

## 2 Schrifttum

### 2.1 Pharmakologie der Lokalanästhetika

#### 2.1.1 Pathophysiologie des Gelenkschmerzes

Schmerz ist definiert als eine „unangenehme Empfindung und ein emotionales Erlebnis, das mit einem aktuellen oder potentiellen Gewebeschaden einhergeht“ (WENGER 2005 nach Association for the Study of Pain), wodurch er eine wichtige Warn- und Schutzfunktion im Körper erfüllt (SCHATZMANN 1993).

Innerhalb der Schmerzrezeptoren, den so genannten Nozizeptoren, werden Impulse umgesetzt (WENGER 2005). Basis für diese Transduktion in Form einer Erregung der freien Nervenendigungen stellt das von den Ionenkanälen getragene Aktionspotential dar (PUGH 1991). Hierfür muss gemäß dem „Alles-oder-Nichts“-Prinzip ein individueller Schwellenwert überschritten werden, was durch mechanische, chemische, thermische oder elektrische Reize erfolgen kann (SCHATZMANN 1993). Außerdem werden diese Rezeptoren durch Neurotransmitter wie Substanz P, Neurokinin A und B, Calcitonin-Gene-Related-Peptid oder Neuropeptid Y stimuliert (TODHUNTER u. LUST 1990, BOWKER et al. 1993a, 1994, 1997, CORNELISSEN et al. 1998b).

Die Transmission der Erregung vollziehen afferente Nervenfasern (A $\delta$ - und C-Fasern), die zunächst das Dorsalhorn des Rückenmarks erreichen (WENGER 2005), so dass nach dortiger Modulation die Perzeption zentral im Thalamus und in der Großhirnrinde sowie durch das limbische System erfolgen kann (LÜLLMANN und MOHR 1999).

Im Folgenden sei ein kurzer Blick auf die Innervationsverhältnisse der synovialen Einrichtungen geworfen. Die Gelenkkapsel und die Hüllen von Sehnenscheiden und Schleimbeuteln bestehen aus zwei Schichten (JOHANNSON u. REJNÖ 1976, HAGO et al 1990, 1991, NICKEL et al. 1992, BECKMANNS 1993, RUBERTE et al. 2001), nämlich einem inneren Stratum synoviale (syn. Membrana synovialis, Synovialepithel), das von einer bindegewebigen Subintima unterlagert ist, und einem äußeren Stratum fibrosum (syn. Membrana fibrosa, Capsula fibrosa).

Das Stratum synoviale ist spärlich innerviert und es lassen sich nur selten zarte Nervenfasern finden (CUTLIP u. CHEVILLE 1973, MCILWRAITH 1989, TODHUNTER u. LUST 1990, SALOMON et al. 2005). BARNETT et al. (1961) halten die Synovialis - bis auf „gelegentliche Schmerzpunkte“ - für relativ unsensibel und glauben an eine Überleitung von Schmerzen auf die sehr sensible Capsula fibrosa als Hauptsitz des Schmerzes. Das Stratum synoviale spielt nach ebendiesen eine untergeordnete Rolle bei der Wahrnehmung von Propriozeption und Schmerzen. Lediglich in der Subintima finden sich neben Blut- und Lymphgefäßen auch Nervenendigungen (RUBERTE et al. 2001). Neuere immunozytochemische Studien weisen in der Synovialmembran samt Subintima nicht sicher sensible, sondern meist nur vasomotorische bzw. -sensorische Nervenfasern nach (BOWKER et al. 1993a, 1994, 1997).

Aber im Stratum fibrosum befinden sich zahlreiche Nozizeptoren und viele Nervenfaserbündel (BECKMANNS 1993, SALOMON et al. 2005), was auch auf den zum Teil in die Gelenkkapsel integrierten Bandapparat zutrifft (MCILWRAITH 1989).

Nach BARNETT et al. (1961) wird der Gelenkknorpel, mit einer variablen Stärke von 1 bis zu 7 mm, durch Diffusion ernährt, da er nicht vaskularisiert und demzufolge auch nicht innerviert ist. Diesen bedeckt keine Synovialmembran, wobei es zur Ausbildung der so genannten „Transitional region“ - einer Übergangsregion zwischen avaskulären Gelenkknorpel und gut durchbluteter Membrana synovialis - kommt. Erst der subchondrale Knochen wird mit Nerven versorgt (BARNETT et al. 1961). Lediglich der Hufknorpel weist ein extensives Netzwerk an propriozeptiven und sensorischen Nervenfasern auf (BOWKER et al. 1998).

### *2.1.2 Allgemeine Punkte zur Lokalanästhesie*

Im Großen und Ganzen lassen sich zwei Möglichkeiten der Lokalanästhesie unterscheiden (WESTHUES u. FRITSCH 1960):

Erstens wäre da die Verhinderung der Erregungsbildung an den Schmerzrezeptoren (terminale Anästhesie), vertreten durch die direkte Oberflächen- oder Infiltrationsanästhesie, zu nennen. Dazu zählt auch die Anästhesie synovialer Einrichtungen. Die zweite Möglichkeit stellt die Hemmung der Schmerzleitung in den sensiblen Nervenbahnen als perineurale Leitungsanästhesie dar. Nicht mehr

durchgeführt wird die endoneurale Injektion, die das Risiko einer schmerzhaften Neuritis mit lang dauernder Lahmheit in sich birgt (BOLZ u. GREBE 1932).

Da diese Pharmaka auf den unteren Stufen der Schmerzentstehung angreifen, bleibt das Bewusstsein des Tieres erhalten (PUGH 1991).

Initial verschwindet nach Betäubung eines Nerven der Schmerz, sukzessive das Temperaturempfinden sowie die Responsivität auf Berührung und Druck, bis es final zu dessen motorischem Ausfall kommt (SKARDA 1987, BIEL 2005).

#### *2.1.2.1 Strukturmerkmale der Lokalanästhetika*

Lokalanästhetika sind substituierte tertiäre oder sekundäre Amine, so genannte Arylamine, mit amphiphilen Aufbau (BIEL 2005). Sie besitzen einen lipophilen Teil, meist ein aromatischer Ring, und einen hydrophilen Teil, das protonierbare Amin (WERNER 2002). Beide Teile sind über eine Zwischenkette miteinander, entweder über eine Amid- oder eine Esterbindung, verbunden (LÜLLMANN u. MOHR 1999, KNOLL-KÖHLER u. KNOLL 2000).

Abhängig vom vorliegenden pH im Gewebe und dem pKa-Wert des Lokalanästhetikums, in der Regel zwischen 7,5 und 9, wechseln Lokalanästhetika als schwache Basen zwischen der Transportform als ungeladenes Amin und der Wirkform als quartäreres Ammoniumkation, so dass sich ein Dissoziationsgleichgewicht einpendelt (PUGH 1991, MAMA u. STEFFEY 2001).

#### *2.1.2.2 Diffusion zum Wirkort*

Ziel der Transportform ist der potentialabhängige (Natrium-) Ionenkanal in der Axonmembran (PUGH 1991, KNOLL-KÖHLER u. KNOLL 2000).

Hierzu passiert sie die Nervenhülle, als geschlossene lipophile Barriere, so dass neben dem angrenzenden Gewebe ferner der Durchmesser und die Myelinisierung der Nerven für das Erreichen des Wirkortes berücksichtigt werden müssen (SKARDA 1987, 1991).

Denn sensible, nicht- myelinisierte C- Fasern mit 0,4 bis 1,2  $\mu\text{m}$  Durchmesser werden eher betäubt, als motorische, myelinisierte und 12 bis 20  $\mu\text{m}$  starke A $\delta$ -Fasern (MAMA u. STEFFEY 2001, BIEL 2005). Da die Myelinscheide nicht permeabel scheint, erfolgt die Ausschaltung der saltatorischen Erregungsleitung nur an den Ranvierschen Schnürringen (WESTHUES u. FRITSCH 1960, SKARDA 1991). Dort

werden bei gleichem Durchmesser die myelinisierten schneller, als nicht-myelinisierte Nervenfasern desensibilisiert (KNOLL-KÖHLER u. KNOLL 2000).

Das Diffusionsverhalten der Lokalanästhetika hängt von deren Dissoziationsgrad ab - also dem Verhältnis von geladener Wirkform zu ungeladener Transportform. Daher sollte man dieses auch bei Vorliegen einer Entzündung richtig einschätzen (SKARDA 1991). Hier ist das pH im Gewebe nämlich deutlich niedriger, als der pKa-Wert des Lokalanästhetikums. Durch diese Azidität verschiebt sich das Dissoziationsgleichgewicht zu Gunsten der protonierten Wirkform, welche aber nicht mehr bis zum Wirkort gelangt (BIEL 2005). Dies erklärt die unzureichende und verzögert einsetzende Wirkung von Leitungsanästhesien im entzündeten Gewebe (BIDWELL et al. 2004).

Während die ungeladene Form, als lipophile Penetrationsform durch Diffusion über die Lipidbarrieren an den Rezeptor in der Zellmembran gelangt, muss dort dann wieder die protonierte Form, Wirkform an der Nervenzelle die lokalanästhetische Wirkung entfalten (LÜLLMANN u. MOHR 1999, KNOLL-KÖHLER u. KNOLL 2000).

### *2.1.2.3 Wirkungsmechanismus*

Lokalanästhetika heben als Zellmembranstabilisatoren reversibel die Nervenleitfähigkeit auf, indem sie die Kanäle für Natriumionen, in hohen Konzentrationen auch für Kaliumionen blockieren (SKARDA 1987, PUGH 1991, SCHATZMANN 1995). Dies gelingt durch Bindung an einen Rezeptor auf halber Strecke zwischen intra- und extrazellulärer Kanalöffnung (KNOLL-KÖHLER u. KNOLL 2000).

Dadurch nimmt der Kanal den nichtionenleitfähigen Konformationszustand, den Ruhezustand ein und es kann keine Depolarisation, damit kein Aktionspotential und keine Erregung mehr ablaufen (SKARDA 1987, KNOLL-KÖHLER u. KNOLL 2000).

Die Dauer der Anästhesie richtet sich nach der Dosis, den physikalisch-chemischen Eigenschaften des Lokalanästhetikums, sowie der Anatomie und der lokalen Durchblutung des Applikationsortes (KNOLL-KÖHLER u. KNOLL 2000).

Der Estertyp, dessen bekanntester Vertreter das Prokain ist, wird durch Plasmacholinesterasen überwiegend bereits am Wirkort gespalten, woraus dessen kurze Wirkdauer resultiert, und er demnach für Oberflächenanästhesien unbrauchbar ist (LÖSCHER 1994, BIEL 2005). Favorisiert wird daher der längerwirksame Amidtyp,

der erst später mittels Monoaminoxidasen in der Leber abgebaut wird (SCHATZMANN 1993, BIEL 2005).

#### *2.1.2.4 Anforderungen an Lokalanästhetika*

An moderne Lokalanästhetika werden in praxi hohe Ansprüche gestellt, denn sie sollen wasserlöslich, sterilisierbar, gewebeverträglich, schnell im Wirkungseintritt, bei ausreichender und reversibler Wirkdauer sowie weder lokal- noch systemtoxisch sein, wobei Summa summarum kein „ideales“ Lokalanästhetikum existiert (LÖSCHER 1994, WERNER 2002).

Sehr beliebt auf Grund seiner Wirkungsstärke, dem schnellen Wirkungseintritts bei gemäßigter Wirkdauer und seiner topischen Aktivität (SKARDA 1991) ist das 1946 bzw. 1948 eingeführte (PUGH 1991 bzw. WESTHUES u. FRITSCH 1960) Lidokain.

Auch Mepivakain, welches weniger geweber reizend (SPECHT et al. 1988, MUIR et al. 2000, TAYLOR 2001) und vasodilatierend (SKARDA 1987, SCHATZMANN 1995) sein soll, kommt zum Einsatz (SKARDA 1991). Nach ROSE und FRAUENFELDER (1982) ist Mepivakain hinsichtlich seiner Verträglichkeit dem Lidokain bei intraartikulären Anästhesien überlegen und daher Mittel der Wahl (SCHATZMANN 1995). Insgesamt weisen die beiden über ein bis zwei Stunden mittellangwirksamen Lokalanästhetika vom Säureamidtyp sehr ähnliche Eigenschaften auf (SKARDA 1991, HARKINS et al. 1999, BIEL 2005).

Sie sind in der Pferdemedizin die am häufigsten, gewöhnlich in 2 %-tiger Lösung benutzten Lokalanästhetika (STASHAK 2002). Da bei Infiltrationsanästhesien entschieden größere Mengen benötigt werden, wählt man hier 0,5 bis 1 %-tigelösungen (WESTHUES u. FRITSCH 1960).

Manche Autoren empfehlen das langwirksame (SKARDA 1991) Bupivakain für Pferde, die zur komplikationslosen Durchführung diagnostischer Anästhesien sediert werden müssen (SMITH 1993, GOUGH 1998). In jüngerer Zeit hat es auch Versuche zur Wirkung von Ropivakain als Lokalanästhetikum beim Pferd gegeben, welches dem Bupivakain ähnliche Eigenschaften aufweist, und dieses an Verträglichkeit übertrifft (HARKINS et al. 2001).

Diese Liste an Lokalanästhetika könnte man beliebig weiter fortsetzen, was sicherlich den Rahmen dieser Arbeit sprengen würde. Deshalb sind hier nur die beiden wichtigsten abgebildet (Abb. 1, Abb. 2):

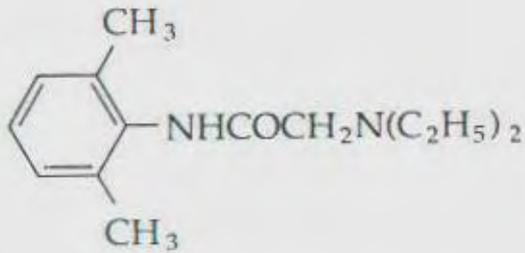


Abb. 1: Lidokain = Diäthylaminoaceto-2,6-xylidid (SKARDA 1991)

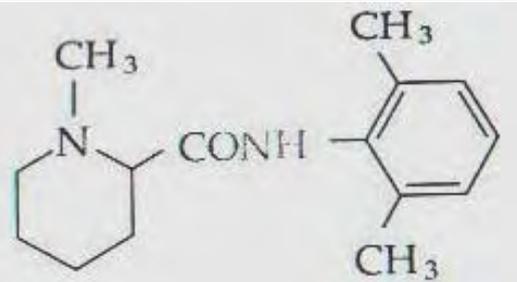


Abb. 2: Mepivakain = 1-Methyl-2',6'-piperocoloxylidid (SKARDA 1991)

### 2.1.2.5 Zusatzstoffe

Eine Begleiterscheinung beim Einsatz der meisten Lokalanästhetika ist die Vasodilatation, die aus der gleichzeitigen Anästhesie der postganglionären sympathischen Gefäßnervenfasern resultiert, so dass sich die Gefäße nicht mehr kontrahieren können (BIEL 2005). Dies führt zu einer gesteigerten Resorption und Stoffverteilung. Gegensteuern kann man diesem Effekt durch den Einsatz von Vasokonstriktoren wie Adrenalin (Epinephrin), Noradrenalin oder Felypressin (Ornithin-Vasopressin) (SKARDA 1991, BIEL 2005). Die empfohlene Dosierung für Epinephrin beträgt 1: 200.000, was 5 µg/ml entspricht (MAMA u. STEFFEY 2001). Sperrkörper sind Diffusionsantagonisten und würden dadurch die Spezifität intrasynovialer Anästhesien theoretisch erhöhen. Die Option, sie für Gelenkanästhesien zu nutzen, bleibt unter anderem auf Grund deren knorpelschädigender Wirkung verwehrt, und deren intrasynovialer Einsatz wird bisweilen nicht nur als Kontraindikation, sondern gar als Kunstfehler bezeichnet (KELLER 1976, 2002).

