 µg/kg/h i.v.) + wenn notwendig Fentanyl-Boli (2 µg/kg i.v.) • Methadon (0,2 mg/kg i.v) oder Dexmedetomidin (1 µg/kg i.v.) bei Ineffektivität von Fentanyl oder Nebenwirkungen • Schmerzscore ≥2 für UMPS, ≥1 für CSUPS or >2 für VAS
10	Palomba et al. (2020)	<ul style="list-style-type: none"> • Fentanyl (1 µg/kg i.v.) • Bei Reaktion auf einen Schmerzreiz (Gruppe PNB) • Erhöhung der Isofluran-Konzentration um 0,1% + Fentanyl-Zielplasmakonzentration um 0,5ng/ml (Gruppe SYST) 	<ul style="list-style-type: none"> • Methadon (0,2 mg/kg i.m.) • gemäß GCMPs-SF: bei Schmerz = 5/24 oder 4/20 bei zwei aufeinanderfolgenden Bewertungen • bei Nichtbelastung der operierten Extremität
11	Marolf et al. (2021)	<ul style="list-style-type: none"> • Fentanyl (2 µg/kg i.v.) • HF-, MAP- oder AF-Anstieg um > 30% verglichen mit den Ausgangswerten, Wiederholung alle 5 min bis Ausgangswerte wieder erreicht • Fentanyl-CRI (0,005 µg/kg/h i.v.) nach dem 2. Fentanyl-Bolus 	<ul style="list-style-type: none"> • Methadon (0,1 mg/kg i.v.) • VAS ≥ 4 cm (von 10 cm) oder Composite Pain Score ≥ 5/15
12	Kalamaras et al. (2021)	<ul style="list-style-type: none"> • k.A. 	<ul style="list-style-type: none"> • Morphin (0,4 mg/kg i.m.) • bei GCMPs- SF > 5
13	Sarotti et al. (2022)	<ul style="list-style-type: none"> • Fentanyl (1 µg/ kg i.v.) • MAP-Anstieg über 30% verglichen mit den Werten vor dem Eingriff • Propofol (1mg/kg i.v.) • bei Wachheitsmomenten (Bewegung, deutlicher Lidreflex) 	<ul style="list-style-type: none"> • Methadon (0,1 mg/kg i.m.) • Pain Score ≥ 5/20

Legende: AF = Atemfrequenz, CRI = constant rate infusion, CSUPS = Colorado State University Pain Scale, Felso = endexpiratorische Isoflurankonzentration, GCMPs = Glasgow Composite Measure Pain Scale, GCMPs-SF = Kurzform ders Glasgow Composite Measure Pain Scale, HR/HF = Herzfrequenz. MAP = mittlerer arterieller Blutdruck. SAP = systolischer arterieller Blutdruck, SYST = systemische Pharmakotherapie, UMPS = University of Melbourne Pain Scale, VAS = visuelle Analogskala

Vergleich verschiedener intraoperativer Analgesieverfahren zur Schmerzausschaltung bei der Tibial Plateau Leveling Osteotomy beim Hund – Techniken der Regionalanästhesie versus opioidbasierte Analgesie

3.6. Angewandte Schmerzmessungssysteme

Ein Hauptaugenmerk dieser Arbeit ist darauf gerichtet, ob die Methoden der Regionalanästhesie in Bezug auf die peri- und postoperative Schmerzausschaltung in gleichem Maße wie eine systemische Schmerztherapie wirken oder sich sogar eventuell als potenter erweisen.

Dazu wurden die inkludierten Studien auf Informationen bezüglich der verwendeten Schmerzmessungssysteme untersucht und es wurde versucht, eine Einschätzung bezüglich des intra-, post- und - soweit beschrieben - auch des präoperativen Schmerzlevels durch Informationen wie dem berichteten Auftreten von Schmerzen, den in den verschiedenen Schmerzskaalen erreichten Schmerzscores und dem postoperativen Rescue-Analgetikabedarf zu erlangen.

In allen zwölf eingeschlossenen Studien wurde das Schmerzempfinden der Probanden mittels eines oder verschiedener etablierter Schmerzmessungssysteme evaluiert.

Bei den in die Analyse miteingeschlossenen Studien bedienten sich Bartel et al. (2016) des Glasgow Composite Measure Pain Scale (GCMPS), wobei die Zeitpunkte unmittelbar nach der Extubation und eine Stunde, vier, acht, zwölf, 16 sowie 24 Stunden postoperativ evaluiert wurden.

In zwei Studien (Caniglia et al., 2012; Lewis et al., 2014) wurde eine modifizierte Form des GCMPS zur Schmerzmessung herangezogen. Dabei erfolgte die initiale Beurteilung bei Caniglia et al. (2012) sobald der Patient nach Extubation seine Umgebung wahrnahm (initiale Baseline-Schmerzevaluierung). Diese wurde sodann alle 30 Minuten für insgesamt 360 Minuten fortgesetzt. Der Beurteilungszeitraum bei Lewis et al. (2014) begann, sobald die Patienten eine innere Körpertemperatur von $\geq 36,7^{\circ}\text{C}$ und den Schluckreflex wiedererlangt hatten. Die Schmerzbeurteilung wurde anschließend für vier Stunden in 60 min-Intervallen und danach für 24 Stunden in vier Stunden-Intervallen fortgesetzt.

Weitere fünf Studien benutzten die Kurzform des GCMPs (GCMPs-SF) zur Evaluation des Schmerzempfindens (Arnholz et al., 2017; Kalamaras et al., 2021; McCally et al., 2015; Palomba et al., 2020; Sarotti et al., 2022). Arnholz et al. (2017) beurteilten den Schmerz präoperativ und zwei, vier, sechs, zwölf und 24 Stunden nach Extubation und McCally et al. (2015) zum Zeitpunkt der Extubation und eine, zwei, vier, sechs und acht Stunden danach. Bei Kalamaras et al. (2021) erfolgte die Bewertung der Schmerzen zum Zeitpunkt der Extubation und danach alle zwei Stunden für acht Stunden und nach 24 Stunden, bei Palomba et al. (2020) alle zwei Stunden ab der Extubation für 24 Stunden und bei Sarotti et al. (2022) alle zwei Stunden (beginnend drei Stunden nach Durchführung der Regionalanästhesie) für ebenfalls 24 Stunden. Zusätzlich wurde in der Studie von Kalamaras et al. (2021) die Schmerzmessung mittels des Colorado State University Canine Acute Pain Scale (CSU-CAPS) durchgeführt.

In der Arbeit von Marolf et al. (2021) wurde die visuelle Analogskala (VAS) und eine modifizierte deutsche Version einer französischen Schmerzskala (4AVet) angewandt. Mittels VAS wurde die Schmerzbeurteilung alle 30 Minuten für 150 Minuten und am Morgen nach der Operation durchgeführt, mittels 4AVet präoperativ und postoperativ, sobald der Hund den Kopf heben konnte, sowie 30, 60, 90, 120, 150 Minuten danach und um acht Uhr morgens am Tag nach der TPLO.

Neben der VAS setzten Warritt et al. (2019) eine modifizierte Version des University of Melbourne Pain Scale (UMPS) und den Colorado State University Canine Acute Pain Scale (CSU-CAPS) ein. Der Schmerz wurde anhand der VAS und des UMPS vor der Anästhesie, nach Extubation und zwei Stunden später erhoben, während die Schmerzmessung mittels CSU-CAPS zusätzlich sechs und zwölf Stunden *post extubationem* erfolgte. Das Schmerzlevel der Hunde wurde bis zu ihrer Entlassung überwacht.

Auch die Studie von Hoelzler et al. (2005) bediente sich dreier verschiedener Schmerzmessungssysteme. Dabei handelte es sich einerseits um die VAS und multifaktorielle Pain Scores (MPS) nach Sammarco, des Weiteren kam ein Druckmessgerät zur Anwendung, welches den Schwellenwert des erforderlichen Drucks bestimmte, bei dem der Hund schmerzhaft reagierte. Der Beobachtungszeitraum erstreckte sich über die ersten 24

postoperativen Stunden, wobei der Schmerz direkt nach der Operation, bis zu sechs Stunden danach stündlich, sowie zwölf, 18 und 24 Stunden nach dem Eingriff gemessen wurde.

Bei Campoy et al. (2012) wurde der Schmerz anhand einer Skala von null bis zehn nach Holton et al. (2001) beurteilt. Die Messzeitpunkte erstreckten sich über 24 Stunden nach der TPLO und beinhalteten eine präoperative Messung, jeweils eine weitere bei Extubation sowie eine Stunde danach, und ab der vierten postoperativen Stunde in einem vierstündigen Intervall über den restlichen Beobachtungszeitraum.

3.7. Einschätzung des Schmerzlevels (prä-, intra- und post-operativ)

3.7.1. Präoperatives Schmerzlevel

In den Publikationen von Bartel et al. (2016) und Caniglia et al. (2012) wurde das präoperative Schmerzempfinden in die Beurteilung miteinbezogen.

Dabei zeigte sich, dass die Schmerzscores bei Caniglia et al. (2012) zwischen den Gruppen, die eine Epiduralanästhesie bzw. eine PNB erhalten sollten, nicht differierten.

Im wissenschaftlichen Vergleich von Bartel et al. (2016) wurde hingegen ersichtlich, dass die Studienteilnehmer, die der Gruppe für eine kombinierte *N. ischiadicus*- und *N. femoralis*-Blockade angehörten, bereits vor der Operation signifikant höhere Ausgangswerte in der Schmerzskala erzielten als jene in der Gruppe mit Epiduralanästhesie ($p = 0,04$).

3.7.2. Intraoperatives Schmerzlevel

Auch intraoperativ traten bei Caniglia et al. (2012) keine signifikanten Differenzen die Herzfrequenz und den systolischen arteriellen Blutdruck betreffend auf. Bei chirurgischen nozizeptiven Stimuli war zudem durchgehend keine Anpassung der Konzentration des Inhalationsanästhetikums von Nöten. Die Gesamtzahl der verabreichten Fentanylboli unterschied sich nicht statistisch signifikant zwischen den verschiedenen Verfahren der intraoperativen Analgesie, zum gleichen Ergebnis kamen die Autoren in der Studie von Arnholz et al. (2017).

Im Gegensatz dazu konnten Warrit et al. (2019) nachweisen, dass während des gesamten beobachteten Zeitraums in der Kontrollgruppe mit systemisch angewandten Analgetika signifikant mehr Fentanyl als Notfallschmerztherapie von Nöten war als dies bei den Probanden, die eine PNB bekamen, der Fall war ($p = 0,02$).

Während des intraoperativen Zeitraums konnte von Palomba et al. (2020) festgestellt werden, dass Hunde, denen eine so genannte „target controlled infusion“ mit Fentanyl verabreicht wurde, verglichen mit den Hunden, bei denen eine PNB angewandt wurde, signifikant häufiger auf einen schmerzhaften chirurgischen Reiz reagierten ($p = 0,041$).

In der Arbeit von Kalamaras et al. (2021) benötigte keiner der Hunde (PNB, Epiduralanästhesie oder systemische Analgesie) ein Rescue-Analgetikum.

Marolf et al. (2021) konnten zeigen, dass die Studiengruppe mit Epiduralanästhesie bzw. kombinierter *N. ischiadicus*- und *N. femoralis*-Block intraoperativ eine signifikant geringere Gesamtopioiddosis erhielt als jene, bei denen nur eine *N. femoralis*- oder *N. ischiadicus*-Blockade durchgeführt wurde ($p=0,031$).

Die Inzidenz intraoperativ notwendiger Rescue-Analgetika unterschied sich auch in der Publikation von Sarotti et al. (2022): Nur sechs von 29 Hunden (21%) aus der Spinalanästhesie-Gruppe waren auf Notfallschmerzmittel angewiesen, während diese bei 15 von 29 (52%) aus der PNB-Gruppe benötigt wurden ($p=0,03$).