In der Humanmedizin wird die Verwendung von Vasokonstriktoren an den Akren wegen der Minderdurchblutung und der Gefahr einer ischämischen Nekrose generell

abgelehnt (LÜLLMANN u. MOHR 2004, BIEL 2005). Dies hat auch die Veterinärmediziner in zwei Lager gespalten. Einige Autoren setzen z.B. wegen des Risikos von Haut- und Gewebnekrosen keine Sperrkörper mehr ein (SKARDA 1987, MUELLER u. HAY 1999, TAYLOR 2001, STASHAK 2002), während andere (KELLER 1976, 2002, STANEK und GIRTNER 2002) bei der Leitungsanästhesie diesen Zusatz für bewährt erachten.

Ebenfalls antiresorptiv wirken hyperbare Lösungen, wie Dextrane, Ammoniumsulfat, Glucose oder ölige Lösungen (GASTHUYS u. DEMOOR 2006).

Genau zu dieser Richtung tendieren auch GOUGH et al. (2002b), indem sie den Zusatz so genannter „binding agents“ offerieren. Darüber hinaus fordern ebendiese die Suche nach Lokalanästhetika mit einer geringen Diffusionsaffinität als Mepivakain.

So demonstrieren jüngste Untersuchungsergebnisse die lokalanästhetische Potenz des dissoziativen Anästhetikums Ketamin bei Leitungsanästhesie des Pferdes (LOPEZ-SANROMAN et al. 2003).

Gänzlich überflüssig (KNOLL u. KNOLL-KÖHLER 2000) ist es Hyaluronidase hinzuzufügen, was das Penetrationsvermögen z.B. an tiefer gelegene Nerven fördern soll (GASTHUYS und DEMOOR 2006), aber nicht bewiesen ist (SCHATZMANN 1995).

Ein weiterer möglicher Zusatz sind Puffersubstanzen, wie das Bikarbonat (MAMA u. STEFFEY 2001). Umstritten ist auch die intraartikuläre Infektionsprophylaxe mit Antibiotika wie Ampicillin (ZELLER 1978), so dass SCHUMACHER et al. (2004b) explizit betonen Lokalanästhetika ohne Antibiotikazusatz zu benutzen.

Manche Praktiker nutzen Kortikosteroide im Mengenverhältnis 1: 10, um die reizende Wirkung des Lokalanästhetikums zu verringern, was STASHAK (1989) weder für nötig noch empfehlenswert erachtet.

## **2.2 Neuroanatomie der Gliedmaße unter Einbeziehung beschriebener Innervationsvarianten**

Ein gutes Verständnis der Neuroanatomie der Gliedmaße ist unabdingbar, um die Wirkung der diagnostischen Anästhesien richtig zu interpretieren. Leider kann dies selbst eine exakte Kenntnis der Nervenverläufe nicht garantieren, da trotz relativer Einheitlichkeit immer wieder Innervationsvarianten beschrieben sind und es keine spiegelbildliche Ausbreitung der Nerven an der Pferdezehe gibt (SACK 1974, 1975). So sind Fehldiagnosen möglich, auch wenn das Lokalanästhetikum richtig appliziert worden ist (POHLMeyer u. REDECKER 1974).

### *2.2.1 Sensible Nervenversorgung der Vordergliedmaße*

Der Plexus brachialis befindet sich medial auf Höhe des Collum scapulae und wird durch die Ventraläste des 6. bis 8. Hals- und des 1. bis 2. Brustnerven gebildet (NICKEL et al. 1991). Aus diesem Geflecht gehen dann die einzelnen Extremitätennerven der Vorderhand hervor (GOLLER 1962), wobei POHLMeyer (1989) diese am Autopodium in ein oberflächliches und ein tiefes System unterteilt:

Während ein tiefes dorsales System im Gegensatz zur Beckengliedmaße gänzlich fehlt, ist das oberflächliche zumindest rudimentär ausgebildet. Medial wird es durch den N. cutaneus antebrachii medialis und lateral durch den R. dorsalis des N. ulnaris repräsentiert. Palmar ziehen oberflächlich die Nn. (digitales) palmares und die vom N. palmaris lateralis abstammenden palmaren Metakarpalnerven stellen das tiefe System dar (POHLMeyer 1989).

#### *2.2.1.1 N. musculocutaneus*

Dieser Nerv entlässt ab Oberarmmitte neben motorischen Ästen auch den sensiblen N. cutaneus antebrachii medialis. Dessen oberflächliches Hautfeld reicht auf der dorsomedialen Seite bis zum Fesselgelenk (NICKEL et al. 1991).

#### *2.2.1.2 N. radialis*

Von Interesse ist bei diesem überwiegend motorischen Nerven nur sein Ramus superficialis, der nachdem er den N. cutaneus brachii lateralis caudalis abgegeben hat, als N. cutaneus antebrachii lateralis beim Pferd allerdings nur bis zum Karpus reicht (NICKEL et al. 1991).

#### 2.2.1.3 *N. axillaris*

Für die Interpretation der Leitungsanästhesie ist nur ein Hautast des *N. axillaris*, der *N. cutaneus antebrachii cranialis* bedingt relevant. Sein Hautfeld erstreckt sich nach NICKEL et al. (1991) von der Vorderfläche des Unterarms bis zum Karpus.

#### 2.2.1.4 *N. medianus*

Im Gegensatz hierzu innerviert der *N. medianus* als stärkster Nerv des Armgeflechts auch tiefer gelegene Strukturen im distalen Gliedmaßenbereich sensibel (NICKEL et al. 1991). Begleitet von der *A. und V. mediana* zieht er über die kaudomediale Radiusmitte, zwischen *M. flexor digitalis profundus* und *M. flexor carpi radialis* (GOLLER 1962), bis zum distalen Drittel des Unterarms, um sich in einen medialen und einen lateralen Ast aufzuteilen (POHLMAYER 1989). Während der laterale Ast auf Höhe des Erbsenbeins ergänzend Fasern mit dem *N. ulnaris* austauscht, was dann zur Bildung des *N. palmaris lateralis* führt (POHLMAYER 1989), zieht der mediale Ast weiter, sendet noch einen zarten Hautast zur mediopalmaren Fläche des Karpus und des Metakarpus, bevor er dann ab seinem Übertritt an den Metakarpus als *N. palmaris medialis* bezeichnet wird (NICKEL et al. 1991).

#### 2.2.1.5 *N. ulnaris*

Bereits im distalen Oberarmdrittel entlässt der Ulnarisnerv den *N. cutaneus antebrachii caudalis* (BUDRAS u. RÖCK 2000), dessen innerviertes Hautfeld sich von der Kaudalseite des Unterarmes über die seitlich angrenzenden Gebiete nach lateral bis zur Hälfte des Röhrebeins erstreckt, wobei zusätzlich ein zarter Zweig an das Karpalgelenk zieht (GHETIE 1939, NICKEL et al. 1991).

Der *N. ulnaris* teilt sich nach Verlauf in der sogenannten Ulnarisrinne zwischen *M. ext. und flex. carpi ulnaris* schließlich handbreit proximal des Karpus in einen dorsalen und einen palmaren Hauptast, die ebenfalls zarte Zweige an das Karpalgelenk entlassen (NICKEL et al. 1991).

Sein *Ramus dorsalis* versorgt sowohl dorsale und laterale Bereiche von Karpus, Karpalgelenk und Metakarpus, als auch das dorsolaterale Gebiet der Fesselgend, einschließlich der dorsalen Ausbuchtung des Fesselgelenks (SACK 1974, 1975). Dieser zarte, oberflächliche Endast heißt *N. digitalis dorsalis lateralis* (NICKEL et al. 1991).

Nach Faseraustausch über 1,5 bis 2 cm mit dem N. medianus trennt sich der palmare Ast am distalen Rand des Erbsenbeins wieder von diesem und zieht als Ramus profundus distal (KOCH 1938). Dieser schickt seinerseits zwischen den Griffelbeinköpfchen mehrere Zweige an den M. interosseus medius und spaltet sich sodann in die, das tiefe Nervensystem repräsentierenden feinen Nn. metacarpei palmares auf (CONSTANTINESCU et al. 2004a).

#### *2.2.1.6 Nn. metacarpei palmares*

Die nach ihrem Benenner KOCH (1938) auch als Kochsche Äste bezeichneten Nerven liegen axial der Griffelbeine, zwischen diesen und dem Röhrbein, und entsenden feine Zweige in die Spatia interossea und an den Recessus palmaris des Fesselgelenks (SACK 1974). Distal der Griffelbeinköpfchen erfolgt die Endverzweigung mit Ästen an den Recessus dorsalis des Fesselgelenks und die dorsale Haut, bevor sie stets oberhalb des Krongelenks endigen (SACK 1974).

Es werden Äste an die Fesselträgerschenkel, aber nicht an die Gleichbeine abgegeben (CORNELISSEN et al. 1994). POHLMAYER (1989) unterstellt diesen wohl eine Funktion bei der Gleichbeinnervation und des Weiteren besitzt der mediale Metakarpalnerv die Abilität gelegentlich dorsomedial über die gesamte Zehe bis zur Hufkrone zu verlaufen, wobei er dann die dorsomedialen Ausbuchtungen aller drei Zehengelenke innerviert. Andere attestieren dies sehr selten auch dem lateralen Metakarpalnerven (NICKEL et al. 1991). Weitere Uneinigkeit besteht bezüglich möglicher Anastomosen mit den Dorsalästen der Palmarnerven. Vielleicht handelt es sich um eine Nervenkreuzung ohne Faseraustausch, so dass die Frage aufgeworfen wird, ob es wirklich Anteile der Metakarpalnerven sind, die bis an die Krone ziehen, oder ob es sich vielmehr um die Rr. dorsales der Palmarnerven handelt, deren Verlauf bis an die Hufkrone nicht bestritten wird (SACK 1974).

Sicher sind die palmaren Metakarpalnerven an der Fesselgelenksinnervation beteiligt (GRAY et al. 1980).

#### *2.2.1.7 Nn. palmares medialis et lateralis*

Der N. medianus stellt ab Höhe des Karpus allein den N. palmaris medialis, der durch den Karpaltunnel distal zieht (NICKEL et al. 1991), während der N. palmaris lateralis als Mischnerve aus N. medianus und dem oberflächlichen Palmarast des N. ulnaris

hervorgeht (POHLMAYER 1989). Dieser zieht sodann außerhalb des Karpalkanals weiter distal an die laterale Palmarfläche des Röhrebeins (NICKEL et al. 1991).

Lokalisiert ist der mediale Palmarnerv in einer Rinne zwischen oberflächlicher und tiefer Beugesehne (CORNELISSEN et al. 1994) bzw. in einer Rinne zwischen M. interosseus medius und den Beugesehnen (DYCE et al. 1991) und damit entsprechend der Lage des lateralen Palmarnerven (CORNELISSEN et al. 1994). Verbunden werden sie durch den subkutanen, oft palpierbaren distalen Ramus communicans, der schräg von medial mittig des Röhrebeins nach lateral zu dessen distalen Drittel zieht (POHLMAYER u. REDECKER 1974).

Nach POHLMAYER (1989) zweigen im gesamten Röhrebeinbereich von den subfaszial verlaufenden Nerven regellos Äste unterschiedlicher Länge ab, die die großen Gefäße, das Bindegewebe um die Beugesehnen, die Haut sowie die Fesselbeugesehnenscheide und das Fesselgelenk versorgen. Hierbei scheinen sie jedoch nicht den M. interosseus medius zu innervieren.

Von zwei Sonderfällen berichten POHLMAYER und REDECKER (1974): Zum einen wird medial, bereits auf Höhe des Griffelbeinkopfes ein zusätzlicher Palmarast entlassen, der im Ramus pulvinus endet. Zum anderen geht ein Dorsalast des N. palmaris lateralis am Griffelbeinkopf hervor, um selbst den dorsalen Hufkronenbereich zu versorgen. Ebendiese merken an, dass selbst eine HPA hier nicht alle Nerven im Bereich der Zehe erfasst.

Die Innervation der Gleichbeine bewerkstelligen die Nn. sesamoidei, die ab Mitte des Röhrebeins von den Palmarnerven abzweigen und die Gleichbeine versorgen (CORNELISSEN et al. 1994).

Die Palmarnerven verlaufen weiter abaxial der Gleichbeine jetzt subkutan und entlassen im Fesselgelenksbereich den Ramus dorsalis phalangis proximalis (POHLMAYER 1989).

#### *2.2.1.8 Nn. digitales palmares medialis et lateralis*

Beim Überschreiten des Fesselgelenkes, nach Abgang des Dorsalastes werden die Palmarnerven fortan als digitale Palmarnerven bezeichnet (POHLMAYER u. REDECKER 1974, POHLMAYER 1989) und verlaufen subkutan beidseits am Rand des Beugesehnenpakets und palmar der zugehörigen Gefäße, woraus die VAN- Regel hervorgeht (BUDRAS u. RÖCK 2000).

Auf Höhe des Fesselgelenks bzw. proximal oder distal von diesem kann neben dem Ramus dorsalis phalangis proximalis zusätzlich ein inkonstanter Ramus dorsalis phalangis mediae entspringen, der sich auch an der Innervation dorsaler Ausbuchtungen von Kron- und Hufgelenk beteiligt (NICKEL et al. 1991). Dessen Vorkommen scheint nicht selten, da oft von zwei oder sogar mehreren Dorsalästen die Rede ist (DYCE et al. 1991, DERKSEN 1980).

Diese Dorsaläste innervieren Fessel-, Kron- und Hufbein, palmare Aussackungen des Fesselgelenks, dorsale und seitliche Teile des Krongelenks, die dorsale Hälfte bis zu zwei Drittel des Hufgelenks, außerdem die dorsalen Äste des M. interosseus medius, die Strecksehnen sowie Wand- und Sohlenlederhaut (DERKSEN 1980).

Andere sind der Meinung, dass die Dorsaläste der Palmarnerven wahrscheinlich nur den Kronsaum und die dorsale Wandlederhaut versorgen, während das Hufgelenk allein vom Ramus palmaris des N. digitalis palmaris innerviert wird (GHETIE 1939, SACK 1974, 1975, EASTER et al. 2000, SCHUMACHER et al. 2004b)

Es kann keine für jeden Fall gültige Schablone entworfen werden (POHLMAYER u. REDECKER 1974).

Die Zeheneigennerven versorgen das distale Fesselgelenk, die distale Fesselbeugeschnenscheide und die Beugeschnen, die distalen Gleichbeinbänder sowie das Krongelenk (SACK 1974, 1975) und teilen sich, nachdem sie den Ramus tori digitalis entlassen haben, in einen äußeren und einen inneren Endast auf.

#### Ramus tori digitalis (Ramus tori ungulae, Ramus pulvinus)

Der oberflächliche R. pulvinus ist der erste Nervenast, den der N. digitalis palmaris distal des Krongelenkspaltes entlässt (SACK 1974). Nach BOLZ (1938) wird der „hintere Volarnervenast“ am Kronbein von einem Ast für den Ballen und einem für den Strahl verlassen. Ähnlich sehen POHLMAYER und REDECKER (1974) die relativ starke Abzweigung knapp oberhalb des Hufknorpelrandes inkonstant zweigeteilt in eine Pars torica pulvini digitalis für das Ballenkissen und in eine Pars cunea pulvini digitalis für das Strahlkissen.

Dieser Hautnerv (SACK 1974) versorgt das Ballenkissen und die dazugehörige Lederhaut, sowie je nach Definition auch das Strahlkissen samt Lederhaut.

Manche glauben auch an dessen Beteiligung bei der Innervation von Hufrolle und Hufgelenkkapsel (POHLMAYER 1989).

Äußerer Endast (Ramus parietalis, Ramus dorsalis phalangis distalis, Wandrinnenast)

Dieser tritt durch den Hufbeinasteinschnitt bzw. durch das Foramen parietale oder Gefäßlöcher an die Außenseite des Hufknorpels, um die Huflederhaut in der Trachtengegend und der Seitenwände bis hin zum Rückenteil zu versorgen (NICKEL et al. 1991, WISSDORF et al. 2002a).

Innerer Endast (Ramus coronalis)

Der innere Endast sendet Äste für die Kron- und Hufgelenkkapsel, das Strahlbein und die Bursa podotrochlearis (NICKEL et al. 1991), sowie für die Strahlbeinbänder und die Lederhaut (SACK 1974). Er endet als „Sohlenast“ (BOLZ 1938), der über das Foramen soleare das Hufbein innerviert, dessen Canalis solearis passiert, um sich final in der Wand- und Sohlenlederhaut zu verzweigen (ZSCHÖKE 1936).

### 2.2.2 *Sensible Nervenversorgung der Hintergliedmaße*

Der N. ischiadicus, der stärkste Nerv des Körpers stellt eine unmittelbare Fortsetzung des Plexus lumbosacralis dar, den die Ventraläste der Lenden- und Schwanznerven formieren. Über das Spatium ischiadicum gelangt er zur Außenseite des Hüftgelenks, wo er sich in den N. tibialis und den N. fibularis communis aufteilt (NICKEL et al. 1991). Die alternative alte Bezeichnung des N. fibularis als N. peronaeus wird aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht mehr verwendet.

Man unterscheidet nach POHLMeyer (1989) am Autopodium ein oberflächliches und ein tiefes Nervensystem.

Das plantare oberflächliche Nervensystem bilden die Plantarnerven, die medial am distalen Ende des Unterschenkels aus dem N. tibialis hervorgehen (POHLMeyer 1989). Das dorsale oberflächliche Nervensystem entspringt dem N. fibularis superficialis, der laterodorsal über den Tarsus distal zieht und sich proximal des Metatarsus in zwei feine Hautäste aufgliedert, die beidseits bis in das untere Drittel des Röhrlbeins reichen (POHLMeyer 1989).

Das tiefe plantare System wird nach ebendiesem durch die Nn. metatarsi plantares, das tiefe dorsale System durch die Nn. metatarsi dorsales vertreten.

#### 2.2.2.1 *N. saphenus*

Der N. saphenus, der aus dem N. femoralis des Plexus lumbalis hervorgeht, versorgt die Haut an den dorsomedialen Seiten von Oberschenkel, Unterschenkel, Fußwurzel, und Mittelfuß bis zum Fesselgelenk sensibel (BUDRAS u. RÖCK 2000, KAINER 1989, COLBERN 1984).

#### 2.2.2.2 *N. fibularis communis*

Der N. fibularis communis entlässt den N. cutaneus surae lateralis, überquert die laterale Seite des M. gastrocnemius, um zwischen den Ästen des M. biceps femoris an der Lateralfläche des Unterschenkels aufzutauchen (NICKEL et al. 1991). In Höhe der Tuberositas tibiae teilt er sich in den N. fibularis superficialis und den N. fibularis profundus, die zunächst beide zwischen dem langen und lateralem Zehenstrecker herab laufen (KOCH 1939).

#### 2.2.2.3 *N. fibularis superficialis*

Der N. fibularis superficialis verlässt den N. fibularis communis, um oberflächlich in der Fascia superficialis zwischen den Mm. extensores digitales lateralis und longus weiter zehenwärts zu ziehen (COLBERN 1984). Hierbei sendet er laterale und dorsale Hautäste an das Sprunggelenk und seine Endäste, die Nn. digitales dorsales communes II und IV reichen bis zum Fesselgelenk (KOCH 1939, NICKEL et al 1991).

#### 2.2.2.4 *N. fibularis profundus*

Der N. fibularis profundus verschwindet unterhalb des Fibulakopfes zwischen den beiden Zehenstreckern in der Tiefe und verläuft dann unter diesen zur Beugefläche des Sprunggelenks, wobei er Äste an dessen Gelenkkapseln abgibt (NICKEL et al. 1991). Schließlich schlägt er sich auf die dorsolaterale Seite und zweigt sich in die Nn. metatarsi dorsales auf, die sich bis in den dorsalen Hufbereich verfolgen lassen (DYCE et al. 1991).

Erwähnenswert ist noch, dass einer der Gelenkzweige gemeinsam mit der A. tarsea perforans den Tarsalkanal erreicht und so die distale Tarsalknochenreihe innerviert (NICKEL et al. 1991). Nach GHETIE (1939) entsendet der N. fibularis profundus seinen zweiten Ast in den Canalis tarsi für die Innervation der „sekundären Synovialsäcke“. Damit meint dieser die Aussackungen aller Tarsalgelenke bis auf das Talokruralgelenk.

#### 2.2.2.5 *Nn. metatarsi dorsales*

Die Endäste des N. fibularis profundus, die Nn. metatarsi dorsales innervieren Teile des Fessel-, Kron- und Hufgelenks sowie die Kron- und Wandlerhaut (KOCH 1939, CONSTANTINESCU et al. 2004b).

Der N. metatarsus dorsalis lateralis verläuft begleitet von der A. metatarsa dorsalis III (COLBERN 1984) in einer Rinne zwischen dem lateralen Griffelbein und dem Röhrebein zehenwärts (POHLMAYER und REDECKER 1974).

Nach dem Entlassen von Zweigen an das Tarsalgelenk (COLBERN 1984) unterquert der mediale dorsale Metatarsalnerv die lange Strecksehne im proximalen Röhrebeindrittel und zieht in einer vom Periost gebildeten mediodorsalen Rinne weiter distal (POHLMAYER 1989, NICKEL et al. 1991). Auf Höhe des Fesselgelenks formt er eine Nervenschleife mit dem N. metatarsus plantaris medialis (KOCH 1939), um danach als N. digitalis dorsalis medialis in Erscheinung zu treten (NICKEL et al. 1991).

Die terminalen Nn. digitales dorsales verlaufen nach möglicher Abgabe von Fasern an das Fesselgelenk fingerbreit dorsal und annähernd parallel zu den Plantarnerven bis in den Hufkronenbereich und die Blättchenschicht der Hufmatrix (KOCH 1939, POHLMAYER u. REDECKER 1974). Hin und wieder verbinden sich der N. metatarsus dorsalis und der R. dorsalis des N. plantaris (POHLMAYER und REDECKER 1974).

Dieses tiefe dorsale System existiert nur an der Hintergliedmaße. Hier besteht im Gegensatz zur Vordergliedmaße eine Doppelinnervation gemeinsam mit den Rami dorsales der Plantarnerven des N. tibialis (POHLMAYER 1989, WISSDORF et al. 2002b).

#### 2.2.2.6 *N. tibialis*

Proximal entsendet der Tibialisnerv den N. cutaneus surae caudalis für die Haut an der Kaudalseite des Unterschenkels und lateral von Tarsus und Röhrebein, während die mediale Hautinnervation der Sprunggelenksregion und des Mittelfußes von verschiedenen kleineren Hautästen des N. tibialis, wie dem Ramus cutaneus tarsalis medialis übernommen wird (NICKEL et al. 1991).

Schließlich tritt der N. tibialis zwischen den beiden Gastrocnemiusköpfen nach medial und teilt sich am distalen Ende der Tibia in etwa auf Höhe des Tuber calcanei in die beiden Plantarnerven (KOCH 1939, POHLMAYER 1989, BUDRAS u. RÖCK 2000).

#### 2.2.2.7 *Nn. plantares und digitales plantares*

Die lateralen und medialen Plantarnerven verhalten sich bezüglich Lage, Verlauf und Innervationsgebiet ähnlich wie die Palmarnerven (COLBERN 1984, STASHAK 2002). Eine kleine Abweichung stellt der R. communicans distalis dar, der schwächer als an der Vordergliedmaße ist und weiter distal liegt (POHLMAYER u. REDECKER 1974). An der Hintergliedmaße wird die regelmäßige Existenz des Verbindungsastes angezweifelt (KOCH 1938).

Mit dem auch an der Beckengliedmaße sehr variablen Abgang des jeweiligen R. dorsalis, werden die Plantarnerven zu digitalen Plantarnerven, was der Situation an der Vordergliedmaße entspricht (POHLMAYER 1989).

#### 2.2.2.8 *Nn. metatarsi plantares*

Die plantaren Metatarsalnerven gehen analog zur Vordergliedmaße aus dem Ramus profundus des N. plantaris lateralis hervor und senden Äste an Fesselträger, Gleichbeine und Fesselgelenk (KOCH 1938, 1939, POHLMAYER 1989). Ihr Innervationsgebiet ist vergleichbar mit dem der Nn. metacarpi palmares (KOCH 1939).

Gelegentlich können diese über das Fesselgelenk bis zur dorsalen Hufkrone reichen (POHLMAYER 1989). Selten wird eine Verbindung mit den Nn. metatarsi dorsales oder mit dem R. dorsalis des lateralen Plantarnerven beobachtet (POHLMAYER und REDECKER 1974).

KOCH (1939) stellt sogar die regelmäßige Existenz eines N. metatarsus plantaris lateralis gänzlich in Frage und bescheinigt dem medialen Nerven eine Ausbreitung bis in die Huflederhaut.

Da im distalen Gliedmaßenbereich bis auf die oben dargestellten Ausnahmen identische Verhältnisse bei Vorder- und Hintergliedmaße bestehen, wird in dieser Arbeit aus Gründen der Übersichtlichkeit oft auf eine Unterscheidung verzichtet, so dass die Bezeichnung palmar auch synonym für plantar aufzufassen ist.

## **2.3 Durchführung von diagnostischen Injektionen**

### *2.3.1 Allgemeine Punkte*

Im Sinne von WESTHUES (1934) ist es, um diagnostische Anästhesien *lege artis* durchzuführen, eine *conditio sine qua non* besonders an den Gelenken und Sehnenscheiden die für die Punktion erreichbaren Stellen genau zu kennen, so dass gute anatomische Kenntnisse gefordert sind.

Da in der Medizin stets das weniger invasive Verfahren zu favorisieren ist, findet gewöhnlich initial die perineurale Infiltrationsanästhesie statt. Die systematische Reihenfolge von distal nach proximal sollte bei dieser eingehalten werden (SEEHERMAN 1999, STASHAK 2002). Allerdings ist mittlerweile auf Grund der erheblichen Varianz bei der Durchführung der einzelnen Leitungsanästhesien ein Vergleich der einzelnen erhobenen Ergebnisse unmöglich geworden, so dass sogar ein „Vier- Stufenplan“ zur Standardisierung vorgeschlagen wird, der sich bemüht die Vielzahl an Möglichkeiten auf einen Nenner zu bringen (STANEK u. GIRTLER 2002).

Als alternativer Zugang, um festzustellen ob die Lahmheitsursache ober- oder unterhalb des Fesselgelenks liegt, bietet es sich gerade bei unkooperativen Pferden oder einer chronischen Lahmheit der Hintergliedmaße an, mit der Mittleren Plantarnerven- oder der tiefen Vierpunkt-Anästhesie zu beginnen (SEEHERMAN 1999, TAYLOR 2001).

Bei klinischer Verdachtsdiagnose ist es unter Umständen sinnvoll, die intrasynoviale Anästhesie vorzuziehen (RIJKENHUIZEN 2001). Sollte diese negativ ausfallen, können anschließend die Leitungsanästhesien durchgeführt werden, denn die Gelenkanästhesie beeinträchtigt dann spätere, weiter distal gelegene Anästhesien nicht (DERKSEN 1980, TAYLOR 2001). Andere legen Wert auf eine zeitliche Trennung der beiden Verfahren. Gerade im Bereich der Podotrochlosediagnostik finden sich weitere Vorschläge zur Kombination von Leitungs-, Bursa- und Hufgelenksanästhesie, die aber nicht simultan, sondern zu einem anderen Zeitpunkt (DYSON u. KIDD 1993) - etwa nach 2 bis 4 Tagen (SCHEBITZ 1958) - erfolgen sollten. Auch CONSTANTINESCU et al. (2004a) empfehlen die Kombination beider Verfahren, um die vollständige und exakte Lokalisation der Lahmheitsursache zu ermitteln.

Vor allem bei intrasynovialen Anästhesien ist die Indikation auf Grund des allgegenwärtigen Risikos von Komplikationen genau zu prüfen (RÜTHER 1982).

GIBSON und STASHAK (1990) sehen den Nutzen intrasynovialer Anästhesien in ihrer Spezifität, denn ihrer Meinung nach werden so nur intraartikuläre Strukturen erfasst und keine Strukturen außerhalb, wie Bänder, Sehnen, Sehnenscheiden und Schleimbeutel. Ob dem wirklich so ist, wird in vorliegender Arbeit angezweifelt.

Im Allgemeinen gibt man den intrasynovialen Anästhesien von Karpus und Tarsus gegenüber den proximalen Leitungsanästhesien den Vorzug (GIBSON und STASHAK 1989b). Weiter distal erfolgen sie in der Regel, wenn der Lahmheitsherd mit Leitungsanästhesien nicht exakt bestimmbar ist und auch die Röntgenuntersuchung keine Anzeichen einer Gelenkbeteiligung ergibt - also nur nach strenger Indikationsstellung (GERWECK et al. 1994b). HOGAN et al. (1996) halten die intraartikuläre Anästhesie häufig für erforderlich, um die Lahmheit spezifisch mit einem Gelenk zu assoziieren.

### **Kontraindikationen**

Diese müssen unbedingt Beachtung finden, um das Pferd nicht weiter zu schädigen (SCHMOTZER u. TIMM 1990).

Generelle Zurückhaltung mit diagnostischen Anästhesien wird bei akuten und starken Lahmheiten empfohlen (HAHN 1930, KELLER 2002). Durch Ausschaltung der natürlichen Schutzfunktion des Schmerzes könnten aus Fissuren Frakturen werden (HAHN 1930), gedeckte Frakturen zu offenen werden, die Heilung von Gelenkdorsionen mit Kapselanrissen könnte verzögert werden und bei stark degenerativen Prozessen bzw. bei einer partiellen Durchtrennung der Beugesehne besteht Rupturgefahr dieser (SEEHERMAN 1999, KELLER 1976, 2002, GASTHUYS u. DEMOOR 2006). Es ergeht auch der Rat, Injektionen erst einige Tage nach dem Auftreten der Lahmheit und nur nach zweimaliger genauer Untersuchung durchzuführen: Viele akute Lahmheiten sind dann nach Ruhigstellung und feuchten Verbänden entweder abgeheilt oder die Lahmheitsursache ist nun offensichtlich - wie zum Beispiel ein Hufabszess (KELLER 2002).

Außerdem verbietet es sich selbstverständlich entzündete Gebiete zu punktieren, weil es zu einer Streuung der Erreger kommen kann, so dass ROSE und FRAUENFELDER (1982) die Gelenkanästhesie bei Entzündung von Haut und Bindegewebe über dem Gelenk ablehnen.

### **Sicherer Umgang mit dem Pferd**

Eine geeignete Hilfsperson bringt das Pferd an den „idealen Ort“ zur Durchführung diagnostischer Anästhesien, der durch Sauberkeit, Ruhe, gute Beleuchtung und einem möglichst befestigtem und nicht eingestreutem Boden charakterisiert ist (TAYLOR 2001). „Proper patient restraint“ (HOGAN et al. 1996) ist sowohl zum Schutz der agierenden Personen, als auch des Patienten - z.B. Gefahr eines Nadelabbruchs - gefragt (BYARS et al. 1982, STASHAK 2002).

Freigestellt sei es jedem die Injektionen bei belasteter oder gebeugter Gliedmaße durchzuführen. Während eine aufgehobene Gliedmaße die Kontrolle des Patienten erleichtert, kann die Punktion bei aufgesetzter Extremität - idealer Weise mit Aufheben der Gegengliedmaße - für die anatomische Orientierung von Vorteil sein (TAYLOR 2001).