Weiters wurde auch eine signifikante Differenz ersichtlich, wenn man die durchschnittliche applizierte Fentanylmenge (als Rescue-Medikation) während der operativen Eingriffe betrachtet. Diese lag im Durchschnitt bei $0 \mu\text{g}/\text{kg}$ ($0-2 \mu\text{g}/\text{kg}$) bei den Operationen mit Spinalanästhesie und bei $1 \mu\text{g}/\text{kg}$ ($0-4 \mu\text{g}/\text{kg}$) bei Operationen mit einem Psoas-Compartment-Block.

Postoperativ waren bei Hoelzler et al. (2005) keine Unterschiede bei den gemessenen Schmerzindikatoren zu erkennen. Allerdings war die Anwendung der Epiduralanästhesie und der intraartikulären Analgesie mit einer geringeren mittleren Anzahl an zusätzlichen Hydromorphoninjektionen verbunden als es bei der intraoperativen Verabreichung von systemisch wirksamen Analgetika der Fall war. Signifikante Unterschiede bzgl. Injektionsanzahl waren bei Vergleich der Gruppe mit systemischer Pharmakotherapie mit der Epiduralanästhesie zu beobachten ($p=0,002$). Bei Vergleich der Probanden mit intraartikulärer- und systemischer Analgesie konnte lediglich ein Trend zur Signifikanz nachgewiesen werden, wobei die Kontrollgruppe mit systemischer Analgesie tendenziell mehr zusätzliche Analgetika benötigte.

Abgesehen davon variierte auch der Zeitpunkt der ersten notwendigen Analgetikaverabreichung bei Betrachtung aller drei Versuchsgruppen: Die erste additive Hydromorphondosis war nach 9,1h (Gruppe EPI), 7,3h (Gruppe IA) bzw. 2,5h (Gruppe SYST)

notwendig. Statistisch signifikant waren diesbezüglich die Unterschiede zwischen den Gruppen EPI und SYST ($p = 0,005$) und zwischen den Gruppen IA und SYST ($p = 0,032$). Es zeigte sich, dass im Vergleich zur systemischen Anästhesie jeweils in der Gruppe mit Epiduralanästhesie bzw. mit intraartikulärer Anästhesie eine größere Zeitspanne verging, bis die Probanden eine erste Dosis an Opioiden benötigten.

3.7.3. Postoperatives Schmerzlevel

McCally et al. (2015) kamen zum Ergebnis, dass die Hunde, die der *N. femoralis*-Block-Gruppe angehörten, im Vergleich zu jenen, die einen *N. femoralis*- und *N. ischiadicus*-Block erhielten, *post operationem* sowohl signifikant höhere Schmerzscores bei der Extubation aufwiesen als auch eine signifikant größere Tieranzahl Rescue-Analgetika zum selben Zeitpunkt benötigten.

Von ähnlichen Beobachtungen wurden zudem im wissenschaftlichen Vergleich zwischen Epiduralanästhesie und PNB durch Campoy et al. (2012) berichtet: Dabei stellte sich die kumulative Hydromorphondosis im Rahmen der postoperativen Rescue-Analgesie in der EPI-Gruppe signifikant höher dar ($p = 0,04$).

Auch in der Publikation von Warrit et al. (2019) konnte gezeigt werden, dass die Studienteilnehmer mit lokoregionaler intraoperativer Analgesie (*Plexus lumbalis*- und *N. ischiadicus*-Block) im Unterschied zu den Hunden mit systemischer perioperativer Schmerztherapie nach dem operativen Eingriff weniger wahrscheinlich zusätzlich auf Fentanyl angewiesen waren ($p = 0,04$).

Bei Marolf et al. (2021) stellte sich auch im frühen postoperativen Zeitraum heraus, dass bei den Hunden mit Epiduralanästhesie bzw. einer kombinierten *N. femoralis*- und *N. ischiadicus*-Blockade insgesamt weniger Opiode eingesetzt werden mussten als bei den Tieren, bei denen lediglich der *N. femoralis*- oder der *N. ischiadicus* durch Lokalanästhesie betäubt wurde ($p = 0,031$). Außerdem wurde in der Zeitspanne bis 150 min nach Extubation von einem im Vergleich zu den anderen Analgesieverfahren reduzierten postoperativen Methadonbedarf in der Gruppe mit den zwei gleichzeitig durchgeführten PNB berichtet ($p = 0,041$).

Im Hinblick auf die Schmerzmessung kamen die Autoren zu folgenden Ergebnissen: Bei den Probanden, bei denen ein solitärer *N. ischiadicus*-Block erfolgte, waren die bestimmten Werte in der VAS verglichen mit der präoperativen Situation am Morgen nach der Operation signifikant höher ($p = 0,033$).

Zusätzlich waren die Pain Scores aller Studienteilnehmer aus den verschiedenen Gruppen (*N. femoralis*-, *N. ischiadicus*-, *N. femoralis*- und *N. ischiadicus*-Block, Epiduralanästhesie) in der Früh nach dem operativen Eingriff höher als zu Beginn der postoperativen Schmerzmessung nach Extubation und sobald der Hund den Kopf heben konnte (T0), sowie 30 min sowie 60 min danach ($p < 0,0001$).

Die mittels 4AVet-Skala erzielten Scores unterschieden sich in der *N. ischiadicus*-Gruppe signifikant zwischen dem Zeitpunkt T0 und dem Morgen nach der Operation ($p < 0,05$).

Bei Palomba et al. (2020) stellten sich die postoperativ bestimmten Werte in der Schmerzskala in der PNB-Gruppe zu allen betrachteten Zeitpunkten als signifikant niedriger dar als in der Gruppe, bei der eine systemische Analgesie *intra operationem* durchgeführt wurde ($p < 0,001$). Hunde aus der Gruppe mit systemischer Pharmakotherapie erhielten postoperativ signifikant häufiger mindestens eine Methadondosis ($p = 0,0079$). Darüber hinaus konnte in ebendieser Studiengruppe auch eine insgesamt höhere Methadondosis und ein früherer Zeitpunkt bis zur ersten erforderlichen Opiodapplikation nachgewiesen werden.

Der Schmerzscore bei den Probanden, die eine PNB bekamen, war in der Studie von Kalamaras et al. (2021) insgesamt niedriger im Vergleich zu der Gruppe mit Epiduralanästhesie sowie systemischer Analgesie (Morphin-Lidocain-Ketamin-DTI).

Entgegengesetzt dazu konnten in der Studie von Lewis et al. (2014) zwischen den vier verschiedenen intraoperativen Analgesieprotokollen (Epiduralanästhesie, systemische Analgesie) postoperativ keine eindeutigen Variationen bezüglich des Schmerzlevels und des Analgetikabedarfes verzeichnet werden: Die Pain Scores, das Notfallschmerzmittelbedürfnis, die Probandenanzahl, bei denen ein Analgetikum nötig war, die Zeitspanne bis zum ersten notwendigen Einsatz von zusätzlichen Schmerzmedikamenten und die mittlere Dosis sowie die Anzahl der Dosen an schmerzlindernden Präparaten waren zwischen allen Gruppen vergleichbar.

Ebenso ließ sich bei Arnholz et al. (2017) kein statistisch signifikanter Unterschied bezüglich des Schmerzlevels der Tiere zwischen der Gruppe mit Epiduralanästhesie und jener mit peripheren Nervenblockaden feststellen

Auch bei Caniglia et al. (2012) zeigte sich postoperativ keine statistische Signifikanz zwischen Epiduralanästhesie und PNB, weder in Bezug auf die durchschnittlichen gemessenen Werte des Schmerzmessungssystems (Ausgangswerte und alle Messungen zwischen 30 und 360 Minuten nach der Operation) noch im Hinblick auf die Zeit bis zur ersten notwendigen Verabreichung eines Rescue-Analgetikums.

In der Publikation von Bartel et al. (2016) war bei über 60 % der Studienteilnehmer in beiden Gruppen (neun Hunde mit PNB des *N. femoralis* und *N. ischiadicus*, acht Hunde mit Epiduralanästhesie) keine Rescue-Analgesie in den 24h nach Extubation erforderlich.

Zu guter Letzt waren ebenso in der Vergleichsstudie von Sarotti et al. (2022) keine Unterschiede bezüglich des postoperativen Bedarfs an zusätzlichen Notfallschmerzmitteln zwischen der Gruppe mit Spinalanästhesie und der Gruppe mit PNB (*N. ischiadicus* und *Pl. lumbalis*) festzustellen.

3.8. Nebenwirkungen/Komplikationen

Ein besonderer Fokus dieser Arbeit richtet sich auf die Fragestellung, ob sich wie angenommen bei Analyse der inkludierten Studien erkennen lässt, dass die Anwendung lokoregionaler perioperativer Analgesieverfahren im Vergleich zur systemischen Analgesie mittels Opioiden mit geringeren Nebenwirkungen und/oder einer niedrigeren Komplikationsrate verbunden ist.

3.8.1. Kardiovaskuläre und respiratorische Nebenwirkungen

In insgesamt sieben der zwölf Arbeiten fanden sich Angaben zur kardiovaskulären bzw. respiratorischen Situation der Studienteilnehmer bzw. diesbezüglicher Nebenwirkungen. (Arnholz et al., 2017; Campoy et al., 2012; Caniglia et al., 2012; Marolf et al., 2021; Palomba et al., 2020; Sarotti et al., 2022; Warrit et al., 2019).

Während der Studie von Campoy et al. (2012) konnte beobachtet werden, dass der mittlere arterielle Blutdruck (MAP) *intra operationem* (*N. ischiadicus*- und *N. femoralis*-Block) in der Epiduralanästhesie-Teilnehmergruppe im Vergleich zur PNB-Gruppe signifikant niedrigere Werte aufwies ($p = 0,04$). In Bezug auf die HF oder das Auftreten von Hypotension konnten jedoch keine Unterschiede zwischen den einzelnen Analgesieverfahren nachgewiesen werden.

Ebenso konnten Arnholz et al. (2017) bei den Probanden, die einer Epiduralanästhesie unterzogen wurden, im Vergleich zu den Hunden, bei denen eine PNB (ultraschallgestützte *N. femoralis*- und *N. ischiadicus*-Blockade) durchgeführt wurde, einen signifikant geringeren MAP bis zur letzten Messung 24 h nach dem operativen Eingriff feststellen ($p = 0,0421$).

Auch bei Marolf et al. (2021) ergaben sich für den MAP in der Gruppe der Epiduralanästhesie signifikant geringere Werte als in den Gruppen der PNB ($p < 0,001$). Bei einem Hund in der Gruppe mit *N. ischiadicus*-Block und zwei Hunden in der Gruppe mit Epiduralanästhesie trat zudem perioperativ eine Hypotension auf.

Weiters kamen die Autoren zum Ergebnis, dass während der der TPLO-Operation vorangegangenen Arthroskopie bei den Studienteilnehmern, die der Gruppe des *N. femoralis*-

Blocks zugeteilt wurden, eine signifikant höhere Herzfrequenz im Vergleich zur Gruppe, die einen *N. ischiadicus*-Block erhielten, gemessen werden konnte ($p = 0,02$). Abgesehen davon war in derselben Zeitspanne auch eine höhere Atemfrequenz in der EPI-Gruppe im Vergleich zu den Gruppen mit *N. femoralis*-Block- bzw. *N. femoralis*- und *N. ischiadicus*-Block zu verzeichnen ($p = 0,002$).