Insgesamt reichen die Zwangsmaßnahmen je nach dem Temperament des Pferdes vom Aufzäumen mit Trense und Gebiss, über den Einsatz der Oberlippenstrickbremse, bis hin zu einer kurz wirksamen Sedation mit Xylazin, Romifidin, Detomidin, Azepromazin (MUELLER u. HAY 1999, TAYLOR 2001, SCHUMACHER et al. 2004b) oder gar einer standardmäßigen Narkose (GERBER et al. 1980), was wohl für die Lahmheitsdiagnostik eher weniger in Betracht zu ziehen ist.

Nach Ansicht vieler Kliniker führt eine vorherige Sedierung zu einer erschwerten nachfolgenden Interpretation der Bewegungsabläufe (TAYLOR 2001). Ein zweischneidiges Schwert stellen sicherlich auch Präparate wie Butorphanol dar, die zwar den Einsatz der  $\alpha_2$ - adrenergen Agonisten reduzieren, dafür aber selbst analgetisch wirksam sind (GOUGH 1998).

Ausgerichtet auf unkooperative Pferde überprüfen BUCHNER et al. (1999) den Nutzen von Sedation und Antisedation bei der Lahmheitsdiagnostik, indem sie eine Sedation mit Detomidin mit einer Sedation und anschließender Antagonisierung mit Atipamezol kinematisch vergleichen. Daraus folgern sie, dass schon die Sedation per se (10 $\mu$ g/kg bwt Detomidin) keinen Einfluss auf den Lahmheitsgrad hat. Eine Antagonisierung (100 $\mu$ g/kg bwt Atipamezol) macht dennoch Sinn, da das sedierte Pferd ein verändertes Bewegungsmuster aufweist.

Ein weiterer Gedankenanstoß wäre der Einsatz langwirksamer Lokalanästhetika wie Bupivakain, die selbst dann noch wirken wenn die Sedation längst abgeklungen ist (GOUGH 1998).

Eine tiefe oder mittlere Palmarnervenanästhesie bei Injektionen in die Bursa podotrochlearis bleibt dem therapeutischen Einsatz vorbehalten (DABAREINER et al. 2003). Während die „subkutane Infiltration der Einstichstelle (subcutaneous bleb)“ um die Durchführung der intrasynovialen Anästhesie zu erleichtern, oft ins Auge gefasst wird (VAN PELT 1966, STASHAK 1989, 2002, TAYLOR 2001, GASTHUYS u. DE MOOR 2006). Hierbei ist zu bedenken, dass in dieser Region ein zusätzliches Hautfeld desensibilisiert wird, da subkutane Hautäste betäubt werden (VAN PELT 1966, DYSON u. KIDD 1993). VAN KRUIJNIGEN (1963) hält dies in der Regel für unnötig.

### **Vorbereitung der Injektionsstelle**

Gewährleistet werden muss eine aseptische bzw. antiseptische Technik, um unter möglichst sterilen Kautelen zu agieren (VAN KRUIJNIGEN 1963, GERBER et al. 1980, RIJKENHUIZEN 2001).

Grundsätzlich können die Haare rasiert, geschoren oder geschnitten werden (WESTHUES 1934, EISENMENGER 1974, GERWECK et al. 1994b, MUELLER u. HAY 1999). BYARS et al. (1982) würden jedoch auf Wunsch des Besitzers auch darauf verzichten und dafür eine intensivere Reinigung betreiben.

In der Tat scheint die Inzidenz von Infektionen bei antiseptisch gereinigter und mit Alkohol desinfizierter ungeschorener Gliedmaße nicht höher zu sein (HAGUE et al. 1997). Außerdem sieht RIJKENHUIZEN (2003) in einer Rasur den Nachteil von möglichen Hautreizungen.

Bei Kötenbehang empfiehlt sich die Schur oder zumindest das Kürzen der Haare aus Gründen der Übersichtlichkeit (TAYLOR 2001).

Mittlerweile überholt sein dürfte das Anlegen eines desinfizierenden Rivanolverbandes am vorherigen Tag (GENNING 1938). Eine Nassreinigung kann als aufwendige Waschprozedur vollzogen werden und die Injektionsstelle so bis zu zehn Minuten lang (SKARDA 1987) mit antiseptischer Lösung (z.B. Jod- Povidon- Komplex- Lösung) chirurgisch gewaschen werden (GIBSON et al. 1989b, SCHUMACHER et al. 2004b). Abschließend erfolgt die obligatorische chirurgische Desinfektion mit 70 %-tigem Isopropylalkohol (MUELLER u. HAY 1999).

Saubere Hände sind angebracht (VAN KRUIJNIGEN 1963). Da die Injektionsstelle vor Einstich der Kanüle palpirt werden muss, sollte man auch die Hände mit antiseptischer Seife waschen und 70 %-tigem Alkohol desinfizieren (STASHAK 2002). Viele

empfehlen das Tragen steriler Handschuhe (NYROP et al. 1983, MUELLER u. HAY 1999, STASHAK 2002). Einzig VAN PELT (1966) hält letzteres bei gewöhnlichen Injektionen der Tarsalgelenke nicht für notwendig.

Für Injektionen an der Beckengliedmaße ist es ratsam zusätzlich den Schweif zu bandagieren (TAYLOR 2001, STASHAK 2002).

### **Injektionsmaterialien**

Sterile Einwegmaterialien sind heute eine Selbstverständlichkeit (RÜTHER 1982).

Die Kanülenstärke wird in G (gauge) oder in mm angegeben, während die Länge in inch oder mm bzw. cm gemessen wird.

Jeder Autor hat auf Grund seiner Erfahrungen individuelle Präferenzen.

Generell gilt: Je dünner die Kanüle ist, desto schneller schließt sich die Injektionsstelle und desto weniger Lokalanästhetikum kann zurückfließen (WINTZER et al. 1981, KELLER 2002). Andererseits tritt Synovia gewöhnlich nicht aus engeren Kanülen als der Stärke 18 G spontan aus (WORTHMAN 1981).

Die im Anschluss an den Aspirationsversuch aufgesetzte Spritze muss einerseits so fest sitzen, dass das Lokalanästhetikum problemlos appliziert werden kann und andererseits so locker, dass sie bei einer Abwehrbewegung des Pferdes rechtzeitig entfernt werden kann (TAYLOR 2001).

Empfehlenswert ist bei intrasynovialen Anästhesien der Einsatz einer neuen, original verschlossenen Flasche Lokalanästhetikum (HERTSCH 1988, GERWECK et al. 1994b, STASHAK 2002, SCHUMACHER et al. 2004b).

### **Überprüfung des Sitzes der Kanüle**

Um sicher zu sein, dass die Kanüle korrekt positioniert ist, ist spontaner Synoviaabfluss oder deren Aspiration das entscheidende Kriterium (RÜTHER 1982). Die Gelenkflüssigkeit steht im Anschluss für weitere Untersuchungen zur Verfügung, was von zusätzlichem diagnostischem Wert ist (HOGAN et al. 1996, RIJKENHUIZEN 2001). Allerdings darf dieser nicht allzu hoch eingeschätzt werden, denn Synoviauntersuchungen alleine genügen nicht um den Umfang eventuell vorhandener Gelenkschädigungen zu evaluieren (AKENS u. BOENING 1995).

Über die makroskopische Beurteilung hinaus (Farbe, Menge, Konsistenz....) können auch zytologische (Zellzahl, Leukozytenzahl...), physikalische (Viskosität, pH...),

biochemische (Gesamteiweiß, Protein- Elektrophorese, Alkalische Phosphatase, Laktat-Dehydrogenase, Aspartat- Aminotransferase, Glukosegehalt.....), bakteriologische und andere Analysen erfolgen (EISENMENGER 1974, ROSE u. FRAUENFELDER 1982, GERWECK et al. 1994b).

Wenn Synovia aspirierbar ist, sollte man, um Gelenkkapselüberdehnungen vorzubeugen eine möglichst dem Lokalanästhetikum äquivalente Menge dieser entfernen (STASHAK 2002). Verschiedene Gründe machen allerdings eine Synoviagewinnung nicht immer möglich. So kann die Kanüle durch Gelenkzotten verlegt sein (VAN PELT 1960, HOGAN et al. 1996), ältere Pferde vor allem wenn sie an chronischer Arthritis leiden haben weniger Synovia (VAN PELT 1960, VAN PELT 1966), geronnenes, schwammig- gelatinöses Entzündungsexsudat kann den Synovialraum ausfüllen (EISENMENGER 1968) und gerade bei Punktion der Bursa podotrochlearis kann oft keine Synovia aspiriert werden (WÜRFEL 2002). DYSON (1986) findet es dann schwierig eine intrasynoviale Anästhesie zu interpretieren.

Außerdem sollte man sich in Regionen mit mehreren synovialen Einrichtungen vergegenwärtigen aus welcher die Synovia stammt (GASTHUYS u. DEMOOR 2006). Gelegentlich ist der Luftestrom beim Einstich bedingt durch den intraartikulären Unterdruck zu hören (VAN PELT 1960, VAN KRUIJNIGEN 1963). Einen weiteren Hinweis auf die richtige Kanülenposition liefert fehlender bzw. niedriger Widerstand bei der Injektion (HOGAN et al. 1996, HOGAN u. HONNAS 1998), denn das Medikament ist dann ohne Druck zu injizieren (RÜTHER 1982). Besteht hingegen ein deutlicher Widerstand, so bedeutet dies, dass die Kanüle in der Haut, dem Bindegewebe oder der Sehne feststeckt, was eine Lageänderung der Nadel erfordert (MUELLER u. HAY 1999).

Zuweilen werden unterstützend bildgebende Verfahren eingesetzt (sh. Technik der Punktion der Bursa podotrochlearis).

### **Überprüfung der Wirkung der anschließenden Anästhesie**

Bei den Leitungsanästhesien wird oft das sensibel gebliebene bzw. das desensibilisierte Hautfeld zur Bestätigung einer fachgerechten Anästhesie herangezogen (ORDRIDGE u. GERRING 1984). Allerdings müssen Haut und tiefe Strukturen nicht simultan betäubt sein, so dass tiefer gelegene Strukturen unter Umständen sensibel bleiben können (DYSON 1984, CARTER 2005).

SCHUMACHER et al. (2001a) sehen nach Hufgelenksanästhesie keine Korrelation zwischen Hautsensibilität am Kronsaum und Einfluss der Anästhesie auf die Lahmheit. Schließlich bleibt grundsätzlich nach intrasynovialer Anästhesie bis auf die Injektionsstelle - Rückfluss über den Stichkanal - die Hautsensibilität erhalten (DYSON 1994a).

Genauso können der Einsatz der Hufzange, Beugeproben oder eine Lahmheitsbesserung per se allenfalls auf eine erfolgreiche Betäubung hinweisen (DYSON u. KIDD 1993, RIJKENHUIZEN 2001, CARTER 2005).

Summa summarum existiert derzeit keine wirklich sichere Methode, um die Wirkung einer intrasynovialen Anästhesie zu kontrollieren, was ein umso sorgfältigeres Arbeiten erfordert (TAYLOR 2001).

Bei deutlichen Nachblutungen kann die Anästhesie leider nicht gewertet werden, da das Hämatom das Medikament verdünnt bzw. verdrängt haben kann (KELLER 2002).

### **Nachsorge**

Anschließend ist auf jeden Fall schnelles Laufen auf hartem Boden zu vermeiden (GASTHUYS u. DEMOOR 2006). Vielmehr ist das Anlegen eines antiphlogistischen Verbandes empfehlenswert (GERWECK et al. 1994b), um die Resorption des Lokalanästhetikums und möglicher Hämatome zu beschleunigen und zur Prophylaxe von Phlegmonen (KELLER 2002). Auch nicht-steroidale Antiphlogistika können per os verabreicht werden (ZELLER 1978) und drei Tage Stallruhe sind angeraten (EISENMENGER 1968, HERTSCH 1988).

### 2.3.2 Zehenregion

#### 2.3.2.1 Zugang zur *Articulatio interphalangea distalis*

##### Dorsaler Zugang

(HERTSCH 1987, VAN KRUIJNIGEN 1963, ROSE u. FRAUENFELDER 1982, WORTHMAN 1981, HOGAN u. HONNAS 1998, STASHAK 2002, SCHUMACHER et al. 2004b):

Der Recessus dorsalis des Hufgelenks wird in der Regel bei belasteter Gliedmaße am Kronsaum oder ein bis 2 cm proximal dessen punktiert.

Man kann wählen zwischen einem dorsolateralen, dorsomedialen oder dorsoaxialen („dorsal midline approach“) Zugang (GOUGH 1998, SCHUMACHER et al. 2004b). Der Einstich erfolgt horizontal und bodenparallel (SCHUMACHER et al. 2004b), vertikal (STASHAK 2002) oder distomedial und schräg unter den Processus extensorius bzw. unter die Sehne des M. ext. digitalis communis gerichtet (WORTHMAN 1981). Ein bis 4 cm tief, sollte er früher noch bis auf das Kronbein reichen (WESTHUES 1934, WESTHUES u. FRITSCH 1960).

Erleichternd kann die Gliedmaße auf einen Holzblock gestellt werden (RIJKENHUIZEN 2001). Durch die Belastung ist der Recessus gut mit Synovia angefüllt (WISSDORF et al. 2002a). Andererseits bringt ein gebeugtes Gelenk den Vorteil mit sich, den Einstich zu erleichtern und das Risiko eines Gelenkknorpelschadens zu reduzieren (ROSE u. FRAUENFELDER 1982).

Nachteilig wirken sich leichte Hämorrhagien aus, die durch Punktion der dorsalen Gefäßplexus am Kronsaum entstehen, was außerdem mit einer schmerzhaften Reaktion des Pferdes bedingt sein kann (HOGAN u. HONNAS 1998).

##### Lateraler (bzw. medialer) Zugang

(HERTSCH 1987, HOGAN et al. 1996, HOGAN u. HONNAS 1998, MUELLER u. HAY 1999, VAZQUEZ DE MERCADO et al. 1998):

Um den Recessus palmaris proximalis zu injizieren, orientiert man sich an der fühlbaren Vertiefung am proximalen Rand des lateralen (bzw. medialen) Hufknorpels, am palmaren Rand des Kronbeins und dorsal der tiefen Beugesehne. Sodann wird von palmarproximolateral nach dorsodistomedial (VAZQUEZ DE MERCADO et al. 1998), im 45° Winkel zum Boden (HOGAN et al. 1996, HOGAN u. HONNAS 1998),

gerichtet auf das Zentrum des Strahls (MUELLER u. HAY 1999), bis zu 3,8 cm tief (VAZQUEZ DE MERCADO et al. 1998) eingestochen.

Ungünstigerweise können Fehlpunktionen des Hufrollenschleimbeutels oder der gemeinsamen Fesselbeugesehnscheide sowie des subkutanen Gewebes nicht ausgeschlossen werden (VAZQUEZ DE MERCADO et al. 1998). Daher wird auch zur Durchführung unter sonografischer Kontrolle geraten (WISSDORF et al. 2002a).

Dieser Zugang ist vor allem indiziert bei proliferativer Arthrose, Weichteilentzündungen, Zubildungen im Bereich des dorsalen Zugangs sowie bei Gelenkspülung und bei Arthroskopie (VAZQUEZ DE MERCADO et al. 1998).

#### Palmarer Zugang

(GERWECK et al. 1994b, RIJKENHUIZEN 2001, GASTHUYS u. DEMOOR 2006)

GERWECK et al. (1994b) erwähnen bei der Besprechung der Anästhesie der Bursa podotrochlearis (sh. unten), dass dieser Zugang auch zur Punktion der palmaren Hufgelenksaussackung genutzt werden kann.

Bei dem annähernd parallel zur Tragrandfläche und auf den Kronrand bzw. auf den Processus extensorius gerichteten Einstich, wird die tiefe Beugesehne durchstoßen (GASTHUYS u. DEMOOR 2006), die RIJKENHUIZEN (2001) leider mit der gemeinsamen Strecksehne verwechselt.

#### 2.3.2.2 Zugang zur Bursa podotrochlearis

FORSELL (1923) hält die Bursa podotrochlearis für nicht zugänglich, da die tiefe Beugesehne perforiert werden müsste. Dies erscheint ihm im Verhältnis zum diagnostischen Nutzen zu gefährlich. Mittlerweile ist die Anästhesie von einer Vielzahl von Autoren beschrieben worden. Immer wenn so viele verschiedene Methoden existieren um eine Sache durchzuführen, legt dies den Verdacht nahe, dass noch keine Ideallösung gefunden worden ist.

Entscheidend ist, dass die Kanüle nicht versehentlich im Hufgelenk, am Palmarrand des Kronbeins oder im Ballenkissen landet (DABAREINER 2002). Des Weiteren kann die Nadel in der tiefen Beugesehne verlegt sein (PICCOT-CRÉZOLLET et al. 2005a).

Daher kontrollieren viele den Sitz der Injektionskanüle röntgenologisch (HERTSCH et al. 1982, VERSCHOOTEN et al. 1990,1991, TAYLOR 2001, WÜRFEL 2002). Empfohlen wird eine Radiomarkierung am Huf, um den geplanten Injektionsbereich

bzw. die Position des Strahlbeines zu kennzeichnen (SCHRAMME et al. 2000). Damit kann der Einstichwinkel besser eingeschätzt werden (TAYLOR 2001).

Ergänzend findet sich des Öfteren der Vorschlag ein bis 2 ml eines Röntgenkontrastmittels zu applizieren, um den intrabursalen Sitz der Kanüle zu bestätigen (VERSCHOOTEN et al. 1990, 1991, WISSDORF et al. 2002a). Mehr als zwei Kontrastmittelinjektionen sind selten nötig und bei dessen intrabursaler Lokalisation kann im Anschluss das Lokalanästhetikum injiziert werden (GASTHUYS u. DE MOOR 2006).

Auch die Möglichkeit hierzu ein fluoroskopisches Verfahren zu verwenden wird offeriert (VERSCHOOTEN et al. 1990, 1991, DYSON u. KIDD 1993, TAYLOR 2001, WISSDORF et al. 2002a).

Darüber hinaus verspricht die Punktion unter sonografischer Kontrolle - bei aufwendiger Vorbereitung des Hufes - Erfolg (SPRIET et al. 2005).

Aus dem Tohuwabohu der verschiedenen verwendeten Abmessungen für Kanülen ermittelt WÜRFEL (2002, 2005) durch ihre Voruntersuchungen, dass unter einem Durchmesser von 0,8 mm (21G) eine zu hohe Flexibilität der Kanüle vorliegt, wodurch sich diese kleinumigen Modelle widerstandslos durch die tiefe Beugesehne oder das Strahlbein distal ablenken lassen. Nadeln mit einem Durchmesser über 0,9 mm (20G) verfügen zwar über eine höhere Stabilität, haben aber einen größeren Stichkanal über den die injizierte Lösung leichter zurückfließen kann zur Folge. Ebendiese empfiehlt daher je nach Hufgröße Kanülen der Maße 0,90 mm x 40 mm (20G x 1.5“), 0,90 mm x 50 mm (20G x 2“) oder 0,90 mm x 70 mm (20G x 2.8“) zu verwenden.

Wenn anfangs im Konus der Kanüle keine Synovialflüssigkeit erscheint, ist das nicht ungewöhnlich, denn häufig erfolgt erst nach Injektion eines Lokalanästhetikums ein passiver Rückfluss (TAYLOR 2001).

Es lassen sich in Anlehnung an SCHRAMME et al. (2000) fünf verschiedene Techniken zur Punktion des Hufrollenschleimbeutels voneinander abgrenzen:

Der distale palmare Zugang - parallel zum Kronsaum (VAN KRUIJNIGEN 1963, BYARS et al. 1982, SCHRAMME et al. 2000, RIJKENHUIZEN 2001, STASHAK 2002, GASTHUYS u. DE MOOR 2006).

Der distale palmare Zugang - parallel zur Sohle (VAN KRUIJNIGEN 1963, WORTHMAN 1981, WRIGHT et al. 1995, MUELLER u. HAY 1999, SCHRAMME et al. 2000, STASHAK 2002, PICCOT-CRÉZOLLET et al. 2005a).

Beide Zugänge lokalisieren sich palmar, mittig zwischen den Ballen und unmittelbar proximal am Kronsaum also direkt über der mittleren Strahlfurche.

Der proximale palmare Zugang (HERTSCH et al. 1982, GIBSON et al. 1990, DABAREINER et al. 2001, WÜRFEL 2002, SCHRAMME et al. 2000)

befindet sich in der Medianen am Übergang zwischen mittlerem und distalem Drittel der Fesselbeuge. Eine noch proximalere Einstichstelle nämlich erfordert einen stumpferen Winkel zwischen Injektionskanüle und Boden, was eine Fehlpunktion des Hufgelenks wahrscheinlicher macht (WÜRFEL 2002). So variiert der schräge Einstich in einer Neigung zum Boden von 10° (DABAREINER et al. 2001), 30° (SCHRAMME et al. 2005), sicher aber unter 42,4° (RECKELS 1991). Als denkbarer Zielpunkt fungiert entweder die Mitte zwischen Sohle und proximalem Rand der Vorderwand des Hufes (GIBSON et al. 1990) oder ein Punkt 1 cm distal des dorsalen Kronrandes (RIJKENHUIZEN 2001) oder eine gedachte Verlängerung der Kanüle, die die Dorsalwand des Hufes in ihrem distalen Viertel bzw. bis zu 3 cm proximal der Hufspitze trifft (WÜRFEL 2002). Ebenso kann je nach Hufform auch die Stichrichtung genau auf die Hufspitze zu erfolgsversprechend sein (HERTSCH et al. 1982).

Zusammengefasst lässt sich zu den drei bisher genannten Techniken folgendes festhalten: Die Stichrichtung kann von kronsaumparallel über horizontal bis zu schräg distal variieren. Hierbei gilt, dass je mehr sich die Einstichstelle nach distal Richtung Kronsaum verlagert, die Kanüle zunehmend paralleler zur Hufsohle vorgeschoben werden muss (WÜRFEL 2002).

Als Leitschiene bei der Punktion dient die knöcherne Struktur des Strahlbeins, seine Facies flexoria. Die Kanüle wird soweit vorgeschoben bis sie auf harten Widerstand stößt. Um wieder in die durchstochene Bursa zu gelangen, muss die Kanüle ein Stück zurückgezogen werden (STASHAK 2002, WÜRFEL 2002).

Der distale palmare Zugang, orientiert an der Lage des Strahlbeins

Da hier im Vergleich zu anderen Techniken Hufgröße oder -konformation keinen Einfluss ausüben wird dieser Zugang favorisiert (SCHRAMME et al. 2000). Auch das Vorgehen von VERSCHOOTEN et al. (1990, 1991) ist nach der Lage des Strahlbeins ausgerichtet.

Man orientiert sich entweder axial des lateralen Hufknorpels, parallel zur Sagittalebene (VERSCHOOTEN et al. 1990, 1991) oder zwischen den Ballen in etwa 4 mm oberhalb des Kronsaums (PICCOT-CRÉZOLLET et al. 2005a).

Zentraler Punkt ist die „Navicular position“, die 1 cm distal des Kronsaums und mittig auf einer Verbindungslinie zwischen dem dorsalsten und dem palmarsten Rand der Hufwand liegt (SCHRAMME et al. 2000). Gezielt wird auf den Schnittpunkt der Sagittalebene mit der langen Achse des Strahlbeins, die durch eine Verbindungslinie zwischen der gedachten „Navicular position“ von der lateralen zur medialen Hufwand charakterisiert ist (SCHUMACHER et al. 2004b). Abbildung 3 veranschaulicht diesen etwas kompliziert formulierten Sachverhalt.

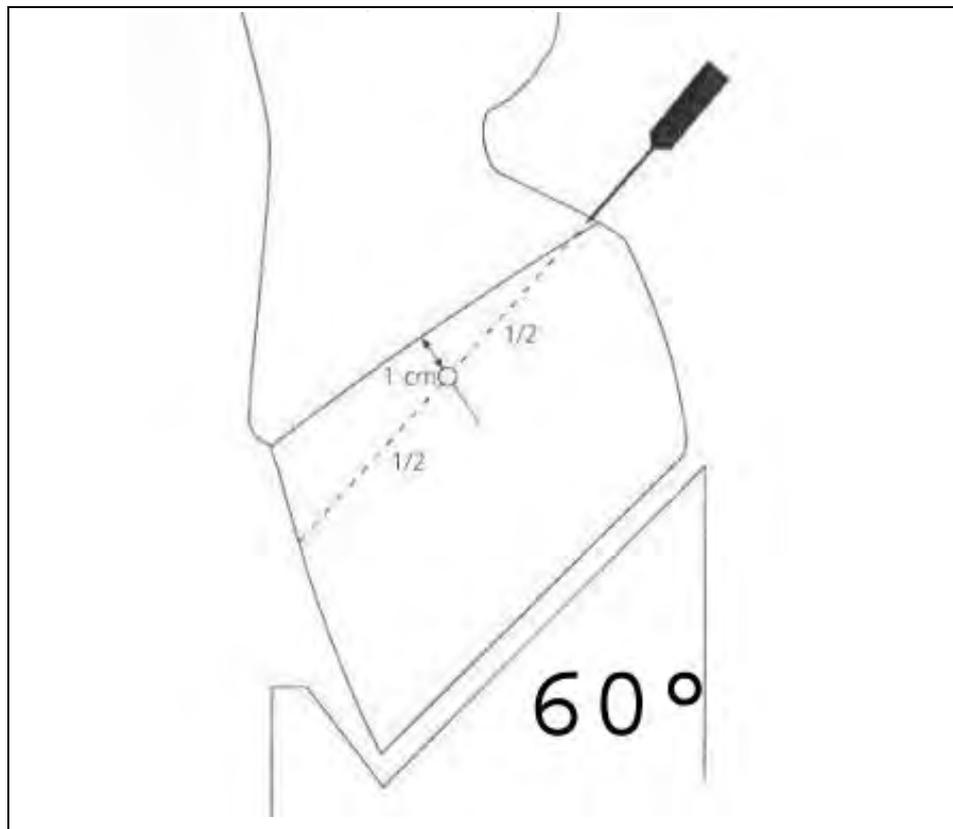


Abb. 3: Positionierung der Kanüle in der „Navicular position“ mit der Pferdegliedmaße auf dem Holzblock (modifiziert nach SCHUMACHER et al. 2004b)

An Stelle der gewöhnlich bei Belastung durchgeführten Punktion (SCHMOTZER u. TIMM 1990) wird die Gliedmaße hierzu auf den sogenannten HICKMAN- Block gestellt. Dieser Holzblock positioniert die Gliedmaße im 60°- Winkel zum Boden und findet auch für die Röntgenaufnahme nach OXSPRING Verwendung (SCHUMACHER et al. 2004b).

Durch Imitation einer entlasteten Gliedmaße vergrößert sich die Punktionsfläche der Bursa podotrochlearis zwischen Strahlbein und tiefer Beugesehne (SCHRAMME et al. 2000). Eine neuere Studie am lebenden Pferd beschreibt diese Methode als sehr erfolgsversprechend, da die Facies flexoria des Strahlbeins durch ihre vertikalere Position leichter zu treffen ist und zusätzlich durch den größeren Abstand zum Boden sauberer gearbeitet werden kann (PICCOT-CRÉZOLLET et al. 2005a). Allerdings bleibt der Nachteil, dass keine Gegengliedmaße aufgehoben werden kann, was dem Pferd größeren Spielraum für Abwehrbewegungen lässt (PICCOT-CRÉZOLLET et al. 2005a). DABAREINER (2002) ist der Überzeugung, dass bereits ein Hufkeil mit einer Steigung von lediglich 2°, was als spätere orthopädische Maßnahme einzustufen ist, den Zugang erleichtert, da der Zug der tiefen Beugesehne reduziert wird.

Der laterale Zugang (SCHMOTZER u. TIMM 1990, MUELLER u. HAY 1999, STASHAK 2002, SCHRAMME et al. 2000):

Man orientiert sich an einer Stelle gerade proximal und axial des lateralen Hufknorpels, zwischen der lateropalmaren Kante des Kronbeins und der lateralen Kante der tiefen Beugesehne. Hier kann distal eingestochen werden und zwar entweder im 45°- Winkel zum Boden, in der Frontalebene (SCHRAMME et al. 2000) oder auf den gegenüberliegenden Ballen zu (MUELLER u. HAY 1999) oder leicht schräg zur Horizontalebene auf das Strahlbein gerichtet (GASTHUYS u. DE MOOR 2006). In der älteren Literatur wird noch die Möglichkeit einer Punktion am Ballen neben der tiefen Beugesehne offeriert, wobei die Nadel hier auf die Zehenspitze zu und bis auf das Os naviculare vorgeschoben wird (VAN KRUIJNIGEN 1963 – persönl. Mitteilung von A.G. Danks 1962).

Entscheidender Vorteil ist, dass weder das digitale Ballenkissen noch die tiefe Beugesehne durchstoßen werden müssen. Allerdings entfällt nach WÜRFEL (2002) die knöcherne Struktur des Strahlbeins als Anhaltspunkt für die Eindringtiefe der Kanüle, so dass der palmare Zugang für einfacher und sicherer erachtet wird.

### 2.3.2.3 Zugang zur *Vagina synovialis digitorum manus*

Lateraler (bzw. medialer), proximaler Zugang

(WESTHUES 1934, WESTHUES u. FRITSCH 1960, BERGE u. WESTHUES 1969, WORTHMAN 1981, SMITH 1993, MUELLER u. HAY 1999, MUIR et al. 2000, WRIGHT et al. 1995, RIJKENHUIZEN 2001, SALOMON et al. 2005):

Punktiert wird proximal des Fesselgelenks, der Gleichbeine und des Fesselringbandes zwischen M. interosseus medius und tiefer Beugesehne oder zwischen den beiden Beugesehnen. Die Kanüle wird entweder horizontal oder im 45°- Winkel mediodistal eingestochen.

Zu beachten ist, dass das neurovaskuläre Bündel beiseite geschoben wird (WORTHMAN 1981) bzw. der Einstich 1 cm palmar dessen erfolgt (MUELLER u. HAY 1999).

Palmarer, distaler Zugang

(SMITH 1993, WRIGHT et al. 1995, MUELLER u. HAY 1999):

Diese selten beschriebene Injektionsstelle ist sowohl von lateral als auch von medial zugänglich. Sie ist auf Höhe des Krongelenks bzw. palmar des Kronbeines und distal des Fesselringbandes und der Gleichbeinbasis lokalisiert. Die Einstichtiefe richtet sich nach dem Grad der Ausdehnung der synovialen Einrichtung und erfolgt im 90°- Winkel zur Gliedmaßenoberfläche (SMITH 1993, WRIGHT et al. 1995, MUELLER u. HAY 1999).

### 2.3.2.4 Zugang zur *Articulatio metacarpo- bzw. metatarsophalangea*

Dorsaler Zugang

(HERTSCH 1987, SCHMOTZER u. TIMM 1990, MUELLER u. HAY 1999, WHITTON et al. 1999):

Zwischen den Sehnen des gemeinsamen (bzw. langen) und des lateralen Zehenstreckers oder 1 cm medial der gemeinsamen Strecksehne (GERWECK et al. 1994b) und 1,5 bis 2 cm proximal der Gelenkfläche erfolgt der Einstich bodenparallel bis schräg mediodistal und 2,5 bis 3,8 cm tief (MUELLER u. HAY 1999).