Während der TPLO konnte diese signifikanten Differenzen in Bezug auf die HF nicht bemerkt werden, obwohl die Hunde mit Epiduralanästhesie und jene mit einem solitären *N. ischiadicus*-Block prinzipiell höhere Herzfrequenzen als die Hunde mit kombiniertem *N. ischiadicus*- und *N. femoralis*- oder solitärem *N. femoralis*-Block zeigten. Geringere Messwerte des MAP in der EPI-Gruppe (vergleichend zu allen anderen Gruppen) waren allerdings weiterhin zu erkennen ($p < 0,001$).

Zudem kam es bei den Probanden, bei denen ein singulärer *N. ischiadicus*-Block durchgeführt wurde, während der TPLO verglichen mit der Arthroskopie zu einem signifikanten AF-Anstieg ($p = 0,036$) und einem signifikanten MAP-Abfall ($p = 0,007$). In jener Gruppe, in der ein *N. femoralis*-Block zur intraoperativen Analgesie gewählt wurde, schwankte die HF und die AF während der Operation signifikant mehr als während der Arthroskopie ($p = 0,004$ and $p = 0,039$).

In der Studie von Sarotti et al. (2022) wurde ebenfalls eine signifikante Differenz zwischen den einzelnen intraoperativen Analgesieverfahren den Blutdruck betreffend ersichtlich: Der mittlere MAP war intraoperativ signifikant niedriger bei den Studienteilnehmern, die eine Spinalanästhesie bekamen – verglichen mit jenen mit einer PNB ($p = 0,01$). Auch in Bezug auf das Auftreten einer Bradykardie waren signifikante Unterschiede zu verzeichnen. Während in der Spinalanästhesie-Gruppe 7% der Hunde (2/29 Tieren) eine Bradykardie zeigten, waren es in der PNB-Gruppe sogar 31% (9/29 Tieren) ($p = 0,04$).

Keine Signifikanzen waren jedoch in Bezug auf die perioperativ gemessene durchschnittliche Herzfrequenz oder die Inzidenz einer Hypotension erkenntlich.

Ähnliche Beobachtungen im Hinblick auf das Auftreten einer Bradykardie machten Palomba et al. (2020). In deren Studie gab es einen signifikanten Unterschied bezüglich der Inzidenz einer Bradykardie. Diese war in der Gruppe mit systemischer Pharmakotherapie höher als bei den Hunden mit PNB ($p = 0,025$).

Im wissenschaftlichen Vergleich von Warrit et al. (2019) ergaben sich zwar keine Signifikanzen in Bezug auf die Inzidenz einer Hypotension, diese bedurfte allerdings bei sechs von acht Hunden in der Kontrollgruppe (systemische Analgesie) im Vergleich zu den Hunden, die einen *Pl. lumbalis*- und *N. ischiadicus*-Block bekamen, einer intensiveren therapeutischen Intervention.

Caniglia et al. (2012) berichteten von einer vergleichbaren Leistung des Herz-Kreislauf-Systems in der Epiduralanästhesie- und der PNB- Gruppe, da man bei beiden Analgesiemethoden nur einen minimalen additiven Bedarf an intravenöser Flüssigkeitstherapie oder Notfallmedikamenten für das Herz-Kreislauf-System verzeichnen konnte. Darüber hinaus war keine signifikante Differenz in Bezug auf die Herzfrequenz oder den systemischen arteriellen Blutdruck festzustellen.

3.8.2. Renale und urogenitale Nebenwirkungen

Aus der Gesamtheit der eingeschlossenen Studien fanden sich fünf Arbeiten, welche Angaben zu urogenitalen Nebenwirkungen enthielten (Arnholz et al., 2017; Bartel et al., 2016; Campoy, et al., 2012; Kalamaras et al., 2021; Sarotti et al., 2022). Von unerwünschten renalen postoperativen Langzeiteffekten wurde in keiner der betrachteten Publikationen berichtet.

Campoy et al. (2012) beobachteten, dass eine signifikant höhere Anzahl an Hunden, die der Epiduralanästhesie-Gruppe zugeordnet wurden, an einer postoperativen Urinretention litt. In den ersten 24 Stunden nach dem operativen Eingriff wurde bei vier von neun Hunden eine Harnretention festgestellt, während diese in der PNB-Gruppe (*N. femoralis*- und *N. ischiadicus*-Block) nicht auftrat ($p = 0,03$).

Im wissenschaftlichen Bericht von Bartel et al. (2016) konnte sowohl bei den Studienteilnehmern, die einer Epiduralanästhesie unterzogen wurden, als auch bei jenen, die eine PNB erhielten, in jeweils einem Fall eine postoperative Urinretention in den ersten 24 Stunden verzeichnet werden. Innerhalb von acht Stunden *post operationem* wurde bei einer

vergleichbaren Anzahl an Tieren kein Harnabsatz nachgewiesen (drei Hunde in der Epiduralanästhesie-Gruppe, vier Hunde in der PNB-Gruppe).

Bei Sarotti et al. (2022) wurde postoperativ bei einem Hund aus der Spinalanästhesie-Gruppe eine Urinretention diagnostiziert, während diese bei Hunden mit einem Psoas-Compartment-Block nicht vorkam.

Arnholz et al. (2017) und Kalamaras et al. (2021) stellten während der Durchführung ihrer Studien keine Probleme beim Harnabsatz fest. Alle Teilnehmer konnten innerhalb der ersten 24 Stunden nach der OP die Harnblase entleeren.

3.8.3. Gastrointestinale Nebenwirkungen

Lediglich in der Studie von Bartel et al. (2016) wurde angegeben, dass es bei keinem der Hunde zu Erbrechen oder vermehrtem Speichelfluss kam – unabhängig davon, ob diese Hydromorphon als Rescue-Analgetikum erhalten hatten.

In den verbleibenden Arbeiten konnten keine weiteren Informationen bezüglich der Auswirkungen des intraoperativen Analgesieverfahrens auf den Gastrointestinaltrakt zusammengetragen werden.

3.8.4. Komplikationen

In der Studie von Marolf et al. (2021) traten insgesamt fünf erfolglos durchgeführten Blöcke auf. Von einem nicht erfolgreich angewandten Block wurde in dieser Arbeit gesprochen, sobald ein Studienteilnehmer intra- und/oder postoperativ jeweils zwei oder mehr zusätzliche Opioidboli benötigte. Dies traf während des chirurgischen Eingriffes auf drei Hunde, bei welchen der *N. ischiadicus* anästhesiert werden sollte, und jeweils einen Hund, der eine Epiduralanästhesie bzw. einen *N. femoralis*-Block erhalten sollte, zu.

Die Studiengruppen von Sarotti et al. (2022) verzeichneten sieben von 36 Hunden (19%) in der Spinalanästhesie-Gruppe und drei von 32 Hunden (9%) in der PNB-Gruppe, bei denen die periphere Nervenblockade nicht erfolgreich angewandt werden konnte ($p = 0,31$).

Darüber hinaus konnte bei den Teilnehmern, denen eine PNB gesetzt wurde, in 25% der Fälle der *N. femoralis* nicht sonographisch aufgefunden werden.

Weiters konnte zwölf Stunden nach Durchführung der lokoregionalen Anästhesie bei zwei von 15 Tieren (13%) der PNB-Gruppe ein residualer Block des *N. ischiadicus* nachgewiesen werden, welcher jedoch 24 Stunden nach PNB nicht mehr zu beobachten war.

Zudem gab es in der Arbeit von Caniglia et al. (2012) einen Probanden, bei dem postoperativ nervale Defizite des *N. ischiadicus* festgestellt wurden, nachdem dieser vor der Operation eine PNB (*N. femoralis*- und *N. ischiadicus*) erhielt. Das Nervendefizit konnte während der ersten 18 Stunden nach dem Eingriff nachgewiesen werden, war jedoch 30 Stunden *post operationem* vollständig aufgehoben.

Weiters berichteten Sarotti et al. (2022), dass es in zwei Fällen in der Gruppe der Spinalanästhesie zum Auftreten von Pruritus kam.

3.8.5. Andere Effekte

Die Studie von Palomba et al. (2020) kam zur Erkenntnis, dass die Gesamtkosten des Eingriffs bei Anwendung von PNB oder systemischer Schmerztherapie nicht signifikant differierten ($p = 0,083$). Bei Hunden mit einem Körpergewicht über 15kg erwiesen sich die PNB jedoch als kosteneffektiver.

Ebenso konnten bei Palomba et al. (2020) keine signifikanten Unterschiede im Hinblick auf die Gesamtkosten ($p = 0,083$) oder die intraoperativen Kosten ($p = 0,899$) der Analgesieverfahren zwischen systemischer Analgesie und PNB verzeichnet werden. Postoperativ erwies sich jedoch die PNB als kostengünstigere Methode ($p = 0,0008$). Zusätzlich korrelierten die Kosten in der PNB-Gruppe weniger signifikant mit dem Körpergewicht, als dies in der Gruppe, die systemisch applizierte Opiode erhielt, der Fall war ($p = 0,023$).

3.9. Postoperative Rekonvaleszenz

Hinsichtlich der postoperativen Rekonvaleszenz wurden die Parameter „funktionelle Wiederherstellung“ und „Futteraufnahme“, „Dauer des sensitiven Blocks“ und „Dauer des motorischen Blocks“ definiert und die inkludierten Studien im Hinblick auf Informationen dazu untersucht. Schließlich konnten aus sieben der zwölf Studien diesbezügliche Angaben generiert werden (Arnholz et al., 2017; Campoy et al., 2012; Caniglia et al., 2012; Kalamaras et al., 2021; Marolf et al., 2021; Palomba et al., 2020; Sarotti et al., 2022).

3.9.1. Funktionelle Wiederherstellung

Palomba et al. (2020) kamen zum Ergebnis, dass die Hunde, die eine PNB bekamen, signifikant länger brauchten als die Tiere mit systemischer Analgesie, um ohne Hilfe gehen zu können. Im Gegensatz dazu konnten in Bezug auf den Zeitpunkt, ab dem sich die Hunde mit Unterstützung durch eine Schlinge fortbewegen konnten, keine Unterschiede verzeichnet werden. Außerdem war die Anzahl der Hunde, die trotz der Verabreichung von Methadon die operierte Gliedmaße anhaltend nicht gewichtsbelastend verwenden konnten bei jenen Studienteilnehmern, die intraoperativ mittels target-controlled-Infusion von Fentanyl analgetisch abgedeckt wurden, signifikant höher.

Konträr dazu zeichneten sich bei Sarotti et al. (2022) keine signifikanten Differenzen bezüglich der Gewichtsbelastung in den ersten 24 Stunden nach dem Eingriff zwischen der Gruppe, die eine systemische Analgesie und jener, die eine PNB bekam, ab ($p = 0,73$; $p = 0,63$).

Bei Kalamaras et al. (2021) waren am Tag nach der Operation vor der Entlassung aus dem Spital alle Tiere gehfähig. Auch bei Arnholz et al. (2017) konnten nach dem Aufwachen von der Narkose keine motorischen Beeinträchtigungen nachgewiesen werden.

3.9.2. Dauer des motorischen bzw. sensitiven Blocks

Die Dauer der sensorischen Blockade nach Applikation von Ropivacain betrug bei Marolf et al. (2021) maximal sechs Stunden.

Der prozentuale Anteil der Hunde, die sich komplett von der peripheren Nervenblockade erholt hatten, war bei Sarotti et al. (2022) drei, fünf und acht Stunden nach Durchführung der regionalanästhetischen Technik signifikant unterschiedlich ($p = 0,008$; $p = 0,014$; $p = 0,017$). Bei den Probanden, die eine Spinalanästhesie als intraoperatives Analgesieverfahren erhielten, kam es bei einer größeren Anzahl von Hunden zu den eben genannten Zeitpunkten zu einer totalen Erholung vom Nervenblock. Zwölf Stunden nach Anwendung des Blocks waren keine signifikanten Unterschiede zwischen den Studiengruppen mehr nachzuweisen und nach 24 Stunden hatten sich alle Hunde aus beiden Gruppen vollständig von der Nervenblockade erholt.