Lateraler (bzw. medialer) Zugang durch das Gleichbeinseitenband

(HERTSCH 1987, BERGE u. WESTHUES 1969, WORTHMAN 1981, SCHMOTZER u. TIMM 1990, HOGAN et al. 1996, MUELLER u. HAY 1999, WHITTON et al. 1999, RIJKENHUIZEN 2001):

Palmar des Röhrbeins und dorsal des Musculus interosseus medius (HERTSCH 1987) durchsticht man das Lig. sesamoideum collaterale bis zu einer Tiefe von 2,5 bis 3,8 cm. (MUELLER u. HAY 1999). Entscheiden muss man sich, ob man die Kanüle horizontal, bzw. im 90°-Winkel zur Gliedmaße (MUELLER u. HAY 1999) oder distomedial und lateromedial (HERTSCH 1987) gerichtet im Recessus palmaris proximalis platziert.

Bei dieser Punktionsstelle ist die Synovialmembran arm an Gefäßen und Zotten, woraus seltener Hämorrhagien und Entzündungen resultieren und es kann leichter Synovia gewonnen werden (MUELLER u. HAY 1999).

Proximaler palmarer Zugang

(VAN PELT 1962, BERGE u. WESTHUES 1969, SKARDA 1987, MUELLER u. HAY 1999, WHITTON et al. 1999, RIJKENHUIZEN 2001):

Das „Punktionsdreieck“ (BERGE u. WESTHUES 1969) ist insgesamt weiter proximal lokalisiert als die laterale Zugangsstelle und wird von den folgenden Koordinaten gebildet: Man orientiert sich distal des Griffelbeins, proximal der lateralen Gleichbeinspitze, palmar des distalen Röhrbeinrandes und dorsal des Fesselringbandes bzw. des lateralen Fesselträgerschenkels (MUELLER u. HAY 1999, RIJKENHUIZEN 2001). Der Einstich erfolgt horizontal oder bis zu 45° nach medial und distal gerichtet (MUELLER u. HAY 1999).

Weniger geeignet ist dieser Zugang wenn eine Synoviaprobe benötigt wird, weil die Nadel durch Gelenkzotten verlegt sein kann und bedingt durch die sehr vaskuläre Membrana synovialis eine Kontamination der Synovia mit Blut wahrscheinlicher ist (HOGAN et al. 1996). Außerdem wird vor einer Fehlpunktion der gemeinsamen Fesselbeugesehnenscheide gewarnt, da hier die beiden synovialen Einrichtungen nur das aus Faserknorpel bestehende Ligamentum intersesamoideum trennt (SCHUBA 1993).

Distaler palmarer Zugang

Um den Recessus palmaris distalis zu erreichen, orientiert man sich proximal des Ansatzes des Fesselringbandes, distal der Gleichbeinbasis, palmar des distalen

Gleichbeinbandes und dorsal der tiefen Beugesehne und punktiert lateromedial, horizontal und gelenkparallel auf das Zentrum des Gelenks zu (VAN PELT 1962).

Hierbei muss das neurovaskuläre Bündel zur Seite gerollt und die Lokalisation der gemeinsamen Fesselbeugesehnenscheide bedacht werden (VAN PELT 1962).

### 2.3.2.5 *Alternative diagnostische Anästhesien in der distalen Gliedmaßenregion*

Eine einheitliche Darstellung der Leitungsanästhesien in diesem Bereich scheint problematisch, da eine perineurale Infiltration der Zeheneigennerven von den Klinikern auf den unterschiedlichsten Höhen vorgenommen wird. So ist je nach Einstichhöhe mit Ergebnissen von unvollständiger Desensibilisierung des Hufgelenks (SCHEBITZ 1958) bis hin zu partieller Betäubung des Krongelenks durch proximale Diffusion (SCHUMACHER et al. 2004a) zu rechnen. Dies geht zu Lasten der Spezifität und Vergleichbarkeit. Auch die Anästhesie des Ramus pulvinus (LANGFELDT u. HERTSCH 1988) weist Schwächen auf, da zum einen neben dem Hufrollenschleimbeutel auch Teile des Hufgelenks anästhesiert werden und zum anderen das Risiko besteht eine synoviale Einrichtung unbeabsichtigt zu punktieren (STANEK u. GIRTLER 2002). Ebendiese offerieren folgenden Vorschlag zur Standardisierung der Leitungsanästhesien an der Vordergliedmaße, der in vier Stufen gegliedert ist:

- Stufe 1: Anästhesie des N. digitalis palmaris auf halber Höhe der Fessel
- Stufe 2: Anästhesie des R. dorsalis des N. digitalis palmaris auf halber Höhe der Fessel
- Stufe 3: Kombination der Anästhesie der Nn. palmares (5 cm proximal der Gleichbeine) und Nn. metacarpei palmares, um zusätzlich das Fesselgelenk völlig zu betäuben.
- Stufe 4: Anästhesie des R. profundus des N. ulnaris, was den Fesselträgerursprung und proximale Stellen am Röhrlbein desensibilisiert.

An der Hintergliedmaße sind durch die zusätzlichen Nn. metatarsi dorsales die Verhältnisse komplizierter, so dass diese separat zu betäuben sind (STASHAK 2002).

### 2.3.3 Karpalregion

#### 2.3.3.1 Zugang zur *Articulatio carpometacarpea*

(BELLING 1986, SCHÖNECK et al. 1998)

FORSELL (1923) hält eine Punktion der untersten Gelenkabteilung am Karpus zwar für denkbar, da in diese Amphiarthrose aber nur wenig Lösung unter Widerstand injizierbar ist, beschränkt er sich auf die mittlere und obere Gelenkabteilung. Nachdem das Karpometakarpalgelenk ohnehin mit dem Mediokarpalgelenk kommuniziert, wird es aus ähnlichen Gründen von VAN PELT (1960) weder punktiert noch injiziert.

Dennoch ist ein posterolateraler bzw. lateropalmarer Zugang zu diesem zwischen dem Os metacarpale quartum und Os carpale quartum möglich, indem man bei belasteter Gliedmaße horizontal und höchstens 1,3 cm (0.5 inch) tief einsticht (BELLING 1986, SCHÖNECK et al. 1998). Dies wird von SCHÖNECK et al. (1998) als Analogon zur Punktion des Tarsometatarsalgelenks für den Karpus überprüft und mittels Röntgenkontrasttechnik bestätigt. BELLING (1986) warnt davor, die interkarpalen Bänder zu beschädigen.

#### 2.3.3.2 Zugang zur *Articulatio mediocarpea*

(HERTSCH 1987, WORTHMAN 1981, BYARS et al. 1982, ROSE u. FRAUENFELDER 1982, HOGAN et al. 1996, HOGAN u. HONNAS 1998, MUELLER u. HAY 1999, TAYLOR 2001, STASHAK 2002):

Punktiert wird bei gebeugter Gliedmaße, im 90°- Winkel zur Gliedmaßenachse in die palpierbare Vertiefung zwischen der distalen und proximalen Karpalknochenreihe. Man kann zwischen einem *dorsalen*, einem *lateralen* und einem *dorsolateralen* Zugang unterscheiden, der demnach entweder medial der Sehne des M. ext. carpi radialis oder lateral der Sehne des M. ext. dig. communis oder zwischen diesen beiden Endsehnen lokalisiert ist. Bei letzterem besteht das Risiko eine der benachbarten Sehnen versehentlich zu durchstechen, weshalb der dorsolaterale Zugang für schwieriger gehalten wird (SCHMOTZER u. TIMM 1990).

VAN PELT (1962) sieht zwei Vorteile im Anbeugen der Gliedmaße, nämlich eine weitere Öffnung des Gelenkspaltes und ein Verstreichen der Falten der

Synovialmembran. Diese Falten könnten sonst die Nadel verlegen oder einer Penetration im Weg stehen.

Einzig die oberflächliche, *palmarolaterale* Aussackung, die gelegentlich bei vermehrter Gelenkfüllung zu sehen ist, wird bei belasteter Gliedmaße injiziert (STASHAK 2002).

Hierzu orientiert man sich am distalen und lateralen Rand des Os carpi ulnare und am proximalen Rand des Os carpale quartum. Sodann wird horizontal, nach kraniomedial durch die palpierbare Vertiefung zwischen den beiden Knochen bis zu 2,5 cm tief eingestochen (BELLING 1986, STASHAK 2002).

Diese Methode birgt ein geringeres Risiko den Knorpel zu verletzen (BELLING 1986).

#### 2.3.3.3 Zugang zur *Articulatio radiocarpalis*

(HERTSCH 1987, WESTHUES 1934, BELLING 1986, HOGAN u. HONNAS 1998, MUELLER u. HAY 1999, WISSDORF et al. 2002a, STASHAK 2002, GASTHUYS u. DEMOOR 2006):

Das Radiokarpalgelenk kann von *dorsal, dorsolateral und lateral* analog zum Mediokarpalgelenk zwischen proximaler Karpalknochenreihe und Radius punktiert werden (sh. oben).

Für den *palmarolateralen* Zugang zwischen den Sehnen des M. ext. dig. lat. und des M. ext. carpi ulnaris orientiert man sich an der palpierbaren, kleinen Vertiefung, die von Unterarm, Os carpi accessorium und Os carpi ulnare gebildet wird (HOGAN et al. 1996). Die bis zu 20 mm nach proximal reichende Gelenkaussackung muss möglichst nahe und distal am Radius punktiert werden, um die Karpalbeugesehnenscheide nicht versehentlich zu erreichen (WISSDORF et al. 2002a).

Eine *palmaromediale* Punktionsstelle befindet sich zwischen Radius und 1 bis 2 cm proximal und medial des Sehnenansatzes des M. flexor carpi ulnaris am Erbsenbein (BYARS et al. 1982).

Die Kanüle wird bei belasteter Gliedmaße, horizontal, nach kraniomedial gerichtet und bis zu 4 cm tief vorgeschoben (WESTHUES 1934).

#### 2.3.3.4 Zugang zur *Vagina synovialis communis mm. flexorum*

Die „Kniebogensehnenscheide“ (WESTHUES 1934) erstreckt sich von acht bis 10 cm proximal des Karpus durch den Karpalkanal zehenwärts bis zu der Stelle, an der die

tiefe Beugesehne ihr Unterstützungsband erhält. Nach TAYLOR (1959) endet die proximale Ausdehnung bereits gerade oberhalb des Erbsenbeins.

Wo sie nicht vom Retinaculum flexorum bedeckt werden, wölben sich die Endaussackungen der Sehnenscheide vor. Man unterscheidet einen proximalen Blindsack, der zwischen den Sehnen der Mm. extensores digitalis lateralis und carpi ulnaris in unmittelbarer Nähe der Karpalgelenkaussackung lokalisiert ist, von den beiden distalen Blindsäcken, die seitlich an der tiefen Beugesehne liegend bis zum Beginn des mittleren Röhrbeindrittels reichen (WISSDORF et al. 2002a).

#### Zugang zum distalen Endblindsack

(WESTHUES 1934, WESTHUES u. FRITSCH 1960, NICKEL et al. 1992, RIJKENHUIZEN 2001, GASTHUYS u. DEMOOR 2006):

Man orientiert sich im proximalen Drittel des Metakarpus, handbreit distal des Os carpi accessorium, palmar des lateralen Griffelbeins und dorsal der tiefen Beugesehne (RIJKENHUIZEN 2001). Der Einstich erfolgt senkrecht zur Gliedmaßenachse, leicht proximomedial gerichtet, in den Winkel gebildet von Unterstützungsband und tiefer Beugesehne, möglichst sehnennah und 1 bis 2 cm tief (WESTHUES 1934).

Vor allem bei vermehrter Füllung kann alternativ auch der mediale distale Endblindsack punktiert werden (FORSELL 1923, WRIGHT et al. 1995).

#### Kaudolateraler Zugang zum proximalen Endblindsack

(FORSELL 1923, RIJKENHUIZEN 2001, GASTHUYS u. DEMOOR 2006):

Bis zu 5 cm proximal des Os carpi accessorium, zwischen den Sehnen des M. ext. dig. lat. und des M. ext. carpi ulnaris lokalisiert sich dieser Zugang (RIJKENHUIZEN 2001). Fast regelmäßig kann Synovia gewonnen werden. Vorsicht ist geboten statt der Sehnenscheide die lateropalmare Aussackung des Radiokarpalgelenks zu punktieren (FORSELL 1923).

### 2.3.3.5 Alternative diagnostische Anästhesien für die Regio carpi

FORD et al. (1989) vergleichen drei Methoden zur proximalen palmaren metakarpalen Anästhesie. Danach favorisieren sie gegenüber der *Infiltration des Fesselträgerursprungs* („Subcarpal nerve block“) und der *Leitungsanästhesie der palmaren und palmaren metakarpalen Nerven*, die *palmare metakarpale Anästhesie am distalen Rand des Os carpi accessorium*. Diese führt zwar nicht zu einer versehentlichen Gelenkinjektion wie die beiden anderen, aber in 68 % der Fälle zur Fehlpunktion der Karpalbeugesehnenscheide. FORD et al. (1989) stört dieses Faktum nicht, da mit dieser synovialen Struktur selten eine Lahmheit assoziiert ist und wenden folgende Technik an:

Nach Orientierung palmarolateral am distalen Rand des Os carpi accessorium erfolgt der horizontale, dorsomediale Einstich.

Eine neue Methode zur Anästhesie des N. palmaris lateralis beschreiben CASTRO et al. (2005): Hierbei wird am medialen Rand des Erbsenbeins mediolateral auf den Knochen zu punktiert, was nie eine Injektion der Karpalbeugesehnenscheide zur Folge hat.

Gewöhnlich wird proximal des Metakarpus den intrasynovialen Anästhesien der Vorzug gegeben (DERKSEN 1980), denn bei den proximalen Leitungsanästhesien ist der Ausgang unsicher und es besteht das Risiko bleibender Nervenlähmungen und erhöhter Frakturgefahr (KELLER 1976). Außerdem müssen um die Karpalgelenke vollständig zu desensibilisieren die Anästhesie des N. medianus und des N. ulnaris kombiniert angewendet werden (WRIGHT et al. 1995).

### 2.3.4 Tarsalregion

#### 2.3.4.1 Zugang zu den *Articulationes tarsometatarsae*

Zu Zeiten vor BROWN und VALKO (1980), GABEL (1979), SACK und ORSINI (1981) ist keine Methode etabliert gewesen, um Injektionen in die beiden distalen Gelenkspalten des Sprunggelenks durchzuführen.

#### Plantarolateraler Zugang

(HERTSCH 1987, LINDSAY et al. 1981, WISSDORF et al. 2002b, STASHAK 2002, GASTHUYS u. DEMOOR 2006):

Orientiert werden kann sich entweder an der palpierbaren Vertiefung zwischen Os metatarsale quartum und Os tarsale quartum (HERTSCH 1987, HOGAN et al. 1996) oder zwischen Os metatarsale quartum und Os tarsale tertium (GASTHUYS u. DEMOOR 2006) oder an der lateralen Kante der oberflächlichen Beugesehne, proximal des Os metacarpale quartum (MUELLER u. HAY 1999, BAXTER et al. 2003).

Die Kanüle wird horizontal, parallel zur Gelenkfläche (BROWN u. VALKO 1980) oder nach dorsodistomedial im 45°- bis 60°- Winkel (HOGAN et al. 1996, BAXTER et al. 2003) gerichtet eingestochen. GERWECK et al. (1994b) bezeichnen dies auch als Zugang zur lateralen Abteilung am Sprunggelenk.

#### Medialer Zugang

Dieser wird als schwierigere Alternative (BAXTER et al. 2003) angesehen und befindet sich lediglich distaler als der Zugang zum distalen Intertarsalgelenk. Er soll selektiver sein, nur dieses Gelenk zu anästhesieren (SACK u. ORSINI 1981).