Weitere motorische Beeinträchtigungen, die zu einer verzögerten funktionellen Wiederherstellung der Tiere *post operationem* führten, wurden bereits im Rahmen des Unterpunkts „Komplikationen“ im vorigen Kapitel besprochen.

3.9.3. Postoperative Futteraufnahme

Informationen in Bezug auf die Futteraufnahme nach der Operation konnten lediglich aus der Arbeit von Palomba et al. (2020) gewonnen werden. In deren Forschungsbericht nahmen die Probanden in der PNB-Gruppe (im Vergleich zur Gruppe mit systemischer Analgesie) signifikant mehr Futter auf ($p = 0,049$). Während 16 von 20 Hunden der PNB-Gruppe 95 % der angebotenen Nahrung zu sich nahmen, taten dies nur zehn von 19 Hunden mit systemischer Pharmakotherapie. Auch wurde die geringste in der PNB-Gruppe verzeichnete Futteraufnahme mit 63 % angegeben, während sieben Tiere, die mittels systemischer Analgetika therapiert wurden, weniger als 50 % der Futtermenge aufnahmen.

3.9.4. Sedierungsgrad

Im Rahmen der wissenschaftlichen Studie von Kalamaras et al. (2021) wurde nach der Operation auch die Sedierung der Patienten beurteilt. Dabei waren die gemessenen Scores in der Gruppe, in der systemische Analgetika appliziert wurden, höher als jene der Hunde, welche eine PNB des *N. saphenus* und des *N. ischiadicus* oder eine Epiduralanästhesie bekamen. Zwei, vier und acht Stunden nach dem chirurgischen Eingriff waren die durchschnittlichen Sedierungs-Scores bei den Hunden, bei denen Analgetika systemisch zum Einsatz kamen,

signifikant größer ($p = 0,0386$; $p = 0,0185$; $p = 0,0022$). Auch über den gesamten evaluierten Zeitraum (bis 24 Stunden post OP) konnte diese signifikante Differenz gezeigt werden ($p = 0,0023$). Nach 24 Stunden lag der Sedationsgrad jedoch bei allen Patienten bei null.

Entgegengesetzt dazu konnten bei Lewis et al. (2014) keine Unterschiede hinsichtlich des gemessenen mittleren Sedierungsgrades zwischen den Hunden, die mittels Epiduralanästhesie und jenen, die mittels systemischer Analgesie versorgt wurden, aufgezeigt werden.

3.9.5. Erholungsqualität

In den Publikationen von Sarotti et al. (2022) und Warritt et al. (2019) wurde explizit die Erholungsqualität bestimmt. Erstere verzeichnete keinen diesbezüglichen Unterschied zwischen der Spinalanästhesie- und der PNB-Teilnehmergruppe. Bei letzterer allerdings kam zum Vorschein, dass der Recovery Score zum Zeitpunkt der Extubation bei den Hunden, bei denen eine PNB als perioperatives Analgesieverfahren gewählt wurde, im Vergleich zu den Hunden, die mittels systemischer Analgetika behandelt wurden, signifikant niedriger und besser war ($p = 0,04$).

4. Diskussion

Das Ziel der vorliegenden Arbeit war es, die zum heutigen Zeitpunkt vorliegende Literatur zur Durchführung einer Tibial Plateau Leveling Osteotomy (TPLO) unter Anwendung dreier verschiedener Analgesieverfahren – der etablierten systemischen Pharmakotherapie mittels Opioiden und anderer Analgetika, den rückenmarksnahen Verfahren und den peripheren Nervenblockaden (PNB) – zu vergleichen und zu evaluieren. Die Arbeitshypothese war, dass sich durch die Integration der Regionalanästhesie zur perioperativen Schmerzausschaltung bei der TPLO des Hundes Vorteile im Hinblick auf eine Verbesserung der Analgesie, eine Verkürzung der postoperativen Rekonvaleszenz bei geringerem Auftreten von Nebenwirkungen und Komplikationen erkennen lassen.

Nach Exklusion ungeeigneter Arbeiten konnten zwölf Publikationen in die Analyse inkludiert werden. Dabei handelte es sich allesamt um prospektive Arbeiten, die im Zeitraum zwischen 2005 und 2022 publiziert wurden. Die ausgewählten Studien wurden insbesondere nach Informationen zu eingesetzten Anästhesie- und Analgesieverfahren (inkl. Einsatz von Rescue-Analgesie), der Inzidenz von Schmerzen, dem Schmerzbeurteilungssystem, dem Auftreten von unerwünschten Nebenwirkungen oder Komplikationen sowie auf die funktionelle Wiederherstellung nach der Operation untersucht.

Valide Aussagen über die Analgesiequalität eines intraoperativen Schmerztherapiekonzeptes können getroffen werden, indem man zur Bewertung den Bedarf an Rescue-Analgetika *intra*- und *post operationem* sowie die gemessenen Schmerzscores in der postoperativen Überwachung der Patienten bzw. die Inzidenz des Auftretens von Schmerzen sowohl während als auch nach dem chirurgischen Eingriff miteinbezieht.

Intraoperativ zeigten drei Artikel einen Vorteil von PNB oder Epiduralanästhesie im Vergleich zur systemischen Analgesie.

Palomba et al. (2020) bewiesen in ihrer Arbeit, dass das Schmerzempfinden während der Operation bei Hunden, die eine systemische Opioidinfusion erhielten, im Vergleich zu denen, die eine PNB bekamen, signifikant höher war.

Warrit et al. (2019) konnten nachweisen, dass intraoperativ ein signifikant geringerer Rescue-Analgetikaverbrauch in der PNB-Gruppe im Vergleich zu jener mit systemischer Analgesie zu verzeichnen war.

Diese Beobachtungen stehen im Einklang mit der retrospektiven Studie von Boscan & Wennogle (2016), die die Anwendung systemischer Opiode mit Methoden der Regionalanästhesie bei der TPLO des Hundes vergleicht. Auch hier war ein größerer Prozentsatz an Hunden, die eine systemische Pharmakotherapie erhalten hatten, auf zusätzliche Rescue-Analgetika während der Operation angewiesen als dies bei Probanden mit Epiduralanästhesie oder PNB der Fall war.

Bei Kalamaras et al. (2021) wurden bei keiner der Gruppen (systemische Pharmakotherapie, Epiduralanästhesie, PNB) während des operativen Eingriffes zusätzliche Notfallschmerzmittel benötigt.

Marolf et al. (2021) stellten außerdem fest, dass im Hinblick auf die intra- und früh postoperativ benötigten Analgetika, die Epiduralanästhesie und die kombinierte Blockade des *N. femoralis* und des *N. ischiadicus* dem alleinigen Block eines dieser beiden Nerven deutlich überlegen sind.

Bei Caniglia et al. (2012) und Arnholz et al. (2017) differierte das Schmerzempfinden bzw. der während des chirurgischen Eingriffes erforderliche Einsatz von Schmerzmitteln nicht signifikant zwischen den Gruppen mit Epiduralanästhesie oder PNB. Bei diesen beiden Studien ließ sich somit kein eindeutiger Vorteil im Hinblick auf die intraoperative Schmerzbekämpfung zwischen Epiduralanästhesie und PNB feststellen.

In starkem Kontrast zu diesen Studien war in der Publikation von Sarotti et al. (2022) perioperativ von einer häufiger notwendigen Applikation von Notfallschmerzmitteln und einer durchschnittlich höheren Gesamtmenge ebendieser bei Hunden mit PNB, als bei jenen mit einer Spinalanästhesie zu lesen.

Anhand der betrachteten Publikationen gibt es somit zumindest für die intraoperative Situation wissenschaftliche Belege, dass die peripheren Nervenblockaden der systemischen Pharmakotherapie hinsichtlich der Analgesiequalität überlegen sind. Bei Vergleich von PNB und Epiduralanästhesie hingegen stellt sich ein vergleichbares Potential in Bezug auf die intraoperativ gewährleistete Schmerzausschaltung dar. Außerdem geben die eingeschlossenen Studien Anlass zur Vermutung, dass eine kombinierte Nervenblockade einem solitären Block zumindest für den perioperativen Zeitraum überlegen ist.

Postoperativ zeichnete sich in den Studien von Palomba et al. (2020) und Warritt et al. (2019) ebenso ein Vorteil der PNB im Vergleich zu systemischer Pharmakotherapie ab, indem die Probanden mit PNB weniger zusätzliche Analgetika benötigten. Bei Palomba et al. (2020) erwiesen sich auch die postoperativ bestimmten Messungen in der verwendeten Schmerzskala in der PNB-Gruppe allesamt als signifikant niedriger.

Diese Vorteile der PNB konnten auch in einer humanmedizinischen Arbeit von Gianakos et al. (2021) aufgezeigt werden. In diesem systematischen Review kam es bei elektiven orthopädischen Eingriffen an Fuß und Sprunggelenk mit kombiniertem Nervenblock zu einer substanziellen Verbesserung postoperativ bestimmter Schmerzlevels sowie einer deutlichen Einsparung von Opioiden bei gleichzeitig gesteigerter Patientenzufriedenheit.

In zwei der betrachteten Publikationen zeigte sich, dass eine kombinierte Blockade zweier Nerven einer solitären Blockade auch im Hinblick auf den postoperativen Rescue-Analgetikaverbrauch signifikant überlegen ist.

So konnte Marolf et al. (2021) für den Zeitraum nach der Operation zeigen, dass bei Hunden mit Epiduralanästhesie und kombiniertem *N. femoralis*- und *N. ischiadicus*-Block ein geringerer Bedarf an Notfallschmerzmitteln bestand als bei Probanden, die nur einen isolierten Nervenblock erhielten.

In der Publikation von Kalamaras et al. (2021) konnten zudem geringere Schmerzscores bei den Hunden, bei denen eine kombinierte PNB des *N. ischiadicus* und des *N. saphenus* durchgeführt wurde, im Vergleich zu den Tieren, die eine Epiduralanästhesie oder eine systemische Schmerztherapie mittels Dauertropfinfusion (DTI) bekamen, festgestellt werden.

Auch Grape et al. (2016), die sich mit der analgetischen Effektivität eines *N. ischiadicus*-Blocks als Zusatz zu einer *N. femoralis*-Blockade im Rahmen des Einsatzes von Kniegelenktotalendoprothesen beim Menschen auseinandersetzten, fanden heraus, dass die Analgesie durch die Kombination der PNB in den ersten 24 post operativen Stunden deutlich verbessert werden konnte, ohne dass es zu Beeinträchtigungen im Hinblick auf die funktionelle Wiederherstellung oder zusätzlichen Nebenwirkungen kam. Gleichzeitig konnten durch die Anwendung kombinierter PNB auch niedrigere Werte in der Schmerzskala innerhalb der ersten zwölf Stunden nach der Operation erzielt werden.

In gleicher Weise bewiesen McCally et al. (2015), dass sich die kombinierte Blockade des *N. ischiadicus* und des *N. femoralis* auch in Bezug auf den postoperativen Schmerzmittelbedarf im Hinblick zur einzelnen Blockade eines Nerven als vorteilig erweist.

Zu ähnlichen Beobachtungen gelangte auch eine humanmedizinische Studie von Raith et al. (2008). Die Autoren kamen dabei zum Entschluss, dass die kombinierte Nervenblockade des *N. femoralis* und des *N. ischiadicus* bei Beinamputationen an Stelle von Vollnarkosen mittels systemisch applizierter Pharmaka oder neuraxialen Verfahren eine durchaus geeignete Methode darstellt, die sich auch im Hinblick auf die postoperativ gewährleistete Analgesie positiv auswirkt. Außerdem konnten bei Patienten mit gesundheitlichen Vorerkrankungen des Herz-Kreislaufsystems durch die Einsparung von Opioidanalgetika deren depressive, kardiovaskuläre Wirkungen vermieden werden. Dieser Vorteil könnte sich sicherlich in ähnlicher Weise auch bei multimorbiden tierischen Probanden positiv auswirken und sollte nicht außer Acht gelassen werden.

Hoelzler et al. (2005) zeigten, dass bei Anwendung der Epiduralanästhesie und der intraartikulären Analgesie weniger zusätzliche Opioide gebraucht werden als bei Applikation von systemisch wirksamen Analgetika. und dass die Teilnehmer der SYST-Gruppe (systemische Pharmakotherapie) signifikant früher eine zusätzliche Analgesie benötigten als jene der EPI- (Epiduralanästhesie-) und der IA-Versuchsgruppen (intraartikuläre Analgesie). Im Widerspruch dazu stehen die Ergebnisse einer Arbeit von Lewis et al. (2014), die keinen signifikanten Unterschied im Hinblick auf den postoperativen Notfallschmerzmittelbedarf zwischen systemischer Applikation von Opioiden und der Epiduralanästhesie erkennen konnten.

Weiters ließen sich in zwei Studien *post operationem* keine Vorteile zwischen Epiduralanästhesie und PNB (Arnholz et al., 2017; Caniglia et al., 2012) in Bezug auf die kumulative Rescue-Analgetikadosis nachweisen.

Auch in einer humanmedizinischen Metaanalyse von Fowler et al. (2008), in der Patienten mit Knieoperationen entweder eine PNB oder eine Epiduralanästhesie erhielten, war keines der Verfahren dem anderen im Hinblick auf bestimmte Pain Scores oder den kumulativen Opioidverbrauch überlegen. Dennoch kommen die Autoren zur Schlussfolgerung, dass die peripheren Nervenblockaden ein geringeres Nebenwirkungsprofil und ein niedrigeres Komplikationsrisiko mit sich bringen.

Bei Betrachtung aller Studien kann für die postoperative Situation der Eindruck gewonnen werden, dass der Einsatz von peripheren Nervenblockaden anstelle der systemischen Pharmakotherapie in Bezug auf den Bedarf an postoperativen Rescue-Analgetika und das mittels Schmerzmessungssystemen ermittelte Schmerzlevel durchaus Vorteile mit sich bringt und zu einer verbesserten analgetischen Abdeckung beitragen kann. Außerdem lassen sich in einigen Arbeiten Hinweise erkennen, dass die Durchführung von PNB mit einer länger andauernden Schmerzlinderung auch nach dem chirurgischen Eingriff vergesellschaftet ist.

In ähnlicher Weise gelangt eine Studie von Boscan & Wennogle (2016), welche den Einsatz systemischer Opiode mit PNB und Epiduralanästhesie bei der TPLO des Hundes vergleicht, zur Erkenntnis, dass die Anwendung lokoregionaler Anästhesieverfahren die Einsparung additiver Rescue-Analgetika erlaubt bei simultan bestehender verbesserter Erholungsqualität.

Ein Hauptaugenmerk der vorliegenden Arbeit sollte auch auf die Frage gerichtet sein, ob die Anwendung lokoregionaler perioperativer Analgesieverfahren im Vergleich zur systemischen Analgesie ein geringeres Risiko für unerwünschte Wirkungen und Komplikationen aufweist.

Bei Betrachtung des Nebenwirkungs- bzw. Komplikationspotentials berichten drei Studien von einem signifikant geringeren mittleren arteriellen Blutdruck (MAP) bei Probanden mit Epiduralanästhesie verglichen mit Tieren, die eine PNB erhielten (Arnholz et al., 2017; Campoy et al., 2012; Marolf et al., 2021).

Konträr dazu waren in der Studie von Adami et al. (2012), in der die Probanden während der TPLO mittels Epiduralanästhesie analgetisch abgedeckt wurden, alle Hunde kardiovaskulär stabil und zeigten weder Hypotension noch Bradykardie.

Von völlig stabilen kardiovaskulären Parametern bei Anwendung von peripheren Nervenblockaden während orthopädischer Eingriffe an der Hintergliedmaße von Hunden berichtet auch eine weitere Studie von Campoy et al. (2012).

Bei Sarotti et al. (2022) war während des perioperativen Zeitraumes ein signifikant niedriger MAP bei den Teilnehmern mit Spinalanästhesie im Gegensatz zu jenen mit PNB messbar.

In einer weiteren retrospektiven klinischen Studie von Sarotti et al. (2013), die ebenfalls die Effektivität und Nebenwirkungen der Spinalanästhesie bei Hunden mit orthopädischen Eingriffen an der Hinterextremität betrachtete, erlitten 31% der Probanden eine Hypotension.

Bezugnehmend auf die Herzfrequenz (HF) ergaben sich in zwei Studien keinerlei Differenzen zwischen den Teilnehmern mit Epiduralanästhesie oder PNB (Campoy et al., 2012; Caniglia et al., 2012).

Dies steht im Einklang mit den Studienergebnissen von Boscan & Wennogle (2016), die bei Durchführung einer TPLO mittels systemischer Pharmakotherapie oder Methoden der Regionalanästhesie keine signifikanten Unterschiede in Bezug auf Herzfrequenz (oder Blutdruck) erkennen konnten.

In der Arbeit von Marolf et al. (2021) lag die HF und die Atemfrequenz (AF) bei Hunden mit singulären Nervenblockaden tendenziell höher, vor allem während der auf die Arthroskopie folgenden TPLO. Bei Aufstellung der Vermutung, dass der Anstieg dieser beiden Parameter vorwiegend in einer unzureichenden Abdeckung mittels Schmerzmitteln begründet ist, lassen sich Anzeichen erkennen, dass eine solitäre Nervenblockade keine zufriedenstellende Analgesie gewährleisten könnte. Damit lässt sich auch erklären, warum während des operativen Eingriffes durch den höheren nozizeptiven Stimulus in Vergleich zur Arthroskopie höhere Atemfrequenzen auftraten.

Das Risiko der Entwicklung intra- und postoperativer kardiovaskulärer Nebenwirkungen erscheint insgesamt gering, wobei das Auftreten von Bradykardien vorwiegend dem Einsatz systemischer Opioide zuzuschreiben ist. Aus diesen Erkenntnissen zeichnet sich zudem ab, dass die Epidural- und auch die Spinalanästhesie mit höherer Wahrscheinlichkeit zu einem Abfall des MAP während und auch nach dem operativen Eingriff führt, als dies bei Anwendung von PNB der Fall ist. Der regelmäßig dabei auftretende MAP-Abfall scheint sich hingegen nicht klinisch relevant auszuwirken. Weiters kann ein Absinken der AF oder HF in gehäufterem Maße beim Einsatz solitärer Nervenblockaden beobachtet werden, weshalb kombinierte Nervenblockaden auch im Hinblick darauf favorisiert werden sollten.

Bei Betrachtung der in den eingeschlossenen Studien vorkommenden urogenitalen Nebenwirkungen, stellt sich bei Vergleich von Epiduralanästhesie und PNB ein widersprüchliches Ergebnis dar: Während in einer Studie von Campoy et al. (2012) signifikant mehr Teilnehmer mit Epiduralanästhesie eine postoperative Urinretention erlitten, kam es zu dieser unerwünschten Wirkung in der Arbeit von Bartel et al. (2016) bei je einem Hund sowohl in der Epiduralanästhesie- als auch der PNB-Gruppe.

Obwohl in der Literatur oft von einem Zusammenhang zwischen Epiduralanästhesie und Harnretention zu lesen ist, kommt eine Studie von Peterson et al. (2014), die sich mit der Inzidenz von Harnverhalt nach epiduraler Administration von Opioiden bei Kreuzbandoperationen des Hundes beschäftigt, zum Ergebnis, dass es trotz epiduraler Applikation nicht zu einem erhöhten Unvermögen Harn abzulassen kommt. Daneben konnte auch in der Studie von Adami et al. (2012) bei keinem der Studienteilnehmer, die im Rahmen einer TPLO eine Epiduralanästhesie erhielten, eine Harnretention verzeichnet werden.

Sarotti et al. (2022) konnten einen Probanden der Spinalanästhesie-Gruppe ausmachen, der postoperativ keinen Harn absetzen konnte, während diese Nebenwirkungen bei den Hunden mit PNB nicht beobachtet werden konnten.

In einer ähnlichen Arbeit von Sarotti et al. (2013) zeigten insgesamt acht Prozent der Hunde, die im Zuge einer orthopädischen Operation einer Spinalanästhesie unterzogen wurden, eine postoperative Harnretention.

Das postoperativ auftretende Unvermögen Harn abzusetzen, erweist sich demzufolge insgesamt bei allen betrachteten Analgesieverfahren als selten auftretende Komplikation, wobei tendenziell mit einer erhöhten Inzidenz bei Anwendung der Epidural- oder Spinalanästhesie zu rechnen ist.

Gastrointestinale Nebenwirkungen, wie sie häufig beim Einsatz systemisch wirksamer Opiode beobachtet werden, traten in keiner der inkludierten Studien während des beobachteten Zeitraumes auf.

Somit stehen die Resultate in dieser Literaturübersicht im Gegensatz zu einer großangelegten multizentrischen humanmedizinischen Arbeit von Bugada et al. (2017), wo ein signifikant häufigeres Auftreten von Übelkeit und Erbrechen bei Patienten, die eine Kniegelenksprothese erhalten hatten und dabei mittels systemischer Opiode schmerztherapeutisch behandelt wurden, im Vergleich zu jenen, die von regionalanästhetischen Analgesieverfahren (Spinalanästhesie, PNB) profitierten.

Von Komplikationen bei der Anwendung regionalanästhetischer Methoden im Sinne von erfolgloser Durchführung des Anästhesieverfahrens bzw. neurologischen Zwischenfällen war in drei der zwölf Studien zu lesen (Caniglia et al., 2012; McCally et al., 2015; Sarotti et al., 2022). Daraus ergibt sich, dass es bei Anwendung lokoregionaler Anästhesie zu einem geringen Prozentsatz zu erfolglos durchgeführten Blöcken bzw. vorübergehenden nervalen Defiziten kommen kann.

Diese Annahmen können auch in einer Studie von Vettorato et al. (2012), in der der gemeinsame Einsatz von PNB des *Pl. lumbalis* und des *N. ischiadicus* bzw. des *N. femoralis* und des *N. ischiadicus* beschrieben wird, in ähnlicher Weise bestätigt werden. Es zeigt sich eine hohe Erfolgsrate der Blöcke bei gleichzeitig ausbleibenden postoperativen neurologischen Komplikationen.

Allgemein scheint es, wie auch in sämtlicher Literatur beschrieben, von großer Bedeutung zu sein, hohe Expertise vor allem in der Anwendung von ultraschallgestützten PNB zu erlangen, um die zu blockierenden Nerven möglichst exakt auffinden und darstellen zu können.

In Bezug auf die funktionelle Wiederherstellung nach der Operation zeigte sich in der Arbeit von Palomba et al. (2020) , dass es bei Tieren in der PNB-Gruppe signifikant länger als bei Hunden mit systemischer Analgesie dauerte, bis diese ohne Hilfe gehen konnten. Allerdings war der Anteil der Hunde, die keine längerfristige Gewichtsbelastung der operierten Extremität bewerkstelligen konnten, in der Gruppe mit systemisch applizierten Opioiden signifikant höher.

Im Gegensatz dazu berichtet die Studie von (Campoy et al., 2012) einem unkomplizierten postoperativen Verlauf im Hinblick auf die funktionelle Wiederherstellung der Gliedmaßenfunktion nach PNB. Hier waren alle Probanden nach durchschnittlich vier Stunden gehfähig.