Entweder wird die Knochenaussparung zwischen Os tarsale primum et secundum, Os tarsale tertium und Os metatarsale tertium (FRIKER et al. 2000b) oder 12 mm distal der Lücke zwischen Os tarsale primum et secundum, Os tarsale tertium und Os tarsi centrale punktiert (SACK u. ORSINI 1981).

#### Kranialer Zugang

BYARS et al. (1982) wählen die kraniale Lokalisation zwischen Os metatarsale tertium und Os tarsale tertium.

#### 2.3.4.2 Zugang zur *Articulatio centrodistalis*

Von vielen Autoren wird trotz möglicher Kommunikation zum Tarsometatarsalgelenk eine getrennte Anästhesie der synovialen Einrichtungen empfohlen (SACK u. ORSINI 1981, HOGAN et al. 1996, BAXTER et al. 2003).

##### Medialer Zugang

(HERTSCH 1987, STASHAK 2002, GASTHUYS u. DEMOOR 2006):

Das Gelenk ist 1,5 cm proximal der medialen Punktionsstelle für das Tarsometatarsalgelenk zugänglich (EDWARDS 1982). Hierfür orientiert man sich an der meist tastbaren Knochenaussparung zwischen Os tarsale primum et secundum, Os tarsale tertium und Os tarsi centrale (FRIKER et al. 2000b) oder an einer gedachten Linie, die die distale Tuberositas medialis des Talus mit der proximalen Lücke zwischen Os metatarsale secundum und Os metatarsale tertium verbindet (STASHAK 2002).

Es kann kranial des dorsalen Randes der Sehne des M. tibialis cranialis (FRIKER et al. 2000b), distal dieser (GASTHUYS u. DEMOOR 2006) oder durch ebendiese samt Schleimbeutel (GOUGH et al. 2002b) eingestochen werden. Dies erfolgt horizontal, senkrecht zur Gliedmaßenachse (FRIKER et al. 2000b), leicht nach kaudal gerichtet (STASHAK 2002) und möglichst proximal und nicht zu tief, so dass die Kanüle im Gelenk bleibt (SACK u. ORSINI 1981).

Wegen des nur sehr schmalen intraartikulären Spaltes ist eine Kontrolle der Positionierung der Kanüle durch Röntgenaufnahmen empfehlenswert (GASTHUYS u. DEMOOR 2006). GERWECK et al. (1994b) bezeichnen dies auch als Zugang zur medialen Abteilung am Sprunggelenk.

##### Kranialer Zugang

BYARS et al. (1982) punktieren von kranial zwischen Os tarsale tertium und Os tarsi centrale.

#### 2.3.4.3 Zugang zur *Articulatio talocruralis*

Dieses Gelenk steht immer mit dem proximalen Intertarsalgelenk kranial in offener Verbindung (VAN PELT 1966), so dass diese beide als „single unit“ aufzufassen sind (HOGAN u. HONNAS 1998).

Favorisiert wird in der Regel der dorsomediale Zugang, doch ist nach FORSELL (1923) bei vermehrter Gelenkfüllung auch ein dorsolateraler, (plantaro-) lateraler oder medialer Zugang möglich, je nachdem, welcher Gelenkrecessus erweitert ist (GASTHUYS u. DEMOOR 2006).

Für den dorsomedialen Zugang bietet sich folgendes Vorgehen an

(HERTSCH 1987, WESTHUES u. FRITSCH 1960, VAN PELT 1966, BYARS et al. 1982, GIBSON u. STASHAK 1989b, HOGAN et al. 1996, WHITTON et al. 1999):

Auf der Beugeseite des Sprunggelenks, kranial des Ligamentum mediale collaterale longum, distal des Malleolus medialis tibiae, medial der Endsehnen des M. tibialis cranialis und M. fibularis tertius und unter Schonung der V. saphena (medialer Ast) kann lateral oder medial von dieser der Recessus dorsalis punktiert werden. Hierfür wird bei belasteter Gliedmaße horizontal nach mediolateral (HERTSCH 1987), auf den Sulcus cochlearis des Talus gerichtet 1 bis zu 3 cm tief eingestochen.

Dieser Zugang stellt eine der leichtesten Gelenkpunktionstechniken dar und es ist mit spontanem Synoviaabfluss zu rechnen (HOGAN et al. 1996).

#### 2.3.4.4 Weitere diagnostische Anästhesien für die *Regio tarsi*

Beschrieben sind die *Anästhesie des Schleimbeutels unter dem medialen Endschenkel des Musculus tibialis cranialis* (GABEL 1979), die *Anästhesie der gemeinsamen Sehnenscheide des M. flexor hallucis longus (= M. flexor dig. lat.) und des M. tibialis caudalis* (WESTHUES 1934, WRIGHT et al. 1995, GASTHUYS u. DEMOOR 2006) und die *Anästhesie der Bursa calcanei subtendinea* (GASTHUYS u. DEMOOR 2006).

Eine oft anzutreffende Meinung ist es, die Gelenkanästhesien im proximalen Bereich den Leitungsanästhesien vorzuziehen (WYN-JONES 1988). Argumentiert wird mit

Unsicherheiten bezüglich der Wartezeit, da eine wirksame perineurale Infiltration der dickeren proximalen Nerven länger dauern kann (DYSON 1997). Abgesehen davon, dass dieses Vorgehen wenig selektiv (GERWECK et al. 1994a) ist, riskiert man zusätzlich eine Verletzung des Pferdes infolge motorischer Ausfallerscheinungen (KELLER 1976, HOGAN et al. 1996).

Dennoch wird die perineurale Infiltration als verlässliche Methode angesehen, um Schmerzen in der Tarsalregion zu lokalisieren (DYSON 1997).

Hierzu kombiniert man die

*Anästhesie des N. tibialis*

(WHITTON et al 1999, MUELLER u. HAY 1999, TAYLOR 2001, WISSDORF et al. 2002, STASHAK 2002, GASTHUYS u. DEMOOR 2006) mit der

*Anästhesie des N. fibularis communis bzw. der Nn. fibulares superficialis und profundus* (GERWECK et al. 1994a, WISSDSDORF et al. 2002, STASHAK 2002, GASTHUYS u. DEMOOR 2006).

Darüber hinaus ist früher bei der Spatdiagnostik eine

*subkutane Infiltration an der medialen Fläche des Sprunggelenkes nach BERGE (1934)* durchgeführt worden.

## 2.4 Interpretation

Unsicherheiten bei der Auswertung intrasynovialer Anästhesien gibt es seit deren Einführung, so dass bereits eine Vielzahl von Untersuchungen auf diesem Gebiet bestehen. Geforscht wird sowohl an der abgesetzten Pferdegliedmaße, als auch klinisch beim lebenden Pferd, wo bewusst eine Lahmheit induziert wird, um dann die Effektivität der Anästhesie zu überprüfen. Des Weiteren können Patientenfallberichte von erfahrenen Klinikern hilfreich sein.

### *2.4.1 Anatomische Studien über das Verteilungsverhalten verschiedener Materialien nach intrasynovialer Injektion*

Meist werden hierfür die Gliedmaßen von toten Pferden verwendet. Gelegentlich gibt es auch Berichte über in-vivo Untersuchungen.

Orientiert an STEINMANN (1982) lassen sich folgende Stoffgruppen bilden:

#### *2.4.1.1 Darstellende Farblösungen*

- Prontosil (VUKELIC u. MAROLT 1961)
- Gall Lotion aus Alkohol, Pyoktanin und Gerbsäure (VAN KRUIJNIGEN 1963)
- (New) Methylene blue dye (BROWN u. VALKO 1980)
- Evans blue dye (BOWKER et al. 1993b)
- Luxol fast blue dye (BOWKER et al. 1993b)
- Tusche (FRIKER et al. 2000b)
- Disulfonblau VN 150 (RÜTHER 1982, HERTSCH et al. 1982, SCHUBA 1993)
- Farbstoff in Kombination mit Lokalanästhetikum oder Latex (BOWKER et al. 1993b, PICCOT- CRÉZOLLET 2005a)

Theoretisch könnten auch Emulsionsfarben, Plakatfarben oder Berliner Blau eingesetzt werden (STEINMANN 1982).

#### *2.4.1.2 Erstarrende Injektionsmassen*

- Gelatine (FRIKER et al. 2000b)

- Latex und Kautschuk (VAN PELT 1962, CALISLAR u. ST.CLAIR 1969, SACK u. ORSINI 1981, FORD et al. 1988, VACEK et al. 1992, BELL et al. 1993, BREIT 1994, 1995, DENOIX 2000)
- Polymerisierende Kunststoffe, Kunstharze als Methylmethacrylatgemische aus Grundsubstanz und Härter (BOWKER et al.1996, 1997) wie
  - Technovit 7143 ® (BUCHNER 1991, BREIT 1994, 1995, KÖNIG et al. 1995)
  - Tensolzement Nr. 70 ® (SCHUBA 1993, FRIKER et al. 2000b)
  - Mercoc (BUCHNER 1991)
  - auch kombiniert mit Röntgenkontrastmittel (BUCHNER 1991)

#### 2.4.1.3 Röntgenkontrastmittel

Es können *Positivkontrastmittel*, entweder auf der Basis von *Bariumsulfat* (z.B. Micropaque ®: HERTSCH et al. 1982, SCHUBA 1993, WÜRFEL 2002; Unibaryt ®: FRIKER et al. 2000b) oder auf der Basis von *Jod* (z.B. Jodipin: VUKELIC u. MAROLT 1961; Urografin ® (= Meglumine-Diatrizoate Natrium): DYSON u. ROMERO 1993, KRAUS- HANSEN et al. 1992; Hyperpaque ® (= Diatrizoate Natrium): VAN PELT 1960; Conray 60 ®: BARNEVELD 1984, BUCHNER 1991; Conray 70 ®: RÜTHER 1982; Conray 80 ®: SCHÖNECK et al. 1998; Gastro ®: FRIKER et al. 2000b) sowie das *Negativkontrastmittel Luft* (SCHÖNECK et al. 1998, FRIKER et al. 2000b) verwendet werden.

Die Überprüfung der Verteilung post injectionem, die in diesen Studien durch Röntgen, Fluoroskopie oder Computertomografie erfolgt, kann selbstverständlich auch am lebenden Pferd durchgeführt werden (RÜTHER 1982, SCHÖNECK et al. 1998). Dennoch sind die meisten Veröffentlichungen über Untersuchungen am Präparat erfolgt.

#### 2.4.1.4 Lokalanästhetika

Die Konzentration des Anästhetikums in Synovia und Gewebe kann mittels ELISA oder chromatographischer Verfahren gemessen werden, um das Ausmaß der Diffusion von Mepivakain (KEEGAN et al. 1996, GOUGH et al. 2002a, b) und von Prokain sogar beim lebenden Pferd (WINTZER et al. 1976, 1981) zu bestimmen. Angemerkt sei, dass es sich bei Prokain um ein Lokalanästhetikum vom Estertyp handelt, welcher durch

Esterasen rasch inaktiviert wird, und damit dieses für oberflächliche Gelenksanästhesien kaum brauchbar ist (WORTHMAN 1981, LÖSCHER 1994).

#### *2.4.2 Klinische Studien über die Wirkung diagnostischer Anästhesien bei experimenteller Lahmheitsinduktion*

Der offensichtliche Vorteil dieser Technik ist, dass die Lahmheitsursache bereits bekannt ist. Im Tierversuch kann durch einige intraartikulär applizierte Stoffe eine schmerzhaft Gelenkentzündung hervorgerufen werden.

Zu diesen zählen:

- Endotoxin, E. coli- Lipopolysaccharid (FIRTH et al. 1987, KRAMER et al. 2000, SCHUMACHER et al. 2003a, EASTER et al. 2000)
- sterile „Polyvinyl alcohol foam particles“, Polyvinyl- Alkohol- Schaum-Teilchen (< 500 µm) in Ioxoglate Sodium Meglumine suspendiert (CORNELISSEN et al. 1998a)
- Amphotericin B (PLEASANT et al. 1997)
- sterile Glycerin-Suspension mit „glass microspheres“, Mikrokugeln (250- 350 µm) aus Glas (GRAY et al. 1980)

Darüber hinaus ist durch Hufeisen, denen Stellschrauben entweder im dorsalen oder im palmaren Hufbereich aufgeschweißt sind, eine Lahmheit provozierbar (SCHUMACHER et al. 2000a, b, 2001a, b, SARDARI et al. 2002). Diese Schrauben üben Druck dorsal der Strahlspitze bzw. palmar an den Eckstreben aus, welcher fest ist ohne die Sohle zu permeieren (SCHUMACHER et al. 2000a, b).

Abbildung 4 zeigt die sonderangefertigten Hufeisen.



Abb. 4: Hufeisen zur Lahmheitsinduktion (SCHUMACHER et al. 2001a, b)

Als dritte Möglichkeit kann man Schrauben in die Gleichbeine implantieren, die intraossären Druck ausüben: „Expansion plug“ (CORNELISSEN et al. 1996).

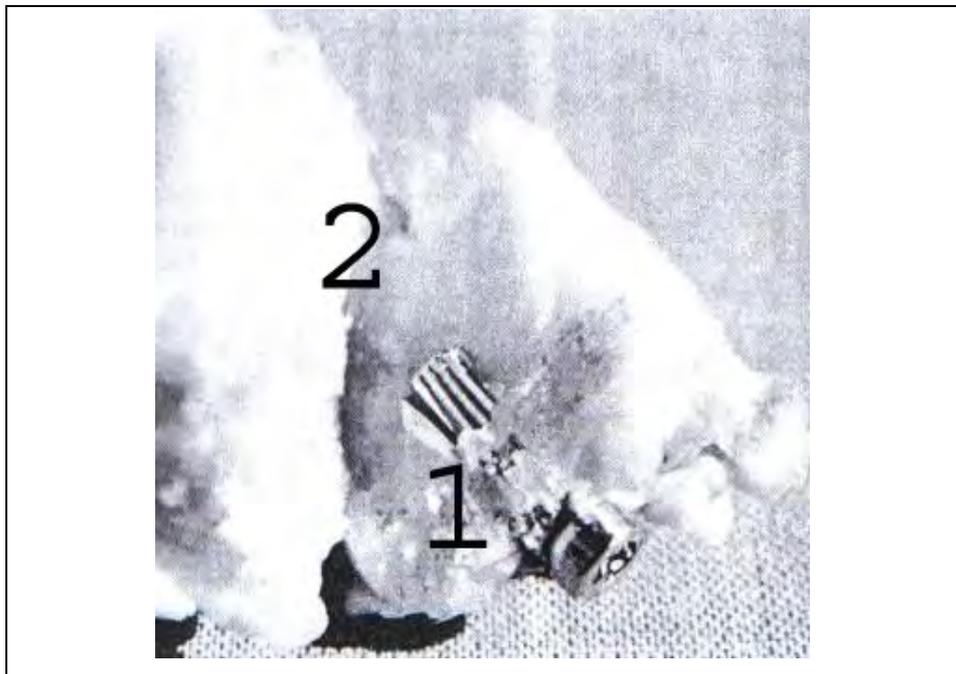


Abb. 5: Präparat der intraossären Schraube (1) im Gleichbein (2), wobei der Knochen zur besseren Darstellung der Schraube frakturiert ist (modifiziert nach CORNELISSEN et al. 1996).

### 2.4.3 Intrasynoviale Anästhesien im praktischen Einsatz

Diagnostische Anästhesien können bezüglich ihres diagnostischen Wertes für Verwirrung sorgen (CARTER 2005). So stößt DYSON (1986) bei beinahe 5 % ihrer Fälle auf Interpretationsschwierigkeiten.

Als Grundvoraussetzung zur Diagnosefindung muss das Pferd sichtbar lahmen und der Tierarzt über exakte (Neuro-)Anatomiekenntnisse verfügen (SCHEBITZ 1958, DYSON 1984).