Ebenso kam es in der retrospektiven Studie von Vettorato et al. (2012) bei orthopädischen Operationen der Hinterextremität nach PNB lediglich bei einem von insgesamt 265 Hunden zu einer transienten bilateralen Paralyse. Neurologische Komplikationen konnten innerhalb von sechs Wochen *post operationem* bei keinem der Studienteilnehmer nachgewiesen werden.

Diese Ergebnisse machen deutlich, dass mit allen drei verschiedenen intraoperativen Analgesieverfahren eine funktionelle Wiederherstellung der Extremität in den allermeisten Fällen innerhalb der ersten 24 Stunden gelingt. Dennoch kann es durch die motorische und sensible Blockade bei Durchführung einer PNB länger dauern, bis sich die Hunde selbstständig fortbewegen können. Nichtsdestotrotz scheint die Analgesie durch die PNB im Vergleich zu systemischen Opioiden eine länger andauernde Gewichtsbelastung der operierten Extremität in höherem Maße zu ermöglichen.

Bei Betrachtung der mit den verschiedenen Schmerztherapiekonzepten einhergehenden postoperativen Sedierung erscheint diese bei Gegenüberstellung von PNB und Epiduralanästhesie vergleichbar. Bei Gegenüberstellung von systemischer Analgesie mit PNB zeigte sich jedoch deutlich, dass die systemisch eingesetzten Schmerzmittel zu einem ausgeprägteren Sedationsgrad führen (Kalamaras et al., 2021; Lewis et al., 2014). Hinsichtlich des Sturzrisikos nach der TPLO bei noch nicht vollständig wiedererlangter Gehfähigkeit in Zusammenhang mit erhöhter Sedierung könnte demnach die Anwendung lokoregionaler Analgesietechniken vorteilhaft sein.

Eine große Limitation dieser Datenanalyse ist, dass vor allem im Rahmen der Prämedikation, Einleitung und Erhaltung aber auch bei der Anwendung der einzelnen intraoperativen Analgesieverfahren oder der Applikation von NSAIDs voneinander differierende Wirkstoffe in oft unterschiedlichen Dosierungen angewendet wurden, wodurch die Erkenntnisse daraus nicht exakt miteinander verglichen werden können.

Zudem wird in sämtlichen inkludierten Studien der etwaige Effekt schon im Rahmen der Prämedikation applizierter Analgetika bzw. auch jener prä-, intra- oder postoperativer NSAIDs oder anderer zusätzlicher Schmerzmittel außer Acht gelassen, wodurch deren Beitrag zu Analgesie bzw. Nebenwirkungen einer intraoperativen Analgesieverfahrens nicht genau eingeschätzt werden kann.

Weiters kommen auch im Rahmen der Einschätzung des Schmerzempfindens unterschiedliche Schmerzmessungssysteme zum Einsatz, die bei der Bewertung des Schmerzlevels jeweils auf verschiedene Parameter ihren Fokus legen, wodurch auch hier die direkte Vergleichbarkeit der daraus erlangten Erkenntnisse in Frage gestellt werden muss.

In ähnlicher Weise differieren auch die Beobachtungszeiträume der eingeschlossenen Publikationen teilweise deutlich, nicht nur im Hinblick auf die Schmerzmessung.

Zu guter Letzt darf auch nicht vergessen werden, dass die Durchführung besonders der regionalanästhetischen Verfahren der perioperativen Analgesie auch durch die vielen unterschiedlichen Anwender und somit von deren Erfahrung und Können in gewissem Maße abhängt und beeinflusst werden kann.

Es wäre sicherlich interessant, in Rahmen einer prospektiven Arbeit an einer Einrichtung mit ausreichenden Fallzahlen die drei verschiedenen Verfahren der Schmerztherapie im Hinblick auf die in der Fragestellung dieser Arbeit festgelegten Parameter neu zu bewerten. Darüber hinaus könnte die Aussagekraft des Ergebnisses noch durch festgelegte Therapieschemata im Bereich der Prämedikation, Einleitung und Erhaltung sowie der Anwendung von NSAIDs potenziert werden.

Zusammenfassend ergibt sich aus den Auswertungen der in die Analyse miteinbezogenen Studien, dass sich im Hinblick auf die peri- und auch postoperative Analgesiequalität und das Nebenwirkungs- bzw. Komplikationsprofil die peripheren Nervenblockaden und die Epiduralanästhesie vorteilhaft gegenüber dem Einsatz systemischer Opiode erweisen. Die Vorzüge des Einsatzes von PNB anstelle von systemisch angewandten Analgetika zeigen sich in den betrachteten Studien besonders deutlich. Es wird sowohl von einem geringeren Bedarf an Schmerzmitteln, einem geringeren Schmerzlevel als auch einer länger andauernden Analgesie berichtet. Somit kann es insgesamt durch die Anwendung von PNB zu einem Einsparen zusätzlich notwendiger Rescue-Analgetika kommen.

Abgesehen davon können durch den Einsatz peripherer Nervenblockaden anstelle von systemischen Opioiden auch deren etwaige Nebenwirkungen auf den Gastrointestinaltrakt oder das kardiovaskuläre System vermieden werden. Da sich in den betrachteten Studien kardiovaskuläre Effekte wie ein niedriger arterieller Blutdruck bei Probanden mit Epiduralanästhesie gehäuft darstellten, sollte bei Patienten mit diesbezüglichen Vorerkrankungen eher die PNB anstatt der Epiduralanästhesie favorisiert werden.

Deutlich wird auch, dass sowohl im Hinblick auf die Analgesiequalität als auch auf kardiovaskuläre Parameter die Kombination zweier Nervenblockaden der alleinigen Blockade eines Nerven der Vorzug zu geben ist bzw. dass eine solitäre Nervenblockade gegebenenfalls in einer unzureichenden Analgesie resultieren kann.

Aus den erhobenen Fakten im Rahmen dieser deskriptiven Literaturarbeit geht hervor, dass der Einsatz peripherer Nervenblockaden im Rahmen eines balancierten Anästhesiekonzeptes auf jeden Fall anstatt der etablierten systemischen Pharmakotherapie als bevorzugtes intraoperatives Analgesieverfahren angesehen werden sollte.

Obwohl sich bei Vergleich von Epiduralanästhesie und PNB die Vorteile des letztgenannten Verfahrens nicht in gleicher eindrücklicher Weise darstellen, sollte insbesondere bei Risikopatienten bzw. bestehenden Vorerkrankungen eine Anwendung peripherer Nervenblockaden zur intraoperativen Analgesie in Erwägung gezogen werden.

5. Zusammenfassung

5.1. Extended summary

Introduction

This paper provides an overview of the intraoperative analgesia methods that can be used in TPLO, such as established systemic pharmacotherapy, spinal cord procedures and peripheral nerve blocks, based on the literature.

First, a description of the disease complex of cranial cruciate ligament rupture as the most common cause of lameness of the pelvic limb in dogs is given, including its diagnosis and treatment methods with a special focus on TPLO.

This is followed by a discussion of the pathophysiology of pain and the most important pain measurement systems used in veterinary medicine and a presentation of the various intraoperative options for analgesia that are routinely used in veterinary practice.

Question

The aim of this descriptive work is to evaluate whether the comparatively young field of locoregional anesthesia in veterinary medicine offers advantages over the use of systemic pharmacotherapy regarding analgesia quality, side effect and complication profile as well as postoperative convalescence, since the currently available literature on intraoperative analgesia in canine TPLO mainly refers to the perioperative use of opioids and other intravenous analgesics.

Material and method

Studies dealing with analgesia in canine TPLO were searched for using various online search engines such as Scopus, Ovid SP, Google Scholar, PubMed or vetmedseeker.

The studies found were then further selected based on defined exclusion criteria and finally twelve studies were filtered out, which were further examined for a total of 22 predefined parameters.

Results

With regard to the peri- and also postoperative analgesia quality and the side effect and complication profile, peripheral nerve blocks and epidural anesthesia proved to be advantageous compared to the use of systemic opioids, with the advantages of PNB being particularly clear.

Apart from this, the use of PNB instead of systemic opioids can also avoid their possible side effects on the gastrointestinal tract or the cardiovascular system.

It is also clear that, regarding both the quality of analgesia and cardiovascular parameters, the combination of two nerve blocks is to be preferred to the blockade of one nerve alone, or that a solitary nerve block may result in inadequate analgesia.

Conclusion

After careful evaluation of the results of this descriptive literature review, the use of peripheral nerve blocks within a multimodal anesthetic concept should definitely be considered as the preferred intraoperative analgesia procedure instead of the established systemic pharmacotherapy.

Although the advantages of the latter procedure are not equally impressive when comparing epidural anesthesia and PNB, the use of peripheral nerve blocks for intraoperative analgesia should be considered, especially in patients at risk or with pre-existing conditions.

5.2. Zusammenfassung

Einleitung

Die vorliegende Arbeit gibt anhand der Literatur einen Überblick über die im Rahmen der TPLO anwendbaren intraoperative Analgesieverfahren wie die etablierte systemische Pharmakotherapie, rückenmarksnahe Verfahren sowie periphere Nervenblockaden.

Zunächst erfolgt eine Beschreibung des Krankheitskomplexes der kranialen Kreuzbandruptur als häufigste Lahmheitsursache der Beckengliedmaße beim Hund inklusive deren Diagnostik und Behandlungsmethoden mit besonderem Fokus auf die TPLO.

Anschließend wird auf die Pathophysiologie des Schmerzes und die wichtigsten in der Veterinärmedizin eingesetzten Schmerzmessungssysteme eingegangen.

Darauf folgt eine Darstellung der verschiedenen intraoperativen Möglichkeiten der Schmerzausschaltung, die im Rahmen der veterinärmedizinischen Praxis routinemäßig zum Einsatz kommen.

Fragestellung

Ziel dieser deskriptiven Arbeit ist es zu evaluieren, ob das in der Veterinärmedizin vergleichbar junge Fachgebiet der lokoregionalen Anästhesie hinsichtlich Analgesiequalität, Nebenwirkungs- und Komplikationsprofil sowie postoperativer Rekonvaleszenz Vorteile gegenüber dem Einsatz der systemischen Pharmakotherapie bietet, da sich die zum heutigen Zeitpunkt verfügbare Literatur zur intraoperativen Schmerzausschaltung bei der TPLO des Hundes vorwiegend auf die perioperative Verwendung von Opioiden und anderen intravenösen Analgetika bezieht.

Material und Methode

Unter Zuhilfenahme verschiedenster Online- Suchmaschinen wie Scopus, Ovid SP, Google Scholar, PubMed oder vetmedseeker wurden Studien, die sich mit der Analgesie bei der TPLO beim Hund befassen, gesucht.

Die gefundenen Studien wurden im Anschluss anhand definierter Ausschlusskriterien weiter selektiert und schließlich konnten zwölf Studien herausgefiltert werden, die weiter auf insgesamt 22 vorher festgelegte Parameter untersucht wurden.

Ergebnisse

Im Hinblick auf die peri- und auch postoperative Analgesiequalität und das Nebenwirkungs- bzw. Komplikationsprofil erwiesen sich die peripheren Nervenblockaden und die Epiduralanästhesie gegenüber dem Einsatz systemischer Opiode als vorteilhaft, wobei sich die Vorzüge der PNB besonders deutlich darstellen.

Abgesehen davon können durch die Anwendung der PNB anstelle von systemischen Opioiden auch deren etwaige Nebenwirkungen auf den Gastrointestinaltrakt oder das kardiovaskuläre System vermieden werden.

Deutlich wird auch, dass sowohl im Hinblick auf die Analgesiequalität als auch auf kardiovaskuläre Parameter die Kombination zweier Nervenblockaden der alleinigen Blockade eines Nerven der Vorzug zu geben ist bzw. dass eine solitäre Nervenblockade gegebenenfalls in einer unzureichenden Analgesie resultieren kann.

Schlussfolgerung

Nach sorgfältiger Auswertung der Ergebnisse dieser deskriptiven Literaturarbeit geht hervor, dass der Einsatz peripherer Nervenblockaden im Rahmen eines multimodalen Anästhesiekonzeptes auf jeden Fall anstatt der etablierten systemischen Pharmakotherapie als bevorzugtes intraoperatives Analgesieverfahren angesehen werden sollte.

Obwohl sich bei Vergleich von Epiduralanästhesie und PNB die Vorteile des letztgenannten Verfahrens nicht in gleicher eindrücklicher Weise darstellen, sollte insbesondere bei Risikopatienten bzw. bestehenden Vorerkrankungen eine Anwendung peripherer Nervenblockaden zur intraoperativen Analgesie in Erwägung gezogen werden.

6. Abbildungsverzeichnis

<i>Abb. 1 Durchführung des Schubladentests, aus Fossum (2021)</i>	4
<i>Abb. 2 Durchführung des Tibiakompressionstests, aus Fossum (2021)</i>	5
<i>Abb. 3 Röntgenbild eines gesunden Kniegelenks (links) im Vergleich zu Kniegelenk mit Gelenkserguss in Folge eines KBR (rechts), aus DeCamp (2016)</i>	7
<i>Abb. 4 Operationsschritte der TPLO, aus DeCamp (2016)</i>	10
<i>Abb. 5 nozizeptiver Signalweg, aus Fox (2013)</i>	12
<i>Abb. 6 Punktionsstelle bei der Epiduralanästhesie am lumbosakralen Übergang, aus Duke-Novakovski et al. (2016)</i>	22
<i>Abb. 7 Zugang zum N. femoralis nach Campoy (2006), aus Campoy & Read (2013)</i>	29
<i>Abb. 8 Blockade des N. ischiadicus nach Portela (2010), aus Campoy & Read (2013)</i>	30
<i>Abb. 9: Flussdiagramm in Anlehnung an das PRISMA flow diagram</i>	36

7. Abkürzungsverzeichnis

A

A. · *Arteria*

AF · *Atemfrequenz*

ASA · *American Society of Anesthesiologists*

C

COX · *Cyclooxygenase*

CRI · *constant rate infusion*

CSU-CAPS · *Colorado State University Canine Acute Pain Scale*

CSUPS · *Colorado State University Pain Scale*

CTT · *cranial tibial thrust*

D

d.h. · *das heißt*

DTI · *Dauertropfinfusion*

E

EPI · *Epiduralanästhesie*

ES · *Elektrostimulator, Nervenstimulator*

F

Felso · *endtidale Isoflurankonzentration*

G

GABA · *Gamma-Aminobuttersäure*

GCMPS · *Glasgow Composite Measure Pain Scale*

GCMPS-SF · *Kurzform des Glasgow Composite Measure Pain Scale*

H

HD · *hanging drop-Methode*

HE · *Hinterextremität*

HF · *Herzfrequenz*

I

i.m. · *intramuskulär*

i.v. · *intravenös*

IA · *intraartikuläre Applikation von Opioiden*

IASP · *International Association for the Study of Pain*

K

k.A. · *keine Angabe*

KB · *Kreuzband*

KBR · *Kreuzbandriss*

krKB · *kraniales Kreuzband*

L

LA · *Lokalanästhetikum*

Lig. · *Ligamentum*

LR · *loss of resistance-Methode*

M

M. · *Musculus*

MAP · *mittlerer arterieller Blutdruck*

max. · *maximal*

MPS · *multifaktorielle Pain Scores*

N

N. · *Nervus*

NaCl · *Natriumchlorid*

NRS · *numerische Bewertungsskalen*

NSAIDs · *nicht-steroidale Entzündungshemmer*

O

OP · *Operation*

P

p.o. · *per os*

Pl. · *Plexus*

PNB · *periphere Nervenblockaden*

PS · *popping sensation*

S

s.c. · *subkutan*

SAP · *systemischer arterieller Blutdruck*

SDS · *einfache deskriptive Skalen*

SF-GCMPS · *Kurzform des Glasgow Composite Measure Pain Scale*

SPINAL · *Spinalanästhesie*

SYST · *systemische Pharmakotherapie*

T

TPA · *tibial plateau angle*

TPLO · *Tibial Plateau Leveling Osteotomy*

U

u.a. · *unter anderem*

UMPS · *Schmerzskala der Universität Melbourne*

US · *Ultraschall*

V

VAS · *visuelle Analogskala*

vKB · *vorderes Kreuzband*

VRS · *verbale Bewertungsskalen*

Z

ZNS · *Zentralnervensystem*

8. Tabellenverzeichnis

*Tab. 1: zur Literaturrecherche angewandte Suchparameter*32

*Tab. 2: Verwendete Studienparameter*34

*Tab. 3: Inkludierte Studien*38

*Tab. 4: Studienziele der einzelnen Arbeiten*42

*Tab. 5: Demographische Daten der einzelnen Studien*46

*Tab. 6: Angewandte Medikamente zur Allgemeinanästhesie*51

*Tab. 7: Zusätzliche Standardanalgesie*55

*Tab. 8: Angewandte Analgesieverfahren*57

*Tab. 9: Durchgeführte periphere Nervenblockaden, verwendete Medikamente & Kontrollverfahren*61

*Tab. 10: Eingesetzte rückenmarksnahe Verfahren, verwendete Medikamente und deren Erfolgskontrolle*65

*Tab. 11: im Rahmen der systemischen Pharmakotherapie verwendete Medikamente*68

*Tab. 12: Intra- und postoperativ verwendete Rescue-Analgetika*74

9. Literaturverzeichnis

- Adami, C., Veres-Nyéki, K., Spadavecchia, C., Rytz, U., & Bergadano, A. (2012). Evaluation of peri-operative epidural analgesia with ropivacaine, ropivacaine and sufentanil, and ropivacaine, sufentanil and epinephrine in isoflurane anesthetized dogs undergoing tibial plateau levelling osteotomy. *Veterinary journal (London, England: 1997)*, *194*(2), 229–234. <https://doi.org/10.1016/J.TVJL.2012.04.019>
- Aldrete, J. A. (2003). Neurologic deficits and arachnoiditis following neuroaxial anesthesia. *Acta anaesthesiologica Scandinavica*, *47*(1), 3–12. <https://doi.org/10.1034/J.1399-6576.2003.470102.X>
- Arnholz, M., Hungerbühler, S., Weil, C., Schütter, A. F., Rohn, K., Tümsmeyer, J., & Kästner, S. B. R. (2017). Ultraschallgesteuerte Nervenblockade des Nervus femoralis und ischiadicus im Vergleich zur Epidural-anästhesie bei orthopädischen Eingriffen am Hund. *Tierärztliche Praxis Ausgabe K: Kleintiere - Heimtiere*, *45*(1), 5–14. <https://doi.org/10.15654/TPK-151087>
- Arnoczky SP. (1993). Pathomechanics of cruciate ligament and meniscal injuries. In M. J. Bojrab (Hrsg.), *Disease Mechanisms in Small Animal Surgery* (S. 764–766).
- Bartel, A. K., Campoy, L., Martin-Flores, M., Gleed, R. D., Walker, K. J., Scanapico, C. E., & Reichard, A. B. (2016). Comparison of bupivacaine and dexmedetomidine femoral and sciatic nerve blocks with bupivacaine and buprenorphine epidural injection for stifle arthroplasty in dogs. *Veterinary Anaesthesia and Analgesia*, *43*(4), 435–443. <https://doi.org/10.1111/vaa.12318>
- Bennett, D., Tennant, B., Lewis, D. G., Baughan, J., May, C., & Carter, S. (1988). A reappraisal of anterior cruciate ligament disease in the dog. *Journal of Small Animal Practice*, *29*(5), 275–297. <https://doi.org/10.1111/j.1748-5827.1988.tb02286.x>
- Boscan, P., & Wennogle, S. (2016). Evaluating Femoral-Sciatic Nerve Blocks, Epidural Analgesia, and No Use of Regional Analgesia in Dogs Undergoing Tibia-Plateau-Leveling-Osteotomy. *Journal of the American Animal Hospital Association*, *52*(2), 102–108. <https://doi.org/10.5326/JAAHA-MS-6278>
- Brunnberg, L. (1998). *Lahmheitsdiagnostik beim Hund*. Boehringer Ingelheim Vetmedica GmbH.
- Brunnberg, L., Waibl, H., & Lehmann, J. (2014). *Lahmheit beim Hund* (1.). Procane Claudio.

- Bugada, D., Allegri, M., Gemma, M., Ambrosoli, A. L., Gazzero, G., Chiumiento, F., Dongu, D., Nobili, F., Fanelli, A., Ferrua, P., Berruto, M., & Cappelleri, G. (2017). Effects of anaesthesia and analgesia on long-term outcome after total knee replacement: A prospective, observational, multicentre study. *European journal of anaesthesiology*, *34*(10), 665–672. <https://doi.org/10.1097/EJA.0000000000000656>
- Campoy, L. (2006). Fundamentals of regional anesthesia using nerve stimulation in the dog. In R. D. Gleed & J. W. Ludders (Hrsg.), *Recent Advances in Veterinary Anesthesia and Analgesia: Companion Animals*. International Veterinary Information Service.
- Campoy, L., Bezuidenhout, A. J., Gleed, R. D., Martin-Flores, M., Raw, R. M., Santare, C. L., Jay, A. R., & Wang, A. L. (2010). Ultrasound-guided approach for axillary brachial plexus, femoral nerve, and sciatic nerve blocks in dogs. *Veterinary Anaesthesia and Analgesia*, *37*(2), 144–153. <https://doi.org/10.1111/J.1467-2995.2009.00518.X>
- Campoy, L., Martin-Flores, M., Looney, A. L., Erb, H. N., Ludders, J. W., Stewart, J. E., Gleed, R. D., & Asakawa, M. (2008). Distribution of a lidocaine-methylene blue solution staining in brachial plexus, lumbar plexus and sciatic nerve blocks in the dog. *Veterinary Anaesthesia and Analgesia*, *35*(4), 348–354. <https://doi.org/10.1111/J.1467-2995.2007.00390.X>
- Campoy, L., Martin-Flores, M., Ludders, J. W., Erb, H. N., & Gleed, R. D. (2012). Comparison of bupivacaine femoral and sciatic nerve block versus bupivacaine and morphine epidural for stifle surgery in dogs. *Veterinary Anaesthesia and Analgesia*, *39*(1), 91–98. <https://doi.org/10.1111/j.1467-2995.2011.00673.x>
- Campoy, L., Martin-Flores, M., Ludders, J. W., & Gleed, R. D. (2012). Procedural sedation combined with locoregional anesthesia for orthopedic surgery of the pelvic limb in 10 dogs: case series. *Veterinary anaesthesia and analgesia*, *39*(4), 436–440. <https://doi.org/10.1111/J.1467-2995.2012.00712.X>
- Campoy, L., & Read, M. R. (2013). *Small animal regional anesthesia and analgesia*. Blackwell-Wiley.
- Caniglia, A. M., Driessen, B., Puerto, D. A., Bretz, B., Boston, R. C., & Paula Larenza, M. (2012). Intraoperative antinociception and postoperative analgesia following epidural anesthesia versus femoral and sciatic nerve blockade in dogs undergoing stifle joint surgery. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, *241*(12), 1605–1612. <https://doi.org/10.2460/JAVMA.241.12.1605>

- DeCamp, C. (2016). Brinker, Piermattei and Flo's Handbook of Small Animal Orthopedics and Fracture Repair. In *Brinker, Piermattei and Flo's Handbook of Small Animal Orthopedics and Fracture Repair*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/c2009-0-64185-4>
- Dugdale, A. (2010). *Veterinary anaesthesia: principles to practice*.
- Dugdale, A., Beaumont, G., Bradbrook, C., & Gurney, M. (2020). *Veterinary anaesthesia : principles to practice*.
- Duke-Novakovski, T., Vries, M. de, Seymour, C. M., & British Small Animal Veterinary Association. (2016). *BSAVA manual of canine and feline anaesthesia and analgesia*.
- Echeverry, D. F., Gil, F., Laredo, F., Ayala, M. D., Belda, E., Soler, M., & Agut, A. (2010). Ultrasound-guided block of the sciatic and femoral nerves in dogs: A descriptive study. *The Veterinary Journal*, 186(2), 210–215. <https://doi.org/10.1016/J.TVJL.2009.08.005>
- Echeverry, D. F., Laredo, F. G., Gil, F., Belda, E., Soler, M., & Agut, A. (2012). Ultrasound-guided „two-in-one“ femoral and obturator nerve block in the dog: An anatomical study. *Veterinary Anaesthesia and Analgesia*, 39(6), 611–617. <https://doi.org/10.1111/j.1467-2995.2012.00750.x>
- Egger, C. M., Love, L., & Doherty, T. (2013). Pain Management in Veterinary Practice. In *Pain Management in Veterinary Practice*. Wiley Blackwell. <https://doi.org/10.1002/9781118999196>
- Fossum, T. W. (2021). *Chirurgie der Kleintiere* (5. Auflage). Elsevier.
- Fowler, S. J., Symons, J., Sabato, S., & Myles, P. S. (2008). Epidural analgesia compared with peripheral nerve blockade after major knee surgery: A systematic review and meta-analysis of randomized trials. *British Journal of Anaesthesia*, 100(2), 154–164. <https://doi.org/10.1093/bja/aem373>
- Fox, S. M. (2013). Pain management in small animal medicine. In *Pain Management in Small Animal Medicine*. <https://doi.org/10.1201/b16360>
- Gianakos, A. L., Romanelli, F., Rao, N., Badri, M., Lubberts, B., Guss, D., & DiGiovanni, C. W. (2021). Combination Lower Extremity Nerve Blocks and Their Effect on Postoperative Pain and Opioid Consumption: A Systematic Review. *The Journal of foot and ankle surgery : official publication of the American College of Foot and Ankle Surgeons*, 60(1), 121–131. <https://doi.org/10.1053/J.JFAS.2020.08.026>

- Grape, S., Kirkham, K. R., Baeriswyl, M., & Albrecht, E. (2016). The analgesic efficacy of sciatic nerve block in addition to femoral nerve block in patients undergoing total knee arthroplasty: a systematic review and meta-analysis. *Anaesthesia*, *71*(10), 1198–1209. <https://doi.org/10.1111/ANA.13568>
- Hoelzler, M. G., Harvey, R. C., Lidbetter, D. A., & Millis, D. L. (2005). Comparison of perioperative analgesic protocols for dogs undergoing tibial plateau leveling osteotomy. *Veterinary surgery: VS*, *34*(4), 337–344. <https://doi.org/10.1111/J.1532-950X.2005.00052.X>
- Holton, L., Reid, J., Scott, E. M., Pawson, P., & Nolan, A. (2001). Development of a behaviour-based scale to measure acute pain in dogs. *The Veterinary record*, *148*(17), 525–531. <https://doi.org/10.1136/VR.148.17.525>
- Julius, D., & Basbaum, A. I. (2001). Molecular mechanisms of nociception. *Nature*, *413*(6852), 203–210. <https://doi.org/10.1038/35093019>
- Kalamaras, A. B., Aarnes, T. K., Moore, S. A., Jones, S. C., Pereira, C. R., Peng, J., & Kieves, N. R. (2021). Effects of perioperative saphenous and sciatic nerve blocks, lumbosacral epidural or morphine–lidocaine–ketamine infusion on postoperative pain and sedation in dogs undergoing tibial plateau leveling osteotomy. *Veterinary Anaesthesia and Analgesia*, *48*(3), 415–421. <https://doi.org/10.1016/J.VAA.2021.02.004>
- Kohn, B., & Schwarz, G. (2018). *Praktikum der Hundeklinik* (12.). Enke Verlag.
- Lampman, T. J., Lund, E. M., & Lipowitz, A. J. (2003). Cranial cruciate disease: Current status of diagnosis, surgery, and risk for disease. *Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology*, *16*(3), 122–126. <https://doi.org/10.1055/s-0038-1632767>
- Lewis, K. A., Bednarski, R. M., Aarnes, T. K., Dyce, J., & Hubbell, J. A. E. (2014). Postoperative comparison of four perioperative analgesia protocols in dogs undergoing stifle joint surgery. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, *244*(9), 1041–1046. <https://doi.org/10.2460/JAVMA.244.9.1041>
- Macias, C., Mckee, W. M., & May, C. (2002). Caudal proximal tibial deformity and cranial cruciate ligament rupture in small-breed dogs. *Journal of Small Animal Practice*, *43*(10), 433–438. <https://doi.org/10.1111/j.1748-5827.2002.tb00009.x>
- Mahler, S. P., & Adogwa, A. O. (2008). Anatomical and experimental studies of brachial plexus, sciatic, and femoral nerve-location using peripheral nerve stimulation in the dog. *Veterinary Anaesthesia and Analgesia*, *35*(1), 80–89. <https://doi.org/10.1111/J.1467-2995.2007.00356.X>

- Marolf, V., Spadavecchia, C., Müller, N., Sandersen, C., & Rohrbach, H. (2021). Opioid requirements after locoregional anaesthesia in dogs undergoing tibial plateau levelling osteotomy: a pilot study. *Veterinary Anaesthesia and Analgesia*, *48*(3), 398–406. <https://doi.org/10.1016/j.vaa.2020.10.010>
- McCally, R. E., Bukoski, A., Branson, K. R., Fox, D. B., & Cook, J. L. (2015). Comparison of Short-Term Postoperative Analgesia by Epidural, Femoral Nerve Block, or Combination Femoral and Sciatic Nerve Block in Dogs Undergoing Tibial Plateau Leveling Osteotomy. *Veterinary Surgery*, *44*(8), 983–987. <https://doi.org/10.1111/vsu.12406>
- Morris, E., & Lipowitz, A. J. (2001). Comparison of tibial plateau angles in dogs with and without cranial cruciate ligament injuries. In *Journal of the American Veterinary Medical Association* (Bd. 218, Nummer 3, S. 363–366). American Veterinary Medical Association. <https://doi.org/10.2460/javma.2001.218.363>
- Palomba, N., Vettorato, E., De Gennaro, C., & Corletto, F. (2020). Peripheral nerve block versus systemic analgesia in dogs undergoing tibial plateau levelling osteotomy: Analgesic efficacy and pharmacoeconomics comparison. *Veterinary Anaesthesia and Analgesia*, *47*(1), 119–128. <https://doi.org/10.1016/j.vaa.2019.08.046>
- Peterson, N. W., Buote, N. J., & Bergman, P. (2014). Effect of epidural analgesia with opioids on the prevalence of urinary retention in dogs undergoing surgery for cranial cruciate ligament rupture. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, *244*(8), 940–943. <https://doi.org/10.2460/JAVMA.244.8.940>
- Portela, D. A., Otero, P. E., Briganti, A., Romano, M., Corletto, F., & Breggi, G. (2013a). Femoral nerve block: a novel psoas compartment lateral pre-iliac approach in dogs. *Veterinary Anaesthesia and Analgesia*, *40*(2), 194–204. <https://doi.org/10.1111/J.1467-2995.2012.00765.X>
- Portela, D. A., Otero, P. E., Briganti, A., Romano, M., Corletto, F., & Breggi, G. (2013b). Femoral nerve block: A novel psoas compartment lateral pre-iliac approach in dogs. *Veterinary Anaesthesia and Analgesia*, *40*(2), 194–204. <https://doi.org/10.1111/j.1467-2995.2012.00765.x>
- Portela, D. A., Otero, P. E., Tarragona, L., Briganti, A., Breggi, G., & Melanie, P. (2010). Combined paravertebral plexus block and parasacral sciatic block in healthy dogs. *Veterinary Anaesthesia and Analgesia*, *37*(6), 531–541. <https://doi.org/10.1111/J.1467-2995.2010.00572.X>

- Raith, C., Kölblinger, C., & Walch, H. (2008). Kombinierte transgluteale N.-ischiadicus- und N.-femoralis-blockade. Retrospektive datenerhebung an 65 risikopatienten mit beinamputationen. *Anaesthetist*, *57*(6), 555–561. <https://doi.org/10.1007/S00101-008-1372-4/METRICS>
- Read, R., & Robins, G. (1982). Deformity of the proximal tibia in dogs. *Veterinary Record*, *111*(13), 295–298. <https://doi.org/10.1136/vr.111.13.295>
- Sarotti, D., Lardone, E., Piras, L., Mancusi, D., & Franci, P. (2022). A comparison of 0.375% ropivacaine psoas compartment block and 2% prilocaine spinal anaesthesia in dogs undergoing tibial plateau levelling osteotomy. *BMC veterinary research*, *18*(1). <https://doi.org/10.1186/S12917-022-03277-6>
- Sarotti, D., Rabozzi, R., & Franci, P. (2013). A retrospective study of efficacy and side effects of intrathecal administration of hyperbaric bupivacaine and morphine solution in 39 dogs undergoing hind limb orthopaedic surgery. *Veterinary anaesthesia and analgesia*, *40*(2), 220–224. <https://doi.org/10.1111/J.1467-2995.2012.00787.X>
- Self, I. (2019). *BSAVA guide to pain management in small animal practice*. British Small Animal Veterinary Association.
- Shilo, Y., Pascoe, P. J., Cissell, D., Johnson, E. G., Kass, P. H., & Wisner, E. R. (2010). Ultrasound-guided nerve blocks of the pelvic limb in dogs. *Veterinary Anaesthesia and Analgesia*, *37*(5), 460–470. <https://doi.org/10.1111/J.1467-2995.2010.00560.X>
- Slocum, B., & Slocum, T. D. (1993). Trochlear wedge recession for medial patellar luxation. An update. In *The Veterinary clinics of North America. Small animal practice* (Bd. 23, Nummer 4, S. 869–875). Vet Clin North Am Small Anim Pract. [https://doi.org/10.1016/S0195-5616\(93\)50088-8](https://doi.org/10.1016/S0195-5616(93)50088-8)
- Smith, E. S. J., & Lewin, G. R. (2009). Nociceptors: a phylogenetic view. *Journal of Comparative Physiology. A, Neuroethology, Sensory, Neural, and Behavioral Physiology*, *195*(12), 1089. <https://doi.org/10.1007/S00359-009-0482-Z>
- Tobias, K. M., & Johnston, S. A. (2017). *Veterinary Surgery: Small Animal* (2nd revised edition). Saunders Verlag.
- Vasseur, P. B., Pool, R. R., Arnoczky, S. P., & Lau, R. E. (1985). Correlative biomechanical and histologic study of the cranial cruciate ligament in dogs. *American Journal of Veterinary Research*, *46*(9), 1842–1854.

Vettorato, E., Bradbrook, C., Gurney, M., Aprea, F., Clark, L., & Corletto, F. (2012). Peripheral nerve blocks of the pelvic limb in dogs: A retrospective clinical study. *Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology*, 25(4), 314–320.

<https://doi.org/10.3415/VCOT-11-08-0111>

Warrit, K., Griffenhagen, G., Goh, C., & Boscan, P. (2019). Comparison of ultrasound-guided lumbar plexus and sciatic nerve blocks with ropivacaine and sham blocks with saline on perianesthetic analgesia and recovery in dogs undergoing tibial plateau leveling osteotomy surgery. *Veterinary Anaesthesia and Analgesia*, 46(5), 673–681.

<https://doi.org/10.1016/j.vaa.2019.05.010>

10. Danksagung