Das Ergebnis wird entweder als positiv, lahmheitsfrei oder negativ, ohne Lahmheitsbesserung beurteilt, wobei auch Zwischenformen wie positiv mit Restlahmheit oder positiv mit Lahmheit der kontralateralen Seite („Umspringen“) möglich sind (KELLER 2002).

Falsch positive oder negative Resultate lassen sich neben der hier anstehenden Diskussion über eine potentielle perineurale Infiltration ergänzend auf folgende Faktoren zurückführen:

- Verdünnungseffekt auf das Lokalanästhetikum durch übermäßig viel Gelenkflüssigkeit (DYSON 1986) oder durch Blut, bei versehentlicher Gefäßpunktion (SCHMOTZER u. TIMM 1990, KELLER 2002)
- mechanische oder neurogene Lahmheit (DYSON 1986, SCHMOTZER u. TIMM 1990, GASTHUYS u. DEMOOR 2006)
- Lokalisation des Schmerzes in mehreren Regionen (DYSON 1986, SCHMOTZER u. TIMM 1990)
- spontane Lahmheitsbesserung durch Bewegung („Einlaufen“) (GASTHUYS u. DEMOOR 2006)
- Subjektivität der Methode
- physikalische Barrieren

Im Hinterkopf behalten sollte man, dass oberflächliche Strukturen im Bereich der Gelenkkapsel, deren Sehnen und Bänder sowie der intrakapsuläre subchondrale Knochen sensibel bleiben können (DYSON 1986, SHEPERD u. PILSWORTH 1993, STASHAK 2002).

- pathologische Veränderungen wie periartikuläre Fibrose und Gelenkkapselverdickung (DYSON 1986)
- eventuell eine Blockade der sensorischen, propriozeptiven Innervation:

KEG et al. (1996) ziehen den Schluss, dass grundsätzlich davon ausgegangen werden kann, dass diagnostische Anästhesien das Bewegungsmuster bei gesunden Pferden nicht essentiell und nicht klinisch erfassbar verändern. Andere Untersuchungen, ob Anästhesien zusätzlich die Propriozeption beeinflussen, zeigen ebenfalls basierend auf kinematografischen Verfahren eine Gangabweichung nach HPA, nicht aber nach intraartikulärer Desensibilisierung des Fesselgelenks (DREVEMO et al. 1999).

Im Allgemeinen wird die nicht risikolose intrasynoviale Anästhesie für spezifischer in ihrer Aussagekraft gehalten (RIJKENHUIZEN 2001).

## 2.5 Risiken diagnostischer Injektionen

### 2.5.1 Systemische Nebenwirkungen

Lokalanästhetika können potentiell jede Art von Nervenfasern blockieren (SCHATZMANN 1995). Deren systemische Toxizität wird auf Grund der Größe des Pferdes und der geringen Menge an benötigtem Lokalanästhetikum für sehr gering gehalten (COLBERN 1984), wenn auch SCHATZMANN (1993) vermutet, dass systemische Wirkungen häufiger sind als gemeinhin angenommen wird.

Für Mäuse gilt als LD 50 (Lidokain) 35 mg/kg KG i.v. bzw. 440 mg/kg KG sc. (WESTHUES u. FRITSCH 1960). Als maximale Dosierung für Lidokain werden für Katzen und Hunde 6 bis 8 mg/kg KG angegeben (WENGER 2005). Beim Pferd spricht man von einer Überdosierung ab 4 mg Lidokain/ kg KG i.v., was ca. 100 ml einer 2 %-tigen Lösung wären (SKARDA 1991, SCHATZMANN 1995, GASTHUYS u. DEMOOR 2006). Zwar kommt die intravenöse Regionalanästhesie (Bier- Block) operativ beim Hund (WEBB et al. 1999), nicht aber bei der Lahmheitsuntersuchung des Pferdes zum Einsatz. Um den toxischen systemischen Wirkspiegel dennoch zu erreichen, müsste eine unbeabsichtigte Gefäßinjektion oder die beschleunigte Resorption im stark durchbluteten Gewebe stattfinden, was in ausreichender Form wenig möglich und wahrscheinlich ist (SKARDA 1991).

Bei hohen Dosen oder intravenöser Applikation des Lokalanästhetikums, können zentrale (Krämpfe, Hyperventilation mit anschließendem Atemstillstand), kardiale (AV- Block, Herzstillstand), vaskuläre und seltener, vor allem beim Estertyp immunogene Nebenwirkungen im Sinne einer Allergie auftreten (BIEL 2005, GASTHUYS u. DEMOOR 2006). Kausal für die ersten drei Wirkungen ist die mangelnde Spezifität der Lokalanästhetika: So blockieren sie auch die Natriumkanäle einer Vielzahl anderer Zellen, wie z.B. zentraler Nervenzellen und Herzmuskelzellen (LÜLLMANN u. MOHR 1999).

Die systemische Toxizität wird durch den Einsatz von Vasokonstriktoren deutlich reduziert (HAHN 1930, BIEL 2005). Doch darf nicht vergessen werden, dass diese selbst Einfluss auf das Kreislaufsystem (Tachykardie, Blutdruckanstieg, etc.) haben.

### *2.5.2 Lokale Nebenwirkungen*

Die Risiken bei perineuralen Infiltrationsanästhesien sind wenn lege artis vorgegangen wird gering (SCHEBITZ 1958, SCHMOTZER u. TIMM 1990). Lediglich von diffusen Schwellungen wird des Öfteren berichtet (HERTSCH u. TORRES 1989), weshalb die Gliedmaße auch mit einem Verband versehen werden sollte. Komplikationen resultieren meist aus fehlerhafter Asepsis und mangelhafter Injektionstechnik (KELLER 2002). Ebendieser warnt davor, die Kanülen zur Entnahme des Injektionsmittels längere Zeit in den Flaschen zu belassen, denn Lokalanästhetika schwemmen Metallionen aus den Kanülen heraus und bilden saure Lösungen, die stark reizend auf das Gewebe einwirken. Dies kann zu starken und langanhaltenden sterilen Schwellungen führen (KELLER 2002).

Da bei perineuraler Infiltration grundsätzlich auch die Konduktion motorischer und propriozeptiver Nervenfasern unterbrochen werden kann, besteht die Möglichkeit Ataxien und Nervenlähmungen auszulösen (MUIR et al. 2000). Dies gilt vor allem bei den proximalen Leitungsanästhesien wie der hohen Fibularisnervenanästhesie, bei der das Pferd nach Blockade von Muskelästen überkötet und so Gefahr läuft Verletzungen am Fesselkopf zu erleiden (HOGAN u. HONNAS 1998, STASHAK 2002).

Bereits früh divergieren die Ansichten über das Risiko intrasynovialer Anästhesien. Während einige diese als kaum komplikationsbehaftet einschätzen und mindestens so zuversichtlich wie die Leitungsanästhesie ausführen (FORSELL 1923, WESTHUES 1934), lehnt ZSCHOKE (1936) deren Einsatz für das Truppenpferd gänzlich ab. RIJKENHUIZEN (2001) betont mit Nachdruck, dass es sich bei intrasynovialen Anästhesien um eine invasive Maßnahme handelt, die nicht völlig risikofrei ist. Generell sollten andere diagnostische Möglichkeiten einschließlich der perineuralen Infiltration prozedieren (HERTSCH 1988). Oft wird auch bei der Durchführung intrasynovialer Anästhesien eine noch sorgfältigere, aseptische und chirurgische Technik gefordert (SCHATZMANN 1995, WHITTON et al. 1999, KELLER 2002, STASHAK 2002, GASTHUYS u. DEMOOR 2006).

Beachtenswert ist, dass auftretende Komplikationen allein auf unspezifischen Reaktionen, d.h. auf der Punktion per se beruhen können, da sich aus dieser bereits tief

greifende Veränderungen von Synovia und Synovialis entwickeln können (EISENMENGER 1968).

Nachblutungen aus der Stichwunde, die zum Beispiel aus der Punktion der Kapillarplexus nahe des Kronsaums resultieren, sind nicht nennenswerte Komplikationen und nicht von langer Dauer (HERTSCH u. TORRES 1989, HOGAN et al. 1996). Synovitis basierend auf der Inzidenz und dem Verschleppen von Hautstanzzy lindern (GERBER et al. 1980) ist, indem man eine Kanüle mit eingeschliffenen Mandrin verwendet (HERTSCH 1988) einfach zu unterbinden.

Ein ernstzunehmendes Punktionstrauma können angrenzende Gewebe, Gelenkkapsel einschließlich der Synovialis und Gelenkknorpel erleiden (VAN PELT 1962, 1966, VAN KRUIJNIGEN 1963, EISENMENGER 1968). Dieses Risiko wird durch eine genaue Kenntnis der Anatomie vermindert, bei der weniger Injektionsversuche von Nöten sind (RIJKENHUIZEN 2003). Dennoch sind Verletzungen am Gelenkrand bei Applikation der Kanüle nicht immer sicher zu vermeiden (ZELLER 1978) und noch gefürchteter ist ein Abbrechen der Kanüle (FORSELL 1923, HOGAN et al 1996, VAN PELT 1962, 1966). Intrasynoviale Nachblutungen, die ebenso wie subkutane Hämorrhagien auf der Vaskularität der Synovialis basieren, gehen mit Zellzahlerhöhungen, Farbveränderungen und Trübungen einher (STOVER u. POOL 1985).

Ein gelenkreizender Effekt nach bloßer Punktion ist nicht von der Hand zu weisen (FIRTH et al. 1987). Besonders wiederholte Arthrozentese verändert die Eigenschaften der Synovia, was signifikante Erhöhungen der Zellzahl und Verschiebungen des Differenzialzellbildes demonstrieren (EISENMENGER 1968, STOVER u. POOL 1985). Mehrmaliges Einstechen ist auch im Hinblick auf peri- und intraartikuläre Blutergüsse zu vermeiden, denn neben einem erhöhten Infektionsrisiko kann die Verdünnung des Anästhetikums die Interpretation erschweren (EISENMENGER 1974, KELLER 1976).

Die Abgrenzung nach EISENMENGER (1968) von unspezifischen und spezifischen Reaktionen wird in praxi nicht immer gelingen. Fakt ist die Inzidenz von lokalen Irritationen, Entzündungen und Schwellungen der Gliedmaße nach diagnostischen Anästhesien (HERTSCH u. TORRES 1989, SCHMOTZER u. TIMM 1990, MUELLER u. HAY 1999). Dies kann sich in einer vermehrten Wärme und Füllung des Gelenks verbunden mit gering- bis mittelgradiger Lahmheit bis hin zu Fieber äußern

(HERTSCH u. TORRES 1989). Möglicherweise leistet hierbei auch der rücksichtslose Gebrauch der betäubten Gliedmaße seinen Beitrag (WESTHUES 1934).

Spezifisch substratgebunden im Sinne von EISENMENGER (1968) ist, dass das Lokalanästhetikum per se stärkere Reizerscheinungen hervorruft. Bestätigung liefern Untersuchungen von WHITE et al. (1989), die nach Mepivakain- oder Lidokainapplikation einen höheren Anstieg der Zellzahlen festmachen als nach bloßer Punktion. Grundsätzlich sind umfassende Kenntnisse über die applizierte Lösung bezüglich Sterilität, pH, Konzentration und potentieller chondrotoxischer Wirkung essentiell wichtig (RIJKENHUIZEN 2003).

FORSELL (1923), der zur intrasynovialen Anästhesie eine 3 %-tiger Kokain- oder Novokainlösung mit Adrenalinropfen ergänzt, begeht damit nach jetzigem Wissenstand einen Kunstfehler, da spezifische Reaktionen durch den selbst chondrotoxischen Sperrkörper zu erwarten wären (KELLER 1976, 2002).

Auch der prophylaktische Zusatz von Amikazin (ZELLER 1978) ist zu überdenken. Antibiotika per se weisen eine mehr oder weniger gute Gelenkverträglichkeit auf (STOVER u. POOL 1985). Problematischer scheint der kombinierte Einsatz mit Lokalanästhetika zu sein. So wird nach einer klinischen Studie die Hypothese einer Präzipitationsreaktion aufgestellt, was eine Laborprüfung mit Lidokain und Penizillin oder Ampicillin nach 24 Stunden Inkubation bei 37° C durch die Bildung von Ausfällungen belegt (RIJKENHUIZEN 1985). Ebendiese schreibt dem Adrenalin, durch eine Verzögerung der systemischen Resorption eine Art „Katalysatorwirkung“ bezüglich dieser Reaktion zu. Keinen Einfluss hat für sie das pH der injizierten Lösung und auch STOVER und POOL (1985) vermuten andere Faktoren als Auslöser für Synovitis.

Ein weiterer wichtiger Punkt sind rein mechanische Schäden, denn die Injektion zu hoher Volumina dehnt die Gelenkbänder und kann so sekundär eine subkapsuläre oder periartikuläre Fibrose provozieren (VAN PELT 1960). Eine Synovialhernie ist nur nach Arthroskopie des Karpalgelenks beschrieben (WILSON et al. 1989), aber Kapselmikrorupturen können als Sprengung synovialer Membranen bei Injektionen unter exzessivem Druck resultieren (DYSON 1985).

Neben nichtinfektiösen synovialen Reaktionen im Sinne einer unspezifischen, aseptischen Gelenkentzündung (EISENMENGER 1968, RIJKENHUIZEN 1985), schwebt stets das Damoklesschwert der iatrogenen, septischen Arthritis über den intrasynovialen Anästhesien (EISENMENGER 1968, GERBER et al. 1980, LAPOINTE et al. 1992, SCHNEIDER et al. 1992), wovon gar nicht oft genug gewarnt werden kann. Diese wird oft mit Staphylococcus aureus- Infektionen in Verbindung gebracht (HAGUE et al. 1997), aber auch andere grampositive Kokken sind nachweisbar (LAPOINTE et al. 1992).

Potentiell können die Konsequenzen einer länger andauernden Synovitis - egal welcher Ätiologie - von einem suprakapsulären Ödem mit anschließender Gelenkkapselverdickung, über eine ossifizierende Periostitis, bis hin zu arthrotischen Veränderungen reichen (BOENING 1980, RÜTHER 1982, EISENMENGER 1974, RIJKENHUIZEN 1985).

Speziell für den Hufbereich werden gelegentlich Risiken erwähnt. Die Gefahr der Nähe zum „schmutzigen“ Boden ist jedoch relativiert zu sehen, denn im distalen Bereich besteht zwar eine ausgeprägtere Bakterienflora, die aber durch gezielte Vorbereitung der Injektionsstelle genauso unterdrückt werden kann (HAGUE et al. 1997).

Bei der Hufgelenkanästhesie beträgt die Komplikationsrate nach der Studie von HÖPPNER (1993) 7 %. Beschrieben sind Schwellungen, Schmerzen, Wärme und Rötung des Saumbandes (RIJKENHUIZEN 1985). Ernsthaftere Fälle, die zur Unbrauchbarkeit des Pferdes in Folge der Lahmheit führen können, wie die von BOENING (1980) zweimal beobachtete Ausbildung einer Hufgelenks- Kronbeinschale und andere Spätfolgen einer septischen Arthritis (HONNAS et al 1992) stellen eher Ausnahmen dar.

Nach Injektion des Hufrollenschleimbeutels müssen nicht zwangsläufig Komplikationen auftreten (PICCOT-CRÉZOLLET et al. 2005a). Berichtet wird vom Auftreten einer unmittelbaren und akuten Lahmheit nach dieser diagnostischen Anästhesie (DYSON 1994a). Ferner ist bei medikamenteller Applikation von Entzündungen der tiefen Beugesehne, Adhäsionen, bis hin zu deren Ruptur und von Schäden am Bandapparat des Strahlbeins die Rede (DABAREINER et al. 2001, 2003, DABAREINER 2002